

**BULANIK KÜME TEORİSİ İLE
YÜKSEK SEVİYEDE BUZLANMA POTANSİYELİNİ
TAHMİN EDEN PROGRAM
TASARIMI**

Çetin KARAHAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ENDÜSTRİ MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**NİSAN 2007
ANKARA**

Çetin KARAHAN tarafından hazırlanan BULANIK KÜME TEORİSİ İLE YÜKSEK SEVİYEDE BUZLANMA POTANSİYELİNİ TAHMİN EDEN PROGRAM TASARIMI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.


Doç. Dr. Cevriye GENCER
Tez Yöneticisi

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Endüstri Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Başkan: : Prof. Dr. Orhan TÜRKBEY 

Üye : Doç. Dr. Cevriye GENCER 

Üye : Prof. Dr. Y. Müh. Alb. Taner ALTINOK 

Tarih : 26/04/2007

Bu tez, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tez yazım kurallarına uygundur.

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.



Çetin KARAHAN

**BULANIK KÜME TEORİSİ İLE YÜKSEK SEVİYEDE BUZLANMA
POTANSİYELİNİ TAHMİN EDEN PROGRAM TASARIMI
(Yüksek Lisans Tezi)**

Çetin KARAHAN

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Nisan 2007**

ÖZET

Bu tezde amaç, havacılık sektöründe can ve mal güvenliği açısından büyük önem arz eden buzlanma hadisesi ile ilgili olarak, halihazırda sunulamayan bazı tahmin bilgilerini bilgisayar destekli olarak sağlamaktır. Uçuş öncesi hazırlanan uçuş rotası meteorolojik durumu ve tahmin raporunda kullanılmak üzere, daha önce Türkiye’de kullanılmayan bir metot kullanılarak üretilen tahmin bilgilerinin operasyonel olarak kullanılması amaçlanmaktadır.

Bu tez çalışmasında, bulanık küme teorisi kullanılarak, havacılık açısından en önemli olaylardan biri olan buzlanma hadisesinin, Türkiye için sonraki 24 saati kapsayan konum, seviye ve zaman tahminlerini periyodik olarak yapan ve tahmin sonuçlarını kullanıcıya sunan bir sistem geliştirilmiştir.

Çalışmada, buzlanma tahmini için bilinmesi gerekli olan parametreler, yani sistem girdileri, sayısal bir hava tahmin modelinin çıktılarından alınmış, alınan bu parametreler, oluşturulmuş olan bulanık kümeler ve bulanık sistem aracılığı ile değerlendirilerek buzlanma potansiyeli tahmini, beklendiği yer, seviye ve zaman bilgileri çıktı olarak oluşturulmuştur.

Sistem çıktıları analiz edilip gerçek gözlem verileri ile karşılaştırılarak doğrulama ve tutarlılık analizi yapılmış, sonuçta bu çalışma ile elde edilen çıktıların operasyonel meteorolojide kullanılabilir olduğu görülmüştür.

Bilim Kodu : 906.1.097

Anahtar Kelimeler : Bulanık küme teorisi, bulanık çıkarım sistemi, yüksek seviye buzlanma potansiyeli, buzlanma tahmini

Sayfa Adedi : 146

Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Cevriye GENCER

**A SOFTWARE PREDICTING UPPER LEVEL ICING POTENTIAL BY
FUZZY SET THEORY**

(M.Sc. Thesis)

Çetin KARAHAN

**GAZİ UNIVERSITY
INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY**

April 2007

ABSTRACT

In this thesis, concerning with the icing phenomenon which is the most serious weather condition for aviation, it is aimed that to provide the forecast for icing potential in the atmosphere which is not provided at the moment. It is intended to use the predicted data which is generated by a new method for Turkey operationally in flight briefings and flight route meteorological reports.

The system which is explained detailed in this thesis generates predictions on icing potential for the next 24 hours. The domain for these predictions is Turkey with 7 km resolution and these predictions include location, elevation and time information.

The parameters which are needed to be known as inputs are gathered from the outputs of a numerical weather prediction model. These input parameters are evaluated by a fuzzy system which contains fuzzy sets and fuzzy rules and the output of icing potential prediction is generated with location, elevation and time information.

System outputs are analyzed and compared with the real-time observation values for verification. After verification process it is seemed that these outputs can be used for operational meteorology.

Science Code : 906.1.097

Key Words : Fuzzy set theory, fuzzy inference system, upper level icing potential, icing forecast

Page Number: 146

Adviser : Assoc. Prof. Dr. Cevriye GENCER

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren tez danışmanım Doç. Dr. Cevriye GENCER'e, kullanılan girdilerin sağlanması, sayısal hava tahmini konusundaki bilgileri ve tez çalışması süresince verdikleri destek ve cesaretlendirme ile bu çalışmaya önemli katkıda bulunmuş olan “Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Sayısal Hava Tahmini Şube Müdürlüğü” çalışanlarından Meteoroloji Mühendisi Ersin KÜÇÜKKARACA ve Tayfun DALKILIÇ'a, çalışmanın sonuçlarının hazırlanması aşamasında değerli bilgilerinden faydalandığım “Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Sinoptik Meteoroloji Şube Müdürlüğü” çalışanlarından Meteoroloji Mühendisi Yüksel YAĞAN'a, sağladığı teknik imkanlardan dolayı çalışmakta olduğum Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğüne ve tüm çalışma arkadaşlarıma teşekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR	viii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
HARİTALARIN LİSTESİ	xvi
SİMGELER VE KISALTMALAR	xviii
1. GİRİŞ	1
2. BULANIK MANTIK.....	3
2.1. Bulanıklık Kavramı	4
2.2. Tarihçe	5
2.3. Genel Bilgiler	6
2.4. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları.....	10
2.5. Mantıksal İşlemler ve Eğer – İse Kuralları.....	16
2.6. Bulanık Çıkarım Sistemi.....	20
2.7. Durulaştırma	29
2.8. Örnek Data Noktalarından Kuralların Çıkarılması	33
2.9. Temel Bulanık Mantık Fonksiyonları	36
2.10. Bir Bulanık Çıkarım Sisteminin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi	39
2.11. Bulanık Mantığın Uygulama Alanları	39

Sayfa

3. BUZLANMA.....	42
3.1. Buzlanma Potansiyeli Tahmini ile İlgili Yapılan Çalışmalar	43
3.2. Buzlanmanın Etkileri.....	44
3.3. Buzlanmanın Sınıflandırılması	44
3.4. Buzlanma Potansiyeli Tahmini	46
3.5. Sayısal Hava Tahmini.....	50
3.5.1. Global modeller	52
3.5.2. Sınırlı alan modelleri.....	53
3.5.3. MM5 sayısal hava tahmin modeli	54
3.6. Yüksek Seviye Atmosfer Gözlemleri.....	55
3.6.1. Radiosonde	56
3.6.2. Ravinsonde rasatları.....	56
3.6.3. Türkiye ravinsonde istasyon şebekesi.....	57
3.6.4. Sistem ve ekipman	58
3.6.5. Ravinsonde rasatlarının kullanıldığı alanlar.....	63
3.7. Skew-T LogP Diyagramı	63
4. BULANIK MANTIK İLE BUZLANMA POTANSİYELİ TAHMİNİ.....	65
4.1. Buzlanma Potansiyeli Tahmin Algoritması.....	66
4.1.1. Algoritma girdisi.....	66
4.1.2. İlgili haritaları	67
4.2. Bulanık Çıkarım Sistemi Tasarımı	71
4.2.1. Sistem girdileri ve bulanık kümeler.....	71

Sayfa

4.2.2. Bulanık kurallar	77
4.2.3. Sistem çıktıları.....	81
4.2.4. Buzlanma potansiyeli tahmin algoritmasının örnekle gösterimi.....	81
4.3. Programın Tanıtımı	86
4.4. Çıktıların Karşılaştırılması.....	92
4.4.1. Mevcut durum ile karşılaştırma.....	92
4.4.2.ECMWF ve İngiltere Meteoroloji Ofisi tahminleri ile karşılaştırma	107
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	114
KAYNAKLAR.....	118
EKLER.....	121
EK-1. Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu	122
ÖZGEÇMİŞ.....	146

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. VE, VEYA ve DEĞİL operatörleri için gerçeklik tablosu	17
Çizelge 4.1. Buzlanma için bulanık kümeler	72
Çizelge 4.2. Bulanıklaştırma için üyelik fonksiyonları – Sıcaklık	73
Çizelge 4.3. Bulanıklaştırma için üyelik fonksiyonları – Bulut Tepe Sıcaklığı	74
Çizelge 4.4. Bulanıklaştırma için üyelik fonksiyonları – Nispi Nem	75
Çizelge 4.5. Bulanıklaştırma için üyelik fonksiyonları – Dikey Hız	76
Çizelge 4.6. Buzlanma olasılığı çıktısı için alan fonksiyonları	77
Çizelge 4.7. Örnek için değeri “0” olmayan bulanık kural kuvvetleri	85
Çizelge 4.8. Örnek için çıktı bulanık kümesi sınır değerleri	85
Çizelge 4.9. Örnek için çıktı bulanık kümesi alan değerleri	86
Çizelge 4.10. Türkiye ravinsonde gözlem istasyonları.....	93
Çizelge 4.11. 27.03.2007 00:00 UTC verilerine göre hesaplanmış buzlanma potansiyeli tahmin değerleri (%)	95
Çizelge 4.12. Gerçekleşen ve tahmin edilen buzlanma olasılıkları – Adana	96
Çizelge 4.13. Gerçekleşen ve tahmin edilen buzlanma olasılıkları – Ankara	97
Çizelge 4.14. Gerçekleşen ve tahmin edilen buzlanma olasılıkları – Diyarbakır	98
Çizelge 4.15. Gerçekleşen ve tahmin edilen buzlanma olasılıkları – İstanbul	99
Çizelge 4.16. Gerçekleşen ve tahmin edilen buzlanma olasılıkları – Isparta	100
Çizelge 4.17. Gerçekleşen ve tahmin edilen buzlanma olasılıkları – İzmir	101
Çizelge 4.18. Gerçekleşen ve tahmin edilen buzlanma olasılıkları – Samsun.....	102
Çizelge 4.19. ECMWF ve İngiltere Meteoroloji Servisi tahminleri ile karşılaştırma.....	113

Çizelge**Sayfa**

Çizelge 5.1. Üç farklı metot ile elde edilen buzlanma çıktısının karşılaştırması116

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Keskin üyelik fonksiyonu	13
Şekil 2.2. Örnek bulanık üyelik fonksiyonu	13
Şekil 2.3. Üçgen üyelik fonksiyonları	13
Şekil 2.4. Gaussian üyelik fonksiyonları	15
Şekil 2.5. Π -Biçiminde üyelik fonksiyonları	16
Şekil 2.6. FIS blok diyagramı	20
Şekil 2.7. FIS Şematik diyagramı	22
Şekil 2.8. Girdi1 için bulanık üyelik fonksiyonları	23
Şekil 2.9. Girdi2 için bulanık üyelik fonksiyonları	23
Şekil 2.10. Çıktı1 için bulanık üyelik fonksiyonu	23
Şekil 2.11. Bulanık kurallar	25
Şekil 2.12. Bulanık sonuç çıkarım prosesi	27
Şekil 2.13. Girdi bulanık kümeleri	29
Şekil 2.14. Çıktı bulanık kümeleri	29
Şekil 2.15. Planlama yüzeyi	29
Şekil 2.16. Sentroid durulaştırma metodu.....	31
Şekil 2.17. Maksimum ayrıştırma durulaştırma metodu	31
Şekil 2.18. Maksimumların ortalaması ile durulaştırma.....	32
Şekil 2.19. Bulanık üyelik fonksiyonu x_1	34
Şekil 2.20. Bulanık üyelik fonksiyonu x_2	34
Şekil 2.21. Bulanık üyelik fonksiyonu y	34

Şekil	Sayfa
Şekil 2.22. Bulanık çağrışımlı bellek tablosu.....	36
Şekil 3.1. Standard ve konvektif ilgi grafiği ve normalize edilmiş PIREP oranı	49
Şekil 3.2. Örnek SkewT LogP diyagramı görüntüsü	64
Şekil 4.1. (-30) - (0)°C aralığı için, FIP T_{MAP} üyelik fonksiyonu	68
Şekil 4.2. (-55) – (+5)°C aralığı için, FIP CTT_{MAP} üyelik fonksiyonu	69
Şekil 4.3. FIP RH_{MAP} üyelik fonksiyonu	69
Şekil 4.4. FIP VV_{MAP} üyelik fonksiyonu	70
Şekil 4.5. Sıcaklık (T) girdisi bulanık kümeleri için üyelik fonksiyonları	72
Şekil 4.6. Bulut Tepe Sıcaklığı (CTT) girdisi bulanık kümeleri için üyelik fonksiyonları	73
Şekil 4.7. Nispi Nem (RH) girdisi bulanık kümeleri için üyelik fonksiyonları	74
Şekil 4.8. Dikey Hız (VV) girdisi bulanık kümeleri için üyelik fonksiyonları	75
Şekil 4.9. Buzlanma olasılığı çıktısı bulanık kümeleri için alan fonksiyonları	76
Şekil 4.10. Buzlanma olasılığı çıktısı bulanık kümeleri için alan fonksiyonları	81
Şekil 4.11. Buzlanma potansiyeli tahmin programı arayüzü	87
Şekil 4.12. Buzlanma potansiyeli tahmin programı çıktı görüntüsü	89
Şekil 4.13. Model çıktısı ile ravinsonde gözlemi dikey sondaj konum farklılığı	93

HARİTALARIN LİSTESİ

Harita	Sayfa
Harita 3.1. Türkiye yüksek seviye atmosfer gözlem istasyonları	58
Harita 4.1. 27.03.2007 15:00 UTC 700mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	90
Harita 4.2. 27.03.2007 18:00 UTC 700mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	90
Harita 4.3. 27.03.2007 06:00 UTC 850mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	91
Harita 4.4. 27.03.2007 15:00 UTC 850mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	91
Harita 4.5. 27.03.2007 00:00 UTC 500mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	103
Harita 4.6. 27.03.2007 00:00 UTC 700mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	104
Harita 4.7. 27.03.2007 00:00 UTC 850mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	104
Harita 4.8. 27.03.2007 12:00 UTC 500mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	105
Harita 4.9. 27.03.2007 12:00 UTC 700mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	105
Harita 4.10. 27.03.2007 12:00 UTC 850mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	106
Harita 4.11. 28.03.2007 00:00 UTC 500mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	106
Harita 4.12. ECMWF verilerinden formülle oluşturulmuş 700 mb T+24 buzlanma ve nem tahmin haritası	107
Harita 4.13. 28.03.2007 00:00 UTC 700mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	108
Harita 4.14. ECMWF verilerinden formülle oluşturulmuş 850 mb T+24 buzlanma ve nem tahmin haritası.....	109
Harita 4.15. 28.03.2007 00:00 UTC 850mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	109
Harita 4.16. İngiltere Meteoroloji Servisi verilerinden formülle oluşturulmuş 700 mb T+18 buzlanma ve nem tahmin haritası	110
Harita 4.17. 27.03.2007 18:00 UTC 700mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	110
Harita 4.18. İngiltere Meteoroloji servisi verilerinden formülle oluşturulmuş 850 mb T+6 buzlanma ve nem tahmin haritası	111

Harita	Sayfa
Harita 4.19. 27.03.2007 06:00 UTC 850mb seviyesi buzlanma tahmin haritası	111
Harita 4.20. Buzlanma tahmin karşılaştırması için bölgelere ayrılmış Türkiye haritası	112

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler

Açıklama

ctt	Bulut tepe sıcaklığı
fam	Bulanık çağrışimli bellek
fbfs	Temel bulanık mantık fonksiyonları
fis	Bulanık çıkarım sistemi
flc	Bulanık mantık denetleyici
fls	Bulanık mantık sistemi
hPa	Basınç birimi (hektopaskal)
pirep	Pilot raporu
rh	Nispi nem
slw	Aşırı soğumuş sıvı su
t	Sıcaklık
vv	Dikey hız

Kısaltmalar

Açıklama

ECMWF	Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi
GPS	Küresel konumlama sistemi
GUI	Grafiksel kullanıcı arayüzü
MM5	Sayısal hava tahmin modeli
NCAR	Amerikan Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi
RAOB	Ravinsonde gözlem yazılımı
UTC	Evrensel eşgüdümlü zaman
WMO	Dünya Meteoroloji Teşkilatı

1. GİRİŞ

Atmosfer, yapısı itibariyle kısa süre içerisinde büyük meteorolojik değişimler göstermektedir. Bu hızlı değişimin önceden tahmin edilmesi ve bu tahminler doğrultusunda gerekli önlemlerin alınması, muhtemel risklerin en aza indirilmesini sağlamaktadır. Önceden tahmin edilmesi gereken değişimlerden birisi de yüksek seviyede buzlanma olasılığıdır. Yüksek seviyede buzlanma, aşırı soğumuş su taneciklerinin, katı bir yüzeye çarparak buz biçimine dönüşmesi ve bu yüzeyde buz toplanmasıdır [Battan, 1984]. Bu durum, uçuş emniyeti açısından önemli bir tehdit olup, irtifa kaybına, hızın azalmasına ve bazı durumlarda kontrol kaybına sebebiyet verebilir ve uçuş esnasında pilot tarafından önceden görülmesi olanaksızdır. Bu özelliği nedeniyle, buzlanma hadisesi ile ilgili olarak yüksek tutarlılığa sahip tahminlerin yapılması ve bu tahmin bilgilerinin uçuş öncesinde sunulması çok önemlidir.

Bu tezde, yüksek seviyedeki buzlanma potansiyelini sonraki 24 saat için tahmin eden ve tahmin sonuçlarının kolay anlaşılır bir biçimde sunumunu yapan bir yazılım geliştirilmesi amaçlanmıştır.

Buzlanma; sıcaklık, atmosferdeki mevcut su buharı miktarı, bulut tepe sıcaklığı ve atmosferdeki taneciklerin dikey hızları ile doğrudan ilişkilidir. Bu faktörlerin birbirleriyle ilişkileri ve buzlanmaya olan etki dereceleri, bu çalışmada açıklanmış olan buzlanma potansiyeli tahmin algoritmasının temelini oluşturmaktadır. Buzlanma potansiyeli tahmin sisteminin girdileri, sayısal bir hava tahmin modelinin ürettiği çıktılardan alınmaktadır. Tüm Türkiye'yi kapsayan 7 km çözünürlüklü bir grid alanında, yerden itibaren 300 mb seviyesine kadar 14 seviyede, 34830 nokta için, yüzde olarak buzlanma potansiyeli tahmini üretilmektedir. Tahmin, üç saatlik dilimler halinde, sonraki 24 saatlik süreyi kapsamaktadır.

Meteorolojik koşulları modellemede lineer metotların ve formül yaklaşımının yetersiz kalması ve meteorolojik tahminlerde uzman görüşünün taşıdığı büyük önem

nedeniyle yöntem olarak bulanık mantık seçilmiştir. Buzlanma potansiyeli girdileri ve çıktıları için istatistiki verileri ve uzman görüşlerini de içeren, temel bulanık mantık algoritmasına dayalı bir bulanık çıkarım sistemi (FIS – Fuzzy Inference System) tasarlanmıştır. FIS tasarımıından sonra, çıktıların üretilmesi için C++ programlama dili kullanılarak bir yazılım geliştirilmiştir. Elde edilen sonuçların doğrulanması için, aynı verilerden, MATLAB programının bulanık mantık modülü kullanılarak da çıktı elde edilmiştir. Elle hesaplama, MATLAB çıktısı ve C++ kodunun ürettiği çıktılar mukayese edilerek değer doğrulaması yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, Türkiye’de günde 2 defa, 7 ayrı şehirde yapılan gerçek atmosfer sondaj ölçümleri sonuçlarıyla karşılaştırılarak tutarlılık analizi yapılmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, bulanık mantık ile ilgili genel bilgiler; üçüncü bölümünde buzlanma, sayısal hava tahmini ve yüksek seviye atmosfer gözlemleri ile ilgili genel bilgiler verilmektedir.

Dördüncü bölümde, buzlanma potansiyeli tahmin algoritması, tasarlanan bulanık çıkarım sistemi ve hazırlanan bilgisayar programı hakkında bilgi verilmiş, çalışmanın sonuçlarının gerçek gözlem verileriyle kıyaslaması yapılmıştır.

Beşinci bölümde bu tez çalışmasının sonuçları açıklanmıştır.

2. BULANIK MANTIK

Bu yüzyılda, matematik ve bilimde görülen çeşitli paradigma değişiklikleri arasında belirsizlik kavramıyla ilgili olanı, belki de en dikkat çekici olanıdır. Bilimde, bu değişiklik, belirsizliği istenilmeyen bir durum olarak gören ve mümkün bütün durumlarda kaçınılması gerektiğinde ısrar eden geleneksel anlayıştan, belirsizliği tolere eden ve bilimde bundan kaçınılmasının mümkün olmadığını iddia eden alternatif bakış açısına doğru dereceli bir geçişle ortaya konulmaktadır. Geleneksel yaklaşıma göre, bilimin bütün ortaya koyduğu açıklamalar kesinliğe dayanmak zorunda olduğundan; belirsizlik bilimsel olmayan bir kavram olarak kabul görmektedir [Klir ve Yuan, 1996].

Alternatif bakış açısına göre ise, belirsizlik, sadece kaçınılması mümkün olmayan bir durum değil aynı zamanda büyük fayda sağlayan ve üzerinde çalışılması gereken önemli bir durumdur [Klir ve Yuan, 1996].

Mantık, antik çağdan günümüze dek gelişmeler göstermiş, kendini zamanın gereklerine uydurmaya çalışmıştır. Bulanık mantık, onun gelişimindeki son aşamalardan birisidir.

Klasik mantıkta, bir önerme ya ‘doğru’ ya da ‘yanlış’ olarak kabul edilir. Üçüncü bir durumun gerçekleşmesinin imkansız olduğu varsayılır ve çoğu zaman bu tür durumlar ‘paradoks’ olarak adlandırılır. Diğer bir deyişle, doğruluk önermeleri, {Yanlış, Doğru}, veya sayısal olarak {0, 1} kümesinin elemanlarıyla ilişkilendiren bir küme olarak görülebilir [Klir ve Yuan, 1996].

Bulanık mantığın ardındaki temel fikir, bir önermenin ‘doğru’, ‘yanlış’, ‘çok doğru’, ‘çok yanlış’, ‘çok çok doğru’, ‘çok çok yanlış’, ‘yaklaşık olarak doğru’, ‘yaklaşık olarak yanlış’, v.b. gibi, olabileceğidir. Diğer bir deyişle doğruluk, önermelerle, klasik yanlış ve doğru arasındaki sonsuz sayıdaki doğruluk değerlerini içeren bir kümedeki değerler, ya da sayısal olarak [0, 1] gerçel sayı aralığıyla ilişkilendiren bir

fonksiyondur. Bu, Zadeh'in bulanık kümeler üzerindeki ilk çalışmasının bir sonucudur. Aslında, bulanık kümeler için, herhangi bir gerçel sayı aralığı, değer kümesi olarak kullanılabilir, fakat; $[0,1]$ aralığının hepsini temsil edebileceği varsayıldığı ve pratikte kullanımı daha kolay olduğu için kullanılması tercih edilmektedir [Yager ve Zadeh, 1991].

Bulanık mantığın belirleyici özellikleri : “doğru, çok doğru, az çok doğru, daha doğru, doğru değil, yanlış, çok doğru değil, ve çok yanlış” gibi sözel olarak ifade edilen (ya da sayısal olarak $[0,1]$ gerçel sayı aralığında yer alan) doğruluk değerlerine sahip oluşu (bu, belirsizlik içeren doğruluk tablolarını da beraberinde getirir) ve geçerliliği kesin değil, fakat yaklaşık olan çıkarım kurallarına sahip oluşudur [Yager ve Zadeh, 1991].

Bunlardan dolayı, bulanık mantık, klasik Aristo mantığından ve diğer mantık sistemlerinden belirgin bir şekilde ayrılır.

Bulanık mantığın doğruluk tabloları ve çıkarım kuralları belirsizlik içerir ve ‘doğru’/‘yanlış’a yüklenen anlamlara olduğu kadar, bu anlamları güçlendirmek ya da zayıflatmakta kullanılan ‘çok, oldukça, daha çok, daha az’ gibi niceleyicilere yüklenen anlamlara da bağlıdır.

2.1. Bulanıklık Kavramı

Klasik mantık sistemleri, sadece belirli koşullarda oluşan, kesin doğruluk değerleri ‘doğru’ ya da ‘yanlış’tan birisine sahip önermelerle ilgilenirler. Belirsizlikle ilgilenmezler. Öyleyse, bu tür cümlelere, akılcı doğruluk değerleri vermek için sürekli veya dereceli biçimde bir doğruluk, yani ‘bulanık’ doğruluk kavramını kullanmak gerekir. Bulanık doğruluk kavramı, sıradan doğruluk kavramıyla benzerlikler gösterir, fakat daha geneldir ve uygulama alanı daha geniştir. Ayrıca, belirsizliğin, doğruluk ölçütünün keskin bir şekilde tanımlanmamasından kaynaklanan durumlardaki problemlerle uğraşmak için doğal bir yol sağlar.

Matematiksel olarak ‘bulanıklık’, ‘çok-değerlilik’ demektir ve kökenleri, kuantum mekaniğindeki Heisenberg’in konum-momentum belirsizliği ilkesine¹ dayanır. Üç değerli bulanıklık, ‘doğruluk’, ‘yanlışlık’, ve ‘belirlenemezlik’e ya da ‘varlık’, ‘yokluk’ ve ‘belirsizlik’e karşılık gelir. Çok-değerli bulanıklık, belirlenemezlik ya da belirsizliğin derecelerine, olay ya da ilişkilerin kısmi oluşlarına karşılık gelir [Yager ve Zadeh, 1991].

2.2. Tarihçe

Mantıksal paradokslar ve Heisenberg’in belirsizlik ilkesi, 1920’ler ve 1930’larda çok değerli mantık sistemlerinin gelişmesine yol açmıştır. Kuantum teorisyenleri, iki değerli mantık sistemlerinin ‘doğru’ ve ‘yanlış’tan oluşan değer kümesine, bir üçüncü veya orta doğruluk değeri ekleyerek ‘belirlenemezlik’in ifade edilebilmesine imkan sağlamışlardır. Bundan sonraki aşamada, ‘doğru’ ve ‘yanlış’, ‘belirlenemezlik’ tayfının sınır koşulları olarak görülüp belirlenemezlik derecelendirilmiştir [Johnson, 1972].

Heisenberg’in belirsizlik ilkesi, belirlenemezliğin sürekliliğiyle, bilimi çok değerliliğe zorlamıştır. Pek az batılı filozof çok değerliliği benimsemesine rağmen, Lukasiewicz, Gödel ve Black, ilk çok-değerli ya da bulanık mantık ve küme sistemlerini geliştirmişlerdir [Johnson, 1972].

1930’ların başlarında Polonyalı mantıkçı Jan Lukasiewicz ilk üç-değerli mantık sistemini geliştirmiştir. Lukaziewicz, daha sonra doğruluk değerlerinin kümesini tüm sayılara genelleştirmiştir [Johnson, 1972].

1930’larda kuantum filozofu Max Black, sürekli değerlere sahip mantığı, eleman düzeyinde kümelere uygulamıştır. Black, bulanık-küme üyelik fonksiyonlarından bahseden ilk kişi olmuş ve ifade etmeye çalıştığı yapılardaki belirsizliği ‘müphemlik’

¹ Bu ünlü ilkeye göre; bir elektronu gözlerken, konumunu ve hızını aynı anda doğru olarak belirlemek mümkün değildir. Bu iki niceliği aynı anda ölçerken yapılacak hatalar, kabul edilebilir sınırlara çekilemez.

olarak adlandırmıştır. Zadeh'in bulanık-küme teorisinin aksine, Black'in çok değerli kümelerindeki her bir eleman, sürekli değerlere sahip bir mantık çerçevesinde ele alınan bir cümleyle eş-değerdir [Johnson, 1972].

Bulanık mantık kavramı ilk kez, 1965 yılında Prof. Lotfi A. Zadeh isminde Azerbaycanlı bir bilim adamı tarafından ortaya atılmıştır. Klasik mantıkta, bir eleman bir kümeye ya aittir ya da değildir. Fakat mantık kümelerinde, bir eleman birden fazla kümeye ait olabilmektedir. Yani başka bir deyişle kısmi üyelik mümkündür. Elemanların kümelerle kısmi üyelikleri, üyelik fonksiyonlarıyla belirlenir. Başka bir ifade ile, bir elemanın o kümedeki ağırlığıdır. Bu ağırlık değeri, 0 ile 1 arasında olabilir ve bir kümeye tam üyelikle üye olmama arasındaki bütün değerleri kapsar [Dubois ve ark., 1991].

Zadeh 1973'de yayınladığı çalışmalarında, bulanık küme teorisinin, en büyük yaklaşıklıkla insanın karar verme sistemini modelleyebilecek yeterlilikte olduğu fikrini ortaya atmıştır.

Bulanık kümeler üzerinde ilk çalışmalar Zadeh tarafından yapıldıktan sonra, bu mantık, Mamdani tarafından, bulanık mantık denetleyicilerinin (Fuzzy Logic Controller-FLC) tasarımında kullanılmıştır. Mamdani'nin 1972 yılında, bir buhar türbin kontrolü için kullandığı bu yöntem, 1980 yılında çimento sanayine uygulanarak, ilk endüstriyel uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu tarihten sonra, özellikle Japonya'da olmak üzere, bir çok uygulama yapılmıştır. Günümüzde de devamlı olarak artan bir popülerlikle kullanılmaktadır.

2.3. Genel Bilgiler

İlk kez 1965 yılında California Berkeley Üniversitesinden Prof. Lotfi A. Zadeh'in bu konu üzerinde ilk makalelerini yayınlamasıyla duyulan bulanık mantık, belirsizliklerin anlatımı ve belirsizliklerle çalışılabilmesi için kurulmuş katı bir matematik düzen olarak tanımlanabilir. Bilindiği gibi istatistikte ve olasılık

kuramında, belirsizliklerle değil kesinliklerle çalışılır ama insanın yaşadığı ortam daha çok belirsizliklerle doludur. Bu yüzden insanoğlunun sonuç çıkarabilme yeteneğini anlayabilmek için belirsizliklerle çalışmak gereklidir.

Kompleks yapıya sahip ya da eldeki veri ve donanımın yetersizliğinden dolayı matematiksel modeli tam olarak oluşturulamayan sistemlerin kontrolünde, insan zekasını kontrol sisteminin içine sokabilecek bir kontrol yöntemi olarak bulanık kontrol algoritması geliştirilmiştir.

Bulanık mantık, insan düşünce yapısına ve kullanılan dilsel ögelere, klasik mantık sistemlerinden daha yakındır. Bulanık mantık denetleyicisi, uzman bilgisi ve tecrübesine dayalı olan sözel kontrol ifadelerini, otomatik kontrol ifadelerine çevirme işlemi yapmaktadır. Kısacası, bulanık mantık teorisi, makinelere, insanların subjektif verilerini işleyebilme, tecrübe ve sezgilerinden faydalanarak çalışabilme kabiliyeti kazandırır [Zadeh, 1978].

Bulanık mantık ile klasik mantık arasındaki temel fark bilinen anlamda matematiğin sadece aşırı uç değerlerine izin vermesidir. Klasik matematiksel yöntemlerle karmaşık sistemleri modellemek ve kontrol etmek bu yüzden zordur, çünkü veriler tam olmalıdır. Bulanık mantık kişiyi bu zorunluluktan kurtarır ve daha niteliksel bir tanımlama olanağı sağlar. Bir kişi için 38,5 yaşında demektense sadece orta yaşlı demek bir çok uygulama için yeterli bir veridir. Böylece azımsanamayacak ölçüde bir bilgi indirgenmesi söz konusu olacak ve matematiksel bir tanımlama yerine daha kolay anlaşılabilen niteliksel bir tanımlama yapılabilecektir [Zadeh, 1978].

Bulanık mantıkta bulanık kümeler kadar önemli bir diğer kavram da linguistik değişken kavramıdır. Linguistik değişken “sıcak” veya “soğuk” gibi kelimeler ve ifadelerle tanımlanabilen değişkenlerdir. Bir linguistik değişkenin değerleri bulanık kümeler ile ifade edilir. Örneğin oda sıcaklığı linguistik değişken için “sıcak”, “soğuk” ve “çok sıcak” ifadelerini alabilir. Bu üç ifadenin her biri ayrı ayrı bulanık kümeler ile modellenir.

Bilgisayarlar insan beyni gibi akıl yürütemezler. Bilgisayarlarda sıfır ve bir dizilerine indirgenmiş kesin gerçekler ve doğru yada yanlış olan önermeler kullanılır. İnsan beyni ise, "serin hava", "yüksek hız", "genç kız" gibi belirsizlik yada değer yargılarını içeren bulanık anlatım ve iddiaların üstesinden gelebilecek biçimde akıl yürütebilir. Ayrıca insan, bilgisayarlardan farklı olarak, hemen her şeyin ancak kısmen doğru olduğu bir dünyada akıl yürütmek için sağduyusunu kullanır.

Bulanık mantığın sistemi şu şekildedir; Bir ifade tamamen yanlış ise klasik mantıkta olduğu gibi 0 değerindedir, yok eğer tamamen doğru ise 1 değerindedir¹. Bunların dışında tüm ifadeler 0 dan büyük 1 den küçük reel değerler alırlar. Yani değeri 0,32 olan bir ifadenin anlamı %32 doğru, %68 yanlış demektir.

Bulanık mantığın da klasik mantıkta olduğu gibi operatörleri (örneğin “and”, “or”, “not”) vardır. Ancak bunlar kendine özgü işlemlerdir. Mesela -başka yaklaşımlar da olmasına rağmen- “and” işlemi genelde çarpma olarak veya “not” işlemi birden çıkarma şeklinde ifade edilir. Bunlar;

AND: $A=0.5 \ B=0.8 \Rightarrow A \text{ and } B = (A) * (B) = 0.5 * 0.8 = 0.4$

NOT: $A=0.4 \Rightarrow \text{not } A = 1-(A) = 1 - 0.4 = 0.6$

şeklinde örneklenebilir. Ancak bunlar en basit yaklaşımlardır.

Bulanık mantık, belirsiz bir dünyanın gri, sağduyulu resimlerini üretmeleri için bilgisayarlara yardımcı olan bir makine zekası biçimidir. Bulanık mantığın kilit kavramını mantıkçılar ilk olarak 1920'lerde "Her şey bir derecelendirme sorunudur" diyerek ortaya sürmüşlerdir [Johnson, 1972].

Bulanık mantık, "sıcak" ya da "hâlâ kirli" gibi kavramlar kullanır ve bu sayede, hangi hızla çalışacağına ya da programlandığı bir aşamadan diğerine ne zaman geçeceğine

¹ Ancak bulanık mantık uygulamalarının çoğu bir ifadenin 0 veya 1 değerini almasına izin vermezler veya sadece çok özel durumlarda izin verirler.

kendisi karar veren havalandırma, çamaşır makinesi ve benzeri aygıtları yapabilmeleri için mühendislere yardımcı olur. Matematikçilerin elinde bir sistemin girdilerine yanıt verecek özel algoritmalar bulunmadığında, bulanık mantık belirsiz niceliklere başvuran "sağduyulu kurallar" kullanarak sistemi denetleyebilir ve betimleyebilir. Bilinen hiçbir matematiksel model bir kamyonun yükleme yerinden park yerine gidişini, kamyonun hareket noktası rasgele seçilebiliyorsa yönetemez. Oysa gerek insan, gerekse bulanık mantık sistemleri "Kamyon biraz sola dönerse sende biraz sağa çevir" gibi pratik, ancak kesinlik taşımayan kurallar kullanarak bu doğrusal olmayan (nonlinear) kılavuzluk işlemini gerçekleştirebilir.

Bulanık mantığın uygulama alanları kontrol sistemlerinin de ötesine uzanmaktadır. Geliştirilen son teoremler bulanık mantığın ilke olarak , ister mühendislik, ister fizik, ister biyoloji ya da ekonomi olsun, her türlü konuda sürekli sistemleri modellemek üzere kullanılabileceğini göstermektedir. Çoğu alanda, bulanık mantıklı modellerin standart matematik modellerinden daha yararlı ya da kesin sonuçlar verdiği görülmektedir.

Bulanık sistemler, eğitilebilir dinamik sistemlerdir. Bir fonksiyonu, çıktıların girdilere ne şekilde bağlı olduğunun matematiksel modelini bilmeksizin tahmin ederler. Sayısal, bazen dilsel örnek verilerden “deney yoluyla” öğrenirler. Uyarlanabilir bulanık sistemler, karmaşık süreçleri kontrol etmeyi, neredeyse insanlar gibi öğrenebilirler.

Bulanık Teorinin avantajları:

1. İnsan düşünme tarzına yakın olması,
2. Uygulamaşının matematiksel modele ihtiyaç duymaması,
3. Yazılımın basit olması nedeniyle ucuza mal olması.

Bulanık Teorinin dezavantajları:

1. Uygulamada kullanılan kuralların oluşturulmasının uzmana bağıllığı,

- 2.Üyelik fonksiyonlarının deneme - yanılma yolu ile bulunmasından dolayı uzun zaman alabilmesi,
- 3.Kararlılık analizinin yapılışının zorluğu (benzeşim yapılabilir).

2.4. Bulanık Kümeler ve Üyelik Fonksiyonları

Bulanık küme (Fuzzy Set) kavramı, Zadeh'in, klasik sistem kuramının matematiksel yöntemlerinin gerçek dünyadaki pek çok sistemle, özellikle insanları içeren kısmen karmaşık sistemlerle, uğraşırken yetersiz kalmasından hoşnut kalmayıp doğmuştur. Zadeh, 'uzun, kırmızı, durağan' gibi yüklemelerin ikili (boolean) üyelik fonksiyonuyla ifade edilen klasik kümeler yerine, dereceli üyelik fonksiyonuyla ifade edilen bulanık kümeler tanımlamasını önerdi [Zimmermann, 1991].

Bulanık küme kuramı, belirsizliğin bir tür biçimlenişi, formüllendirilmesidir ve bir çeşit çok-değerli küme kuramıdır. Fakat işlemleri, diğer küme kuramlarınıninkilerden farklılıklar gösterir.

Kısaca bulanık küme; tanımlanan bir kesin kümede, evrensel kümenin elemanlarına 0-1 kapalı aralığında değerlerin atanmasıyla, bu elemanların kesin kümenin elemanı olup olmadıklarını ve atanan değerlerle bu elemanların kümeye aitlik derecelerinin belirlendiği kümelerdir. Bulanık kümelerin belirlenmesinde aşağıdaki şartlara dikkat edilmelidir:

- Evrensel kümede tanımlanan bulanık kümeler simetrik olarak dağıtılmalıdır.
- Her bir değişken için tek sayıda bulanık küme tanımlanmalıdır. Bu sayede, bazı bulanık kümelerin ortada kalması sağlanabilir. Tipik olarak her sistem değişkeni için 3, 5 ya da 7 tane bulanık küme kullanılır. Burada bulanık kümeden kasıt, örneğin sıcaklık için 3 tane tanımlanacak olunursa, soğuk-ılık-sıcak değerleridir.
- Tüm değerlerin tanımlı olması için, bulanık kümelerin belirli bir yüzde ile üst üste binmesi sağlanmalıdır. Böylece, çıkışın belirlenmesinde de birden fazla kuralın kullanılması sağlanmış olur.

- Daha az hesaplama zamanı gerektiren üçgen ya da yamuk üyelik fonksiyonları seçilmelidir.

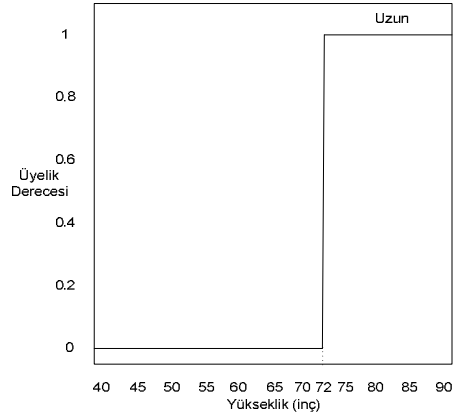
Kümedeki her bir birey, çift-değerli küme kuramlarında olduğu gibi “üye” ya da “üye değil” olarak değil, bir dereceye kadar üye olarak görülür. Örneğin, 1,90 m. boyundaki bir adam “uzun adamlar” kümesinin bir üyesidir. 2,00 m. boyundaki bir adam ve 2,10 m. boyundaki bir adam da “uzun adamlar” kümesinin üyeleridir. Bazı amaçlar için, onları bu kümenin “üyesi” ya da “üyesi değil” şeklinde sınıflandırmak yeterli olmayabilir. Bu gibi durumlarda, onların üyelik değerlerini, dereceli olarak, boylarına göre tanımlamak uygun olabilir.

“Bulanık küme” kavramı, hassasiyetin artırılması açısından, klasik kümelere göre daha uygun olan yeni bir araç sağlıyor olarak görülebilir. Getirdiği yaklaşım, klasik küme kuramlarında kullanılan üyelik kavramını bir kenara bırakıp yerine tamamen yenisini koymak değil, iki-değerli üyeliği çok-değerliliğe taşıyarak genellemesini yapmaktır [Dubois ve ark., 1991].

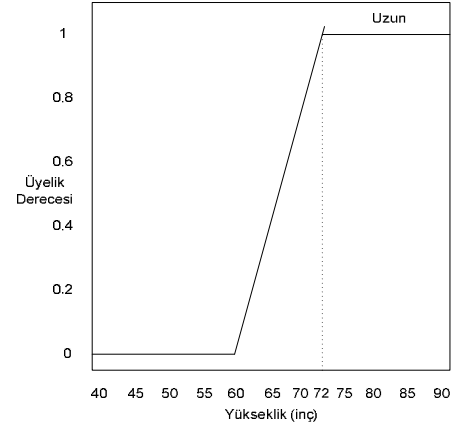
Klasik kümeler üye olma ve üye olmama ilişkisi çerçevesinde geliştirilmiştir. Bu tür kümeleri ifade etmek için özel bir fonksiyon tanımlanabilir ve bu fonksiyona karakteristik fonksiyon denilir. Karakteristik fonksiyon her bir elemana 1 ve 0 değerlerinden birini üyelik durumuna göre atayarak evrensel küme üzerinde tanımlanan ve bizim ilgilendiğimiz özelliğe sahip olan elemanların oluşturduğu kümeyi belirler [Dubois ve ark., 1991].

Zadeh, “Bulanık Kümeler” çalışmasında bulanık mantığı anlatmış, bulanık küme teorisinin matematiksel açıklamalarına yer vermiştir. Eflatun, bulanık mantığın temellerini atarak doğru ve yanlışın ötesinde bir üçüncü seçeneğin daha olduğunu belirtmiştir. Aristo’nun iki değerli mantığına sistematik bir alternatif öneren ilk kişi Lukasiewicz’dir. Lukasiewicz’in önerdiği üçüncü değer en iyi “mümkün” olarak çevrilebilir ve bu değer için doğru ile yanlış arasında sayısal bir değer belirlenmiştir. Daha sonra, Lukasiewicz dört değerli ve beş değerli mantığı keşfetmiştir. Prensip

olarak, sonsuz değerli mantığı türetmeyi önleyecek hiçbir şey yoktur. Bulanık mantık, belirsiz olarak açıklanmış durumların modellenmesine olanak sağlar. Yaklaşık nedenler şeklindeki bulanık mantık teknikleri karar destek ve uzman sistemlere çok güçlü muhakeme yeteneği sağlar. Bulanık bir küme, keskin (crisp) bir kümenin açılımıdır. Keskin kümelerde sadece elemanı olma ya da olmama söz konusudur. Oysa bulanık kümelerde kısmi üyelik olabilir. Keskin kümede x elemanının A kümesine üye olma veya olmaması $\mu_A(x)$ fonksiyonu ile gösterilirse; $x \in A$ ise $\mu_A(x) = 1$ ve $x \notin A$ ise $\mu_A(x) = 0$ olur. Bulanık küme teorisi bu kavramı kısmi üye kavramı ile genişletmiştir. U uzayındaki bir A bulanık kümesi $\mu_A(x)$ üyelik fonksiyonu ile karakterize edilmiştir ve bu fonksiyon $[0,1]$ aralığında değerler alabilir. Bulanık kümeler, yavaş, hızlı, küçük, büyük, ağır, hafif, orta, yüksek, uzun, ...vs. gibi linguistik etiketlere sahip olabilir. Verilen bir eleman aynı zamanda birden fazla bulanık kümenin elemanı olabilir. U uzayındaki bir A bulanık kümesi, sıralı çiftlerin kümesi olarak gösterilebilir. Her çift, bir x elemanı ve bu elemanın üyelik fonksiyonunun derecesini içerir. Yani; $A = \{(x, \mu_A(x)) \mid x \in U\}$ olup, $\mu_A(x) > 0$ ise x destek değeri (support value) olarak adlandırılır. U uzayındaki bir x linguistik değişkeni $T(x) = \{T_x^1, T_x^2, \dots, T_x^k\}$ ile karakterize edilir ve $\mu(x) = \{\mu_x^1, \mu_x^2, \dots, \mu_x^k\}$ olarak gösterilir. Burada, $T(x)$ x 'in linguistik değerlerinin isimlerinin kümesidir. Her T_x^i , μ_x^i üyelik fonksiyonuna sahip bir bulanık sayıdır. Örneğin; eğer x yüksekliği gösteriyorsa, $T(x)$ kısa, orta, yüksek gibi kelimeleri içerir. Bir üyelik fonksiyonu esasen giriş alanındaki her noktanın 0 ile 1 arasında nasıl bir üyelik değerine karşılık geldiğini gösteren bir eğridir. Örneğin; “uzun” bulanık kümesini ele alalım ve U uzayının 40 inç ile 90 inç arasındaki boyları içerdiğini varsayalım. Keskin bir küme ile, 72 inç ve daha fazla boyu olanlar “uzun” olarak, 72 inçten kısa olanlar da “uzun olmayanlar” olarak belirlenebilir. “uzun” kümesi için bu biçimdeki üyelik fonksiyonu Şekil 2.1’de; düz bir üyelik fonksiyonuna sahip uygun bulanık küme ise Şekil 2.2’de gösterilmiştir [Kulkarni, 2001].

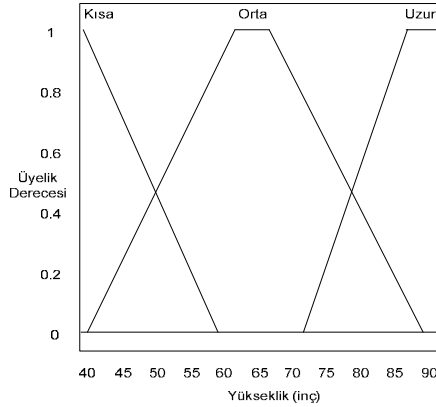


Şekil 2.1. Keskin üyelik fonksiyonu



Şekil 2.2. Örnek bulanık üyelik fonksiyonu

Şekil 2.2'deki eğri, uzun olmayanlardan geçişi tanımlar ve verilen bir yükseklik için üyelik derecesini gösterir. Bu kavramı çok sayıda kümeye genişletebiliriz. Pratikte, kısa, orta ve uzun terimleri mutlak duygularda kullanılmaz. Bunun yerine daha yumuşak geçişler gösterir. Bu kümeleri gösteren bulanık üyelik fonksiyonu Şekil 2.3'te verilmiştir [Kulkarni, 2001].



Şekil 2.3. Üçgen üyelik fonksiyonları

Şekil 2.3'te; 65 inç boyu olan kişinin 1 üyelik değeri ile orta boy kümesine ait olacağı, oysa 60 inç boyu olan kişinin kısa boylular kümesi ve orta boylular kümesinin de üyesi olabileceği, bu kümeler için sadece üyelik derecesinin değişeceği görülmektedir. Üyelik fonksiyonlarının, üçgensel, yamuk, genelleştirilmiş çan eğrisi, gauss eğrisi, polinom eğrisi, Π biçiminde ve sigmoid fonksiyonlar gibi değişik

tipleri kullanılmaktadır. Şekil 2.3'te yamuk üyelik fonksiyonu görülmektedir [Kulkarni, 2001].

Üçgensel eğriler a , b ve c parametrelerine bağlıdır ve aşağıdaki gibi gösterilir [Kulkarni, 2001].

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \text{ için} \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x < b \text{ için} \\ \frac{c-x}{c-b} & b \leq x \leq c \text{ için} \\ 0 & x > c \text{ için} \end{cases} \quad (2.1)$$

Yamuksal eğriler aşağıda verilen 4 parametreye bağlıdır ve aşağıdaki gibi gösterilir [Kulkarni, 2001];

$$f(x; a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \text{ için} \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x < b \text{ için} \\ 1 & b \leq x < c \text{ için} \\ \frac{d-x}{d-c} & c \leq x < d \text{ için} \\ 0 & d \leq x \text{ için} \end{cases} \quad (2.2)$$

Π biçimindeki üyelik fonksiyonları aşağıda verilmiştir [Giarratano ve Riley, 1993];

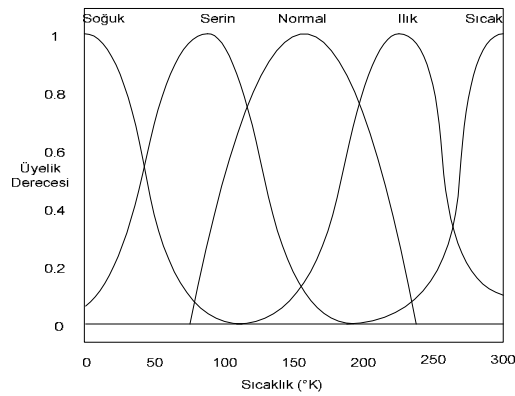
$$f(x; b, c) = \begin{cases} S(x; c-b, c-b/2, c) & x \leq c \text{ için} \\ 1-S(x; c, c+b/2, c+b) & x > c \text{ için} \end{cases} \quad (2.3)$$

Burada, $S(x; a, b, c)$ aşağıda verilen üyelik fonksiyonlarını göstermektedir;

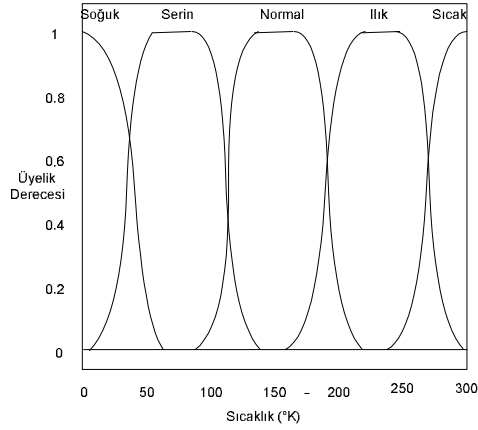
$$S(x; a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \text{ için} \\ \frac{2(x-a)^2}{(c-a)^2} & a \leq x < b \text{ için} \\ 1 - \frac{2(x-c)^2}{(c-a)^2} & b \leq x \leq c \text{ için} \\ 1 & x > c \text{ için} \end{cases} \quad (2.4)$$

(2.4) eşitliğinde, a,b ve c istenen üyelik verisi haline getirilmiş olan parametrelerdir. “b” parametresi, kesişme noktasındaki eğrinin yarı genişliğidir. Gaussian ve Π biçimindeki üyelik fonksiyonları Şekil 2.4 ve 2.5’te gösterilmiştir. Gaussian eğrisi σ ve c parametrelerine bağlıdır ve aşağıdaki biçimde gösterilir [Kulkarni, 2001];

$$f(x; \sigma, c) = \exp\left[\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (2.5)$$



Şekil 2.4. Gaussian üyelik fonksiyonları



Şekil 2.5. II-Biçiminde üyelik fonksiyonları

Bulanık çıkarım sistemi (fuzzy inference system) tasarlanırken, üyelik fonksiyonları, kuralların koşul ve sonuç kısımlarından oluşan terim kümeleri ile oluşturulurlar.

2.5. Mantıksal İşlemler ve Eğer – İse Kuralları

Bulanık küme işlemleri keskin küme işlemlerine benzerdir. Bulanık küme mantıksal operatörlerini tanımlamak için öncelikle keskin küme işlemlerini gözden geçirmek faydalı olacaktır. Temel keskin küme işlemleri; birleşim, kesişim ve tülemedir (veya – ve – değil , OR – AND – NOT). A ve B'yi U uzayında iki alt küme olarak kabul edersek, $A \cup B$ A ile B'nin birleşimini gösterir ve A ve B'deki tüm elemanları içerir. Yani; $x \in A$ veya $x \in B$ için $\mu_{A \cup B}(x) = 1$ 'dir. $A \cap B$ A ile B'nin kesişimini gösterir ve A ve B'de aynı anda olan elemanları içerir. Yani; $x \in A$ ve $x \in B$ için $\mu_{A \cap B}(x) = 1$ 'dir. $\bar{A}$ A'nın tüleyenini gösterir ve A'da bulunmayan tüm elemanları kapsar. Yani; $x \notin A$ için $\mu_{\bar{A}}(x) = 1$ ve $x \in A$ için $\mu_{\bar{A}}(x) = 0$ 'dır [Kulkarni, 2001].

Bu işlemler Çizelge 2.1'de verilmiştir.

Çizelge 2.1. VE, VEYA ve DEĞİL operatörleri için gerçeklik tablosu

VE (AND)			VEYA (OR)			DEĞİL (NOT)	
A	B	$A \cup B$	A	B	$A \cap B$	A	$\bar{A}$
0	0	0	0	0	0	0	1
0	1	0	0	1	1	1	0
1	0	0	1	0	1		
1	1	1	1	1	1		

Bulanık mantıkta, herhangi bir durumun gerçekliği derece ile ilgilidir. Bulanık mantık operatörleri ile ilgili olarak, aşağıdaki özellikler kullanılmaktadır [Kulkarni, 2001];

$$\begin{aligned}
\mu_{A \cup B}(x) &= \max[\mu_A(x), \mu_B(x)] \\
\mu_{A \cap B}(x) &= \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \\
\mu_{\bar{A}}(x) &= 1 - \mu_A(x)
\end{aligned} \tag{2.6}$$

(2.6) eşitliğindeki VE, VEYA ve DEĞİL operatörleri için verilen formüller, kümelerle ilgili diğer matematiksel özelliklerin ispatı için faydalıdır. Bununla birlikte, “min” ve “max” iki kümenin birleşim ve kesişimlerini açıklamak için kullanılan tek yol değildir. Zadeh bulanık birleşim ve kesişimi şu şekilde tanımlamıştır [Kulkarni, 2001];

$$\begin{aligned}
\mu_{A \cup B}(x) &= \mu_A(x) + \mu_B(x) - \mu_A(x)\mu_B(x) \\
\mu_{A \cap B}(x) &= \mu_A(x)\mu_B(x)
\end{aligned} \tag{2.7}$$

Daha genel terimlerle, A ve B gibi iki bulanık kümenin kesişimi, iki üyelik fonksiyonunu birleştiren ikili bir T dönüştürmesiyle karakterize edilir [Kulkarni, 2001];

$$\mu_{A \cap B}(x) = T(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.8)$$

Örneğin; ikili operatör T , $\mu_A(x), \mu_B(x)$ 'in çarpımını gösterebilir. Bu bulanık kesişim operatörleri üçgensel (T-norm) tip operatörler olarak adlandırılır ve aşağıdaki şartları karşılarlar [Kulkarni, 2001];

$$\begin{aligned} \text{Sınır} & : T(0,0) = 0, T(a,1) = T(1,a) = a \\ \text{Monotonluk} & : \text{Eğer } a \leq c \text{ ve } b \leq d \text{ ise; } T(a,b) \leq T(c,d) \\ \text{Değişme özelliği} & : T(a,b) = T(b,a) \\ \text{Birleşme özelliği} & : T(a, T(b,c)) = T(T(a,b), c) \end{aligned} \quad (2.9)$$

Sınır şartı, keskin kümelerin genelleştirmesinin doğrulamasını sağlar. Monotonluk şartı, A ve B'nin üyelik değerlerindeki azalışın A ve B kümelerinin kesişimlerinin üyelik değerlerinin artışına neden olmayacağını gösterir. Değişme özelliği şartı, birleşmiş bulanık kümelerin sıralamasına duyarlı olan işlemi belirtir ve birleşme özelliği şartı, herhangi bir sayıdaki bulanık kümenin kesişimini almayı ve ikili gruplandırmaları mümkün kılar. Bulanık kesişime örnek olarak, bulanık birleşim işlemleri de aşağıdaki ikili S dönüştürmesi ile karakterize edilebilir [Kulkarni, 2001].

$$\mu_{A \cup B}(x) = S(\mu_A(x), \mu_B(x)) \quad (2.10)$$

Bulanık birleşim operatörleri T-conorm veya S-norm olarak bilinir ve aşağıdaki özellikleri taşırlar [Kulkarni, 2001];

$$\begin{aligned} \text{Sınır} & : S(1,1) = 1, S(a,0) = S(0,a) = a \\ \text{Monotonluk} & : \text{Eğer } a \leq c \text{ ve } b \leq d \text{ ise; } S(a,b) \leq S(c,d) \\ \text{Değişme özelliği} & : S(a,b) = S(b,a) \\ \text{Birleşme özelliği} & : S(a, S(b,c)) = S(S(a,b), c) \end{aligned} \quad (2.11)$$

Birçok S-norm ve T-norm Yager, 1980; Dubois ve Prade, 1980; Schweizer ve Sklar, 1963; Sugeno, 1977 literatürlerinde yer almaktadır. Bir S-norm ve T-norm çifti operatörlerinin sınırlandırılmış toplam ve sınırlandırılmış çarpımı için aşağıdaki örnek verilebilir [Kulkarni, 2001];

$$\begin{aligned} x \oplus y &= \min[1, x + y] \\ x \otimes y &= \max[0, x + y - 1] \end{aligned} \quad (2.12)$$

Birçok uygulamada, bulanık küme kesişimi için *min*, bulanık küme birleşimi için *max* ve tümlleme işlemi için de $1 - \mu_A(x)$ kullanılmaktadır.

Bulanık çıkarım sistemleri (Fuzzy Inference Systems - FIS) girdi ve çıktı bulanık kümeleri arasındaki ilişkiyi belirtmek için eğer-ise (if-then) kurallarını kullanır. Bulanık bağlantılar iki veya daha fazla kümenin elemanları arasındaki ilişki ve etkileşimin varlığının veya yokluğunun derecesini gösterir. U ve V iki uzay olarak düşünülürse, $R(U, V)$ bulanık ilişkisi $U \times V$ uzay çarpımında bir kümedir ve $\mu_R(x, y)$ üyelik fonksiyonu ($x \in U$ ve $y \in V$) ve $\mu_R(x, y) \in [0, 1]$ ile karakterize edilmiştir. Bulanık çıkarım sistemlerinde, bulanık ilişkiler önemli bir rol oynar. Bulanık mantık, keskin mantığın düşüncelerini kullanır. Keskin mantık kavramları, 0 veya 1 değerlerini bulanık üyelik değerlerine değiştirmek yoluyla bulanık mantığa genişletilebilir [Kulkarni, 2001].

$x \in U$ ve $y \in V$ iken, tek bir bulanık kural “Eğer x A ise, o zaman y B’dir” biçimindedir ve $\mu_{A \rightarrow B}(x, y) \in [0, 1]$ olmak üzere, $\mu_{A \rightarrow B}(x, y)$ üyelik fonksiyonuna sahiptir. Kuralın “eğer” kısmı olan “ x A ise” kuralın öncülü ya da nedeni (antecedent) olarak, son kısmı olan “ y B’dir” ise kuralın sonucu veya artbileşeni olarak adlandırılır. Bir *if-then* kuralının yorumlanması iki ayrı adımı içerir. Birinci adım; öncülün hesaplanması olup girdinin bulanıklaştırılmasını ve gerekli bulanık operatörlerin uygulanmasını kapsar. İkinci adım, birinci adımın sonucunun artbileşene dahil edilmesi veya uygulanmasıdır ve bu temel olarak $\mu_{A \rightarrow B}(x, y)$ üyelik

fonksiyonunu hesaplar. Çoğu uygulama için, bulanık üyelik fonksiyonu $\mu_{A \rightarrow B}(x, y)$ için aşağıdaki eşitlikler geçerlidir [Kulkarni, 2001];

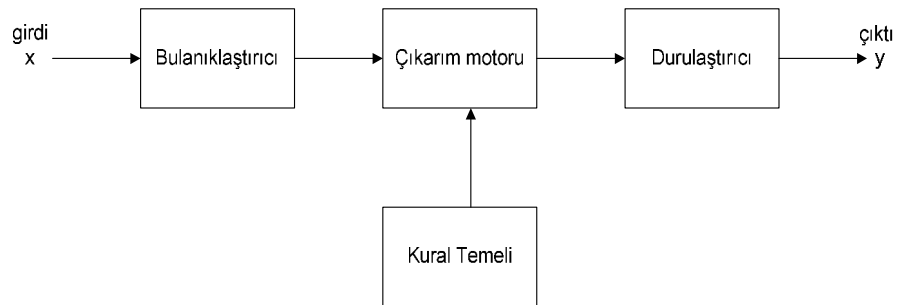
$$\mu_{A \cap B}(x) = \mu_A(x) \mu_B(x) \quad (2.13)$$

$$\mu_{A \cap B}(x) = \min[\mu_A(x), \mu_B(x)] \quad (2.14)$$

Minimum yolu ile sonuç çıkarımını ilk öneren Mamdani'dir. Daha sonra Larsen çarpım ile sonuç çıkarımını önermiştir. Minimum ve çarpma çıkarımları geleneksel mantığa uygulanamaz. Bu nedenle, tamamen mühendislik alanlarına yönelmişlerdir [Kulkarni, 2001].

2.6. Bulanık Çıkarım Sistemi

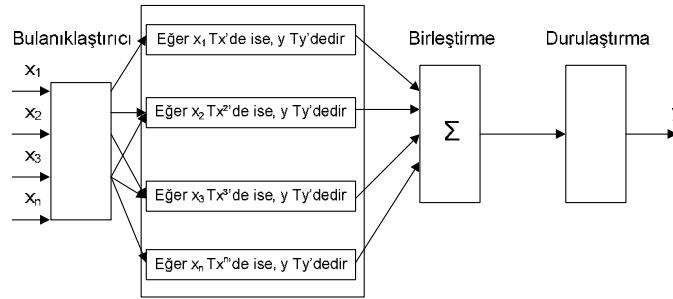
Bir FIS, aslında, girdi data vektörünün skaler bir çıktıya, lineer olmayan bir eşleştirmesini tanımlar. Eşleştirme prosesi, girdi/çıkı üyelik fonksiyonları, bulanık mantık operatörleri, bulanık eğer – ise kuralları, çıktı kümelerinin bir araya getirilmesi ve durulaştırma (defuzzification) işlemlerini içerir. Birden fazla çıktılı bir FIS, bağımsız birden fazla girdi ile tek çıktılı sistemlerin bir birleşimi olarak düşünülebilir. Şekil 2.7'de genel bir FIS modeli verilmiştir [Kulkarni, 2001].



Şekil 2.6. FIS blok diyagramı

Bulanık mantık sistemi (Fuzzy Logic System - FLS), kesin girdileri, kesin çıktılara dönüştürür. Şekil 2.6'da görüleceği üzere, FIS, bulanıklaştırıcı (fuzzifier), çıkarım motoru, kural temeli ve durulaştırıcı olmak üzere 4 bileşenden oluşmaktadır. Kural

temeli, uzmanlar tarafından hazırlanmış olan linguistik kuralları içerir. Sayısal verilerden de kural oluşturmak mümkündür. Kurallar oluşturulduktan sonra, FIS, bir girdi vektörünü bir çıktı vektörüne eşleştiren bir sistem olarak görülebilir. Bulanıklaştırıcı, girdi sayılarını ilgili bulanık üyelikler biçiminde tasarlar. Bu, linguistik değişkenler biçimindeki kuralları aktive etmek için gereklidir. Bulanıklaştırıcı, girdi değerlerini alır ve üyelik fonksiyonları vasıtasıyla, her bulanık kümeye ait olma durumuna göre, bu değerlerin derecesini belirler. Sonuç çıkarım motoru, bulanık girdi kümelerinden, bulanık çıktı kümelerinin tasarlanmasını tanımlar. Her kural için, başarılı olan öncülün (kuralın “eğer” kısmı) derecesini tayin eder. Eğer, verilen kuralın öncülü, birden fazla maddeye sahipse, bulanık mantık operatörleri, o kuralın öncülünün sonucunu gösteren bir sayıyı belirlemek için kullanılır. Aynı zamanda, bir veya daha fazla kuralı harekete geçirmek mümkündür. Daha sonra, tüm kuralların çıktıları bir araya getirilir. Bir araya getirme süresince, her kuralın çıktısını gösteren bulanık kümeler tek bir bulanık küme olarak birleştirilir. Bulanık kurallar paralel olarak elenir. Bir FIS’ta hangi kuralın hangi sırayla elendiği çıktıyı etkilemez. Durulaştırıcı, bulanık çıktı kümelerini tek bir sayı biçiminde tasarlar. Çok sayıda çıktı değerini içeren bir bulanık kümede, durulaştırıcı bir bulanık kümeyi kesin tek bir sayıya dönüştürür. Pratikte, birçok durulaştırma metodu kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; kitle merkezi (centroid), maksimum, maksimumların ortalaması, yükseklik ve modifiye edilmiş yükseklik (modified height) biçimindedir. En popüler durulaştırma metodu sentroiddir. Sentroid, bir araya getirilmiş bulanık kümelerin ağırlık merkezlerini hesaplar ve sonuçlandırır. FIS’ler kurallar kullanır. Bununla birlikte geleneksel uzman sistemlerdeki kurallardan ayrı olarak, bir bulanık kural, yüzeyde bir noktayı ayırmak yerine, fonksiyon yüzeyi boyunca bir bölgenin yerini belirler. Verilen bir girdi için, birden fazla kural eklenebilir. Ayrıca, FIS’ta birden fazla bölge, birleşik bir bölge elde etmek için bir araya getirilebilir. Şekil 2.7’de FIS’in genel bir şematik gösterimi verilmiştir [Kulkarni, 2001].

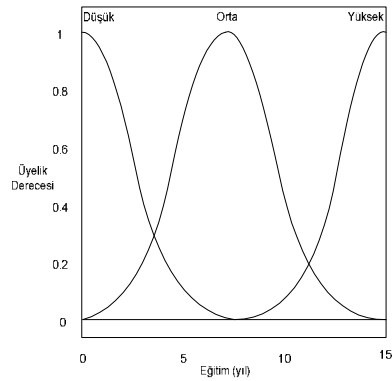


Şekil 2.7. FIS Şematik diyagramı

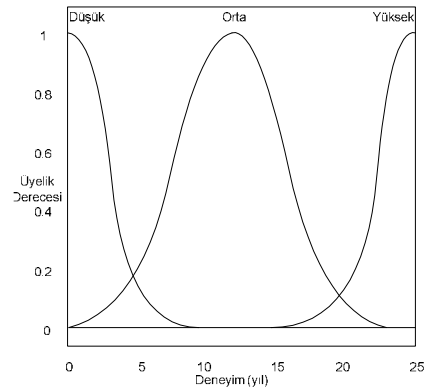
Çok girdili, çok çıktılı bir sistem düşünölsün. Girdi vektörü $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ ve çıktı vektörü $y = (y_1, y_2, \dots, y_m)^T$ olsun. U olarak anılan uzaydaki x_i linguistik değişkeni, x 'in terimler kümesi $T(x)$ iken, $T(x) = \{T_x^1, T_x^2, \dots, T_x^k\}$ ve $\mu(x) = \{\mu_x^1, \mu_x^2, \dots, \mu_x^k\}$ ile karakterize edilir. Yani; x 'in linguistik değeri adlarının kümesidir, her T_x^i bir bulanık üye ve μ_x^i de U'da tanımlanmış üyelik fonksiyonudur. Bir örnek olarak, iki girdili ($n=2$) ve tek çıktılı ($m=1$) bir bulanık çıkarım sistemi düşönelim. İki girdi eğitim yılı sayısını ve yıl olarak deneyimi, çıktı ise maaşı ifade etsin. x_1 eğitim yılını, $T(x_1)$ onun terim kümesini {düşük, orta, yüksek} olarak göstörsin ve söz uzayı [0-15] olsun. x_2 deneyim yılını göstörsin, söz uzayı [0-30] aralığında ve ilgili terim kümesi de {düşük, orta, yüksek} olsun. Benzer olarak, V söz uzayıdaki y linguistik değeri $T(y) = \{T_y^1, T_y^2, \dots, T_y^l\}$ ile karakterize edilsin. Burada $T(y)$ y 'nin terim kümesidir. Yani; y 'nin linguistik değeri adlarının kümesi T'dir. Her T_y^i , μ_y^i bulanık üyelik fonksiyonu olarak V'de tanımlanmıştır. Eğer y değeri ile maaşı göstörsösek, $T(y)$ {çok düşük, düşük, orta, yüksek, çok yüksek} olarak terim kümesini ifade eder ve söz uzayı [20-200] olur. Bu uzay, bin dolar olarak minimum ve maksimum miktarı temsil eder. Yani; 20 000 – 200 000 \$ [Kulkarni, 2001].

x_1 , x_2 girdi değeri değişkenlerinden y çıktısını oluşturmak için, ilgili bulanık kümelerin öncelikle tanımlanması gereklidir. Şekil 2.8-10'da girdi ve çıktı değeri değişkenleri için üyelik fonksiyonları gösterilmektedir. Bir FIS'in çıktısını hesaplamak için ilk adım

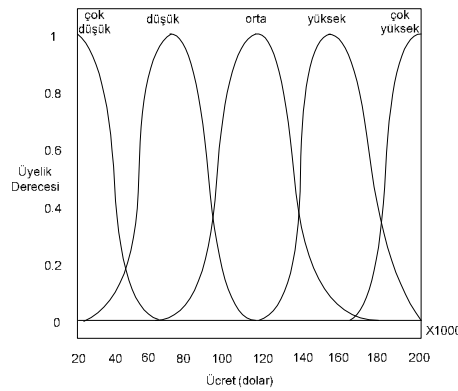
girdileri kullanmak ve ait oldukları bulanık kümelerle göre derecelerini belirlemektir. Bulanıklaştırıcı blok, girdi nitelik uzayından bulanık kümelerle geçişi sağlayan işlemi yürütür. x_1 spesifik değeri o zaman, $T_{x_1}^1$ bulanık kümesine $\mu_{x_1}^1$ derecesi ile, $T_{x_1}^2$ bulanık kümesine de $\mu_{x_1}^2$ derecesi ile aktarılır. Bu işlemi yürütmek için; üçgensel, gauss, Π biçiminde gibi herhangi bir şekildeki bulanık küme kullanılabilir.



Şekil 2.8. Girdi1 için bulanık üyelik fonksiyonları



Şekil 2.9. Girdi2 için bulanık üyelik fonksiyonları



Şekil 2.10. Çıktı1 için bulanık üyelik fonksiyonu

Bir bulanık kural temeli, bulanık kuralların bir R kümesini içerir. Basit bir eğer – ise yapısı; “Eğer $x \in T_x$ ise, $y \in T_y$ ’dir” biçimindedir. Örneğin, bir kural olarak “eğer eğitim yüksek ve deneyim yüksek ise, maaş çok yüksektir” verilebilir. Çok girdili ve çok çıktılı bir sistem için;

$$R = (R_1, R_2, \dots, R_n) \quad (2.15)$$

ve i. bulanık kural;

$$R_i = \text{if} (x_1 T_{x_1} \text{ ise, ve } \dots, x_p T_{x_p}) \text{ ise } (y_1 T_{y_1} \text{ 'dedir, ve } \dots, Y_q T_{y_q} \text{ 'dadır)} \quad (2.16)$$

R_i 'nin p adet ön koşulu $T_{x_1} \times T_{x_2} \times \dots \times T_{x_p}$ bulanık kümesini oluşturur ve sonuç q adet bağımsız çıktının birleşimidir. Çok girdili, tek çıktılı bir sistemi düşünürsek, sonuç $(y_1 T_{y_1} \text{ 'dir})$ olur. Verilen örnek için kurallar aşağıdaki gibi belirlenmiştir [Kulkarni, 2001];

- R_1 : eğer eğitim düşük ve deneyim düşükse, maaş çok düşüktür.
- R_2 : eğer eğitim düşük ve deneyim ortaysa, maaş düşüktür.
- R_3 : eğer eğitim düşük ve deneyim yüksekse, maaş orta seviyededir.
- R_4 : eğer eğitim orta ve deneyim düşükse, maaş düşüktür.
- R_5 : eğer eğitim orta ve deneyim ortaysa, maaş orta seviyededir.
- R_6 : eğer eğitim orta ve deneyim yüksekse, maaş yüksektir.
- R_7 : eğer eğitim yüksek ve deneyim düşükse, maaş orta seviyededir.
- R_8 : eğer eğitim yüksek ve deneyim ortaysa, maaş yüksektir.
- R_9 : eğer eğitim yüksek ve deneyim yüksekse, maaş çok yüksektir.

Bir eğer – ise kuralını yorumlamak üç parçalı bir prosestir. (a) 0 ve 1 arasındaki üyelik dereceli tüm öncül bulanık durumları çözmek; (b) Eğer öncül olan birden fazla kısım varsa, bulanık mantık operatörlerini uygulamak ve öncülü 0 ile 1 arasındaki tek bir sayı olarak çözmek; (c) Sonuç çıkarma metodunu uygulamak. Eğer bir kural, birden fazla öncüle sahipse, bulanıklık operatörü, o kuralı uygulamanın sonucunu gösteren bir sayıyı elde etmek için kullanılır. Örneğin; bir i. kural düşünölsün [Kulkarni, 2001];

R_i : eğer $x_1 \in T_{x_1}^i$ ise ve $x_2 \in T_{x_2}^i$ ise, o zaman $y \in T_y^i$ 'dir . (2.17)

Kuralın üyelik kuvveti, bu durumda, aşağıdaki gibi tanımlanır;

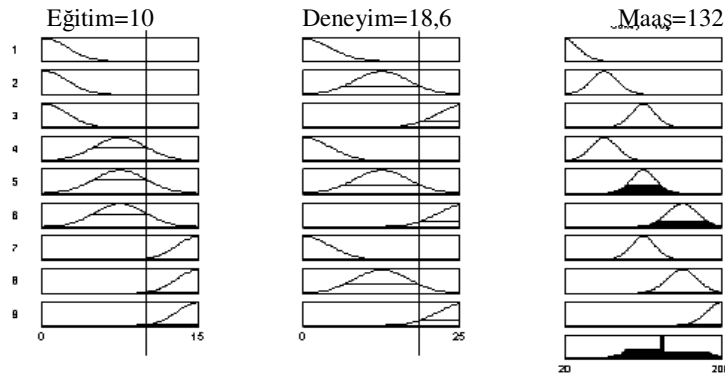
$$\alpha_i = \min(\mu_{x_1}^i(x_1), \mu_{x_2}^i(x_2)) \text{ veya } \alpha_i = \mu_{x_1}^i(x_1) \mu_{x_2}^i(x_2) \quad (2.18)$$

Eş. 2.18, bulanık kesişimi minimum veya çarpma operatörleri ile göstermektedir. Her bulanık kural, o kuralın kuvvetini gösteren tek bir sayı üretir. Sonra, bu kuvvet, kuralın sonuç kısmını gösteren bulanık küme çıktısının biçimlendirilmesinde kullanılır. Sonuç çıkarma metodu, öncüle dayandırılarak, sonucun (bulanık çıktı kümesi) biçimlendirilmesi olarak tanımlanır. Sonuç çıkarım prosesinin girdisi, öncül tarafından verilen tek bir sayı, çıktısı ise bir bulanık kümedir. Genellikle 2 metot kullanılır; minimum ve çarpma metodu [Kulkarni, 2001].

$$\mu_y^i(w)' = \min(\alpha_i, \mu_y^i(w)) \quad (2.19)$$

$$\mu_y^i(w)' = \alpha_i \mu_y^i(w) \quad (2.20)$$

Burada w , üyelik fonksiyonunun destek değerini gösteren değişkendir. Verilen örnek için, eğitimin 10 yıl, deneyimin de 18.6 yıl olduğu varsayılırsa, Şekil 2.11'de R_5 ve R_6 kurallarının işletildiği görülebilir [Kulkarni, 2001].



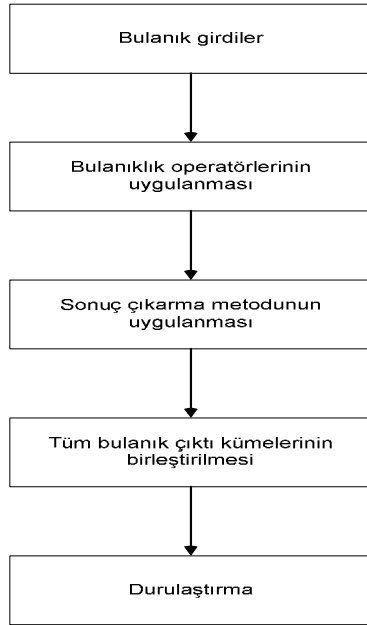
Şekil 2.11. Bulanık kurallar

Kuralların kuvvetlerini elde ettikten sonra, ilgili bulanık çıktı kümelerini tek bir birleşik bulanık kümeye toplamak gerekir. Bulanık çıktı kümelerini tek bir kümeye toplama prosesine “birleştirme” (aggregation) adı verilir. Bu proses, tüm kuralların çıktılarını bütünleştirir. Aslında, birleştirme, her kural için çıktıyı gösteren tüm bulanık kümeleri alır ve bunları tek bir bulanık kümede toplar. Bu tek küme, durulaştırma işlemi için bir girdi olarak kullanılır. Her çıktı değişkeni için, birleştirme sadece bir defa yapılır. Birleştirme prosesinin girdisi, kısaltılmış veya değiştirilmiş bulanık çıktı kümeleridir ve bunlar sonuç çıkarım prosesinin çıktısı olarak elde edilmişlerdir. Birleştirme metodu sıradan bağımsız (değişmeli) olduğundan, kuralların hangi sırada uygulandığı önemsizdir. En çok kullanılan birleştirme metodu “max” metodudur. Eğer, $\mu_y^1(w)$ ve $\mu_y^2(w)$ bulanık kümeleri ile temsil edilen bulanık çıktı kümesi iki kuralımız olduğunu varsayarsak, iki kümenin birleşimi ile, çıktı kararı olarak;

$$\mu_y(w) = \max(\mu_y^1(w), \mu_y^2(w)) \quad (2.21)$$

elde edilir [Kulkarni, 2001].

Örnek için bulanık kümelerin birleştirme çıktısı şekil 2.11’de gösterilmiştir. Y çıktısı için kesin bir değere ulaşmak için, bir durulaştırma işlemi yapılmalıdır. Durulaştırma prosesinin girdisi, bir bulanık kümedir (birleşik bulanık çıktı kümesi) ve durulaştırma prosesinin çıktısı tek bir kesin sayıdır. En sık kullanılan durulaştırma metodu sentroiddir (kitle merkezi hesaplaması). Bulanık çıkarım prosesi, Şekil 2.12’de görüldüğü gibi, 5 adımda gösterilebilir.



Şekil 2.12. Bulanık sonuç çıkarım prosesi

Adım 1; Bulanık Girdiler

Birinci adım, girdileri almak ve ait oldukları her uygun bulanık kümeye göre, üyelik fonksiyonları yolu ile derecelerini belirlemektir.

Adım 2; Bulanık Operatörlerin Uygulanması

Girdiler bulanıklaştırıldığında, her kural için başarılımış öncülün her parçasının derecesi bilinir. Eğer verilen bir kural birden fazla kısma sahipse, bulanık mantıksal operatörler, kuralın bileşik uygulanma kuvvetini hesaplamak için kullanılır.

Adım 3; Sonuç Çıkarma Metodunun Uygulanması

Sonuç çıkarma metodu, kuralın işletilme kuvvetine dayalı olarak, çıktı üyelik fonksiyonlarının biçimlendirilmesi olarak tanımlanır. Sonuç çıkarma prosesinin girdisi, öncül tarafından verilen tek bir sayıdır ve çıktısı bir bulanık kümedir. En yaygın kullanılan 2 metot, minimum ve çarpma metotlarıdır.

Adım 4; Tüm Çıktıların Birleştirilmesi

Birleştirme, tüm kuralların çıktılarının bütünleştirildiği bir prosestir. Her çıktı değişkeni için yalnızca bir birleştirme yapılabilir. Birleştirme işleminin girdisi, her kural için yürütülen çıkarım prosesinin sonucu olan kısaltılmış bulanık çıktı kümeleridir. Çıktısı ise birleştirilmiş bulanık çıktı kümesidir.

Adım 5; Durulaştırma

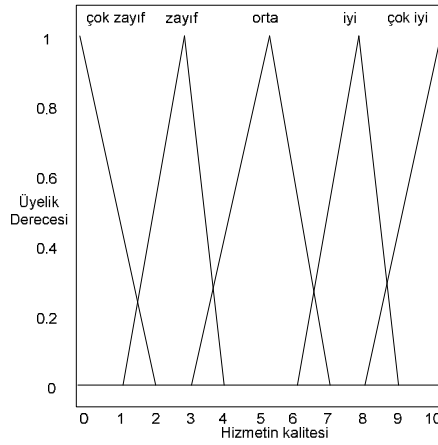
Durulaştırma prosesinin girdisi bir bulanık kümedir (birleştirilmiş bulanık çıktı kümesi) ve çıktısı sentroid, yükseklik veya maksimum gibi durulaştırma metotları kullanılarak elde edilmiş kesin bir değerdir [Kulkarni, 2001].

Örnek olarak, alınan hizmete dayanarak, bir restorandaki akşam yemeği için verilecek bahşişi belirleyen bir sistem incelenir. Girdi üyelik fonksiyonları, farklı üst üste binme dereceleri ile düşünülür. Burada, x girdisi hizmetin kalitesini göstermektedir ve değeri 0 ile 10 arasındadır. 0 “çok zayıf”, 10 “çok iyi” değerlerini ifade etmektedir. “ x ” girdisi {çok zayıf, zayıf, orta, iyi, çok iyi} terim kümesi ile gösterilir. “ y ” çıktısı bahşişi gösterir ve %5 ile %30 arasında bir değer alır, {çok az, az, orta, cömert, çok cömert} terim kümesi ile ifade edilir. Bu örnek için, girdi – çıktı bulanık kümeleri sırasıyla Şekil 2.13 ve 2.14’de gösterilmiştir. $y = f(x)$ ’i tanımlayan aşağıdaki 5 kural tanımlanmıştır;

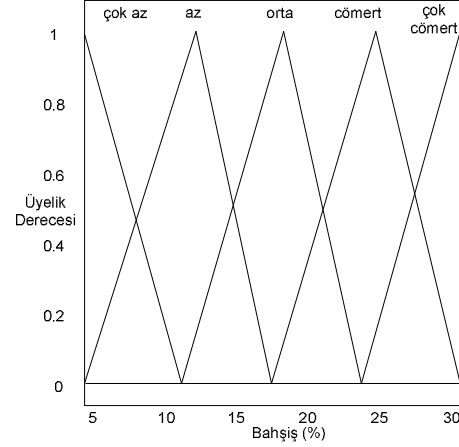
- R_1 : Hizmet çok zayıfsa, bahşiş çok az.
- R_2 : Hizmet zayıfsa, bahşiş az.
- R_3 : Hizmet ortaysa, bahşiş orta.
- R_4 : Hizmet iyiyse, bahşiş cömert.
- R_5 : Hizmet çok iyiyse, bahşiş çok cömert.

Bu kurallarla, FIS işletilmiştir. Şekil 2.15’te, sistem için hazırlanmış planlama fonksiyonu görülmektedir. Planlama fonksiyonları üzerindeki bulanık girdi kümeleri

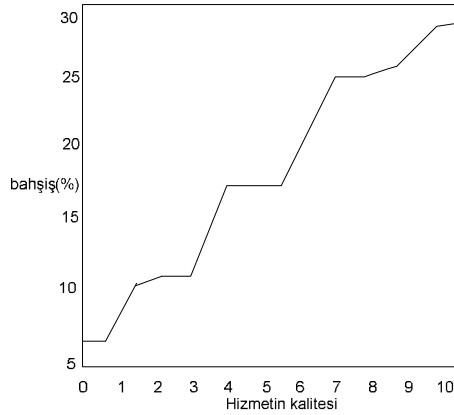
arasındaki üst üste binme etkisini görmek için, Şekil 2.13 ve 2.14’de gösterilmiş olan bulanık girdi-çıktı üyelik fonksiyonları kümesi kullanılmıştır. $y = f(x)$ planlama fonksiyonu, bulanık girdi kümelerinin sayısına ve onların şekillerine bağlıdır. Önceki örnekten görüleceği gibi, bulanık girdi kümeleri arasındaki üst üste binme arttırıldıkça, planlama fonksiyonu düzleşir.



Şekil 2.13. Girdi bulanık kümeleri



Şekil 2.14. Çıktı bulanık kümeleri



Şekil 2.15. Planlama yüzeyi

2.7. Durulaştırma

Bir bulanık çıkarım sistemi, girdi vektörünü, kesin bir çıktı değeri olarak planlar. Kesin bir çıktı elde etmek için, bir durulaştırma işlemi yürütülmelidir. Durulaştırma

(defuzzyfication) prosesinin girdisi bir bulanık kümedir (birleştirilmiş bulanık çıktı kümesi) ve çıktısı tek bir sayıdır. Literatürde, birçok durulaştırma tekniği ileri sürülmüştür. En sık kullanılan metot, sentroiddir (kitle merkezi). Diğer metodlar ise, başlıca, maksimum, maksima aritmetik ortalamaları ve yüksekliktir. Bu 4 metot aşağıda kısaca açıklanmıştır [Kulkarni, 2001].

Sentroid metodu

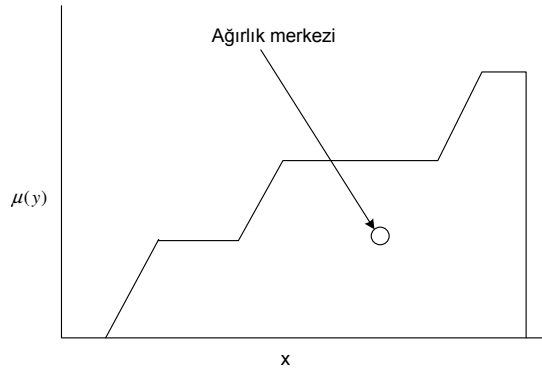
Bu metotta, durulaştırıcı, B'nin ağırlık merkezi (sentroidi) olan y_i' 'nü belirler ve bulanık mantık sistemi (Fuzzy Logic System – FLS) çıktısı olarak bu değeri kullanır. Sürekli birleştirilmiş bulanık küme için sentroid;

$$y' = \frac{\int y_i \mu_B(y) dy}{\int_s \mu_B(y) dy} \quad (2.22)$$

Burada; “s” $\mu_B(y)$ 'nin kuvvetini ifade etmektedir. Eşitlik 2.23'te görüldüğü gibi, integral yerine toplamlar içeren aşağıdaki formül, denk değişkenler kullanılarak oluşturulmuştur. Bu formül daha yaygın olarak kullanılmaktadır.

$$y' = \frac{\sum_{i=1}^n y_i \mu_B(y_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_B(y_i)} \quad (2.23)$$

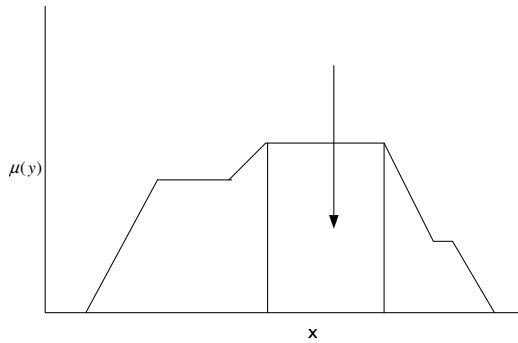
Sentroid durulaştırma metodu, bulanık çıktı bölgesinin ağırlıklı ortalamasını hesaplayarak, bulanık çözüm bölgesinin “denge” noktasını bulur. En yaygın kullanılan tekniktir. Çünkü kullanıldığında, durulaştırılmış değerler, bulanık çıktı bölgesinin civarında düzgün bir biçimde hareket etme eğilimindedir. Teknik eşsiz olmakla birlikte, hesaplama açısından yürütülmesi kolay değildir [Kulkarni, 2001]. Sentroid durulaştırma metodu Şekil 2.16'da gösterilmiştir.



Şekil 2.16. Sentroid durulaştırma metodu

Maksimum ayırıştırma metodu

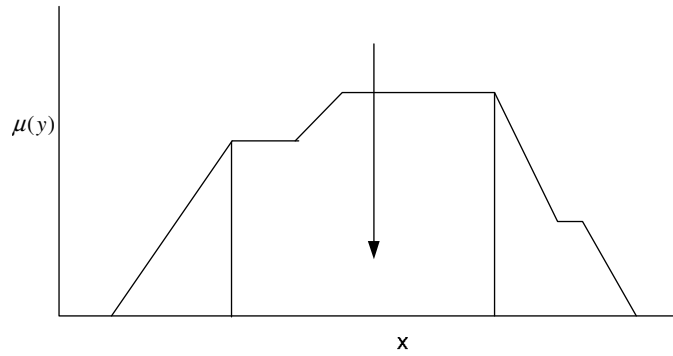
Bu metodda, durulaştırıcı, birleştirilmiş bulanık kümeyi gözden geçirir ve çıktı olarak, $\mu_B(y)$ 'nin maksimum olduğu “y” değerini seçer. Bu durum, Şekil 2.17’de gösterilmiştir. Sentroid metodundan farklı olarak, maksimum ayırıştırma metodu, problemlerin daraltılmış sınıfları için kabul edilebilir bazı özelliklere sahiptir. Bu metod için çıktı değeri, bulanık kural kümesini domine eden tek bir kurala duyarlıdır. Ayrıca, çıktı değeri, bulanık bölgenin şekli değişirken, bir çatı noktasından diğerine atlama eğilimindedir [Kulkarni, 2001].



Şekil 2.17. Maksimum ayırıştırma durulaştırma metodu

Maksima merkezi metodu

Çoklu bir bulanık bölgede, maksima merkezi tekniği en yüksek düzlüğü, daha sonra da sonraki en yüksek düzlüğü bulur. Bu düzlüklerin merkezlerinin arası (tam ortası) seçilir [Kulkarni, 2001]. Bu metot, Şekil 2.18’de gösterilmiştir.



Şekil 2.18. Maksimumların ortalaması ile durulaştırma

Yükseklik durulaştırması metodu

Bu metotta, durulaştırıcı y_1' 'de $\mu_{B_i}(y)$ 'yi öncelikle hesaplar ve daha sonra B_i bulanık kümelerinin ağırlık merkezini gösteren FLS çıktısını hesaplar. y_h çıktısı bu durumda aşağıdaki gibidir;

$$y_h = \frac{\sum_{i=1}^m y_i' \mu_{B_i}(y_i)}{\sum_{i=1}^m \mu_{B_i}(y_i)} \quad (2.24)$$

Bu formülde, “m”, sonuç çıkarma işleminden sonra elde edilen bulanık çıktı kümelerinin sayısını, y_i' “i” bulanık bölgesinin ağırlık merkezini ifade etmektedir. bu tekniğin kullanımı oldukça kolaydır, çünkü; çok kullanılan üyelik fonksiyonlarının ağırlık merkezleri bilinmektedir [Kulkarni, 2001].

Anlatılmış olan bulanık çıkarım prosesi, Mamdani'nin bulanık çıkarım metodu olarak bilinir. Sugeno, 1977'de Mamdani'nin metoduna benzer bir bulanık çıkarım metodu öne sürmüştür. Sugeno'nun metodunda, ilk iki kısım; girdilerin bulanık üyelik fonksiyonlarına dönüştürülmesi ve bulanıklık operatörlerinin uygulanması, Mamdani'nin metodu ile aynıdır. İkisi arasındaki temel fark, çıktı üyelik fonksiyonlarının değerlendirilmesindedir. Sugeno'nun metodunda, çıktı üyelik fonksiyonu sabit veya lineer bir fonksiyondur. Sugeno metodunun sıfır-sıra bulanık kuralı: eğer x A ise ve y B ise, o zaman $C=K$ 'dır. Burada, A ve B öncüldeki bulanık kümelerdir ve K bir sabittir. Birinci sıra Sugeno modeli; x A ve y B ise, o zaman $c=px+qy+r$ biçiminde kurallara sahiptir. Burada A ve B öncüldeki bulanık kümeler, p, q ve r de sabitlerdir [Kulkarni, 2001].

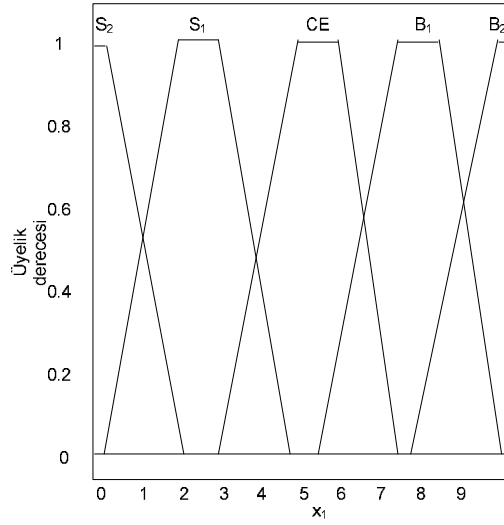
2.8. Örnek Data Noktalarından Kuralların Çıkarılması

Önceki kısımda, bir FIS tasarlamak için, bulanıklık kurallarını içeren bir kural temeline ihtiyaç duyulduğu belirtilmiştir. Genellikle, bu kurallar, uzmanların bilgilerinden elde edilirler. Bununla birlikte, çoğu durumda, kurallar bilinmeyebilir. Fakat, örnek data noktalarına veya girdi/çıktı uzaylarındaki örneklerle sahip olunabilir. Böyle durumlarda, planlama yüzeyini tanımlayan bulanık kuralları oluşturmak mümkündür. Oluşturulan bu kurallar, arzu edilen planlamayı yürütecek bir FIS tasarımında kullanılabilir. Wang ve Medel 1991'de, örnek data noktalarından bulanık kuralları çıkarmak için sistematik bir yöntem ortaya atmıştır. Yöntem 5 adımdan oluşmaktadır. Aynı zamanda, arzu edilen doğruluk derecesinde, planlama yüzeyinin herhangi bir reel sürekli fonksiyona yaklaşabileceğini de göstermişlerdir. Bu yöntemde, iki çeşit bilgiyi toplamak mümkündür: sayısal ve linguistik.

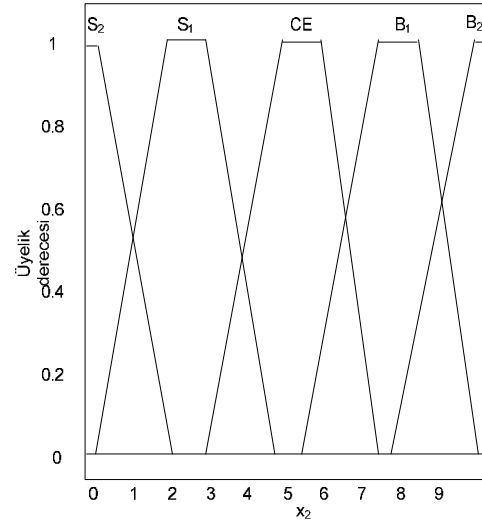
$y = f(x_1, x_2)$ biçiminde bir fonksiyon düşünülün. Aşağıdaki adımlar izlenerek, iki girdi ve bir çıktı ile bir FIS tasarlanabilir [Kulkarni, 2001].

Adım 1: Girdi/çıktı uzayı bulanık bölgelere ayrılır. Her alan aralığı $2N+1$ bölgeye ayrılır. Bölgeler;

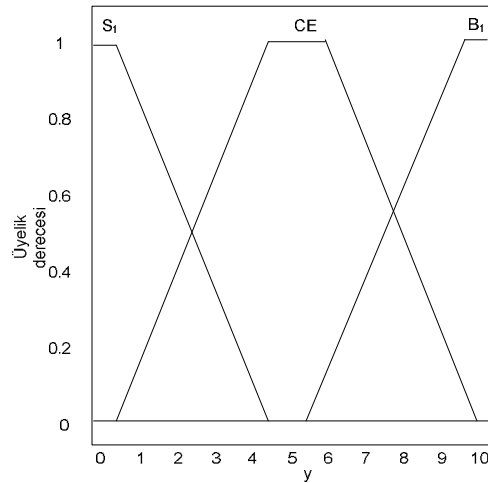
S_N (smallN),....., S_1 (small1), CE (central), B_1 (big1),....., B_N (bigN) olarak gösterilir. Her değişken için bölge sayısı farklı olabilir. Her bölgeye bir bulanık üyelik fonksiyonu atanır. x_1 , x_2 ve y için bulanık üyelik fonksiyonları Şekil 2.19-21’de verilmiştir.



Şekil 2.19. Bulanık üyelik fonksiyonu-x1



Şekil 2.20. Bulanık üyelik fonksiyonu-x2



Şekil 2.21. Bulanık üyelik fonksiyonu-y

Adım 2: Verilen data noktalarından bulanık kurallar oluşturulur. Öncelikle, her üyelik fonksiyonu için $x_1(i)$, $x_2(i)$ ve $y(i)$ data noktalarının dereceleri belirlenir ve

bölgeye maksimum üyelik dereceli nokta atanır. Daha sonra, verilen data noktasından bir kural elde edilir. Kural, aşağıdaki gibi olabilir;

R_i : Eğer x_1 B_1 ve x_2 C ise, o zaman y B_1 'dir.

Adım 3: Her kurala bir derece atanır. Her biri bir kural oluşturan çok sayıda veri noktası vardır. Bu nedenle, bazı kurallar çatışabilir. Bir kuralın derecesi şu biçimde belirlenir; R_i kuralı için (yani; eğer x_1 A ve x_2 B ise, o zaman y C 'dir) kuralın derecesi;

$$D(R_i) = \mu_A(x_1)\mu_B(x_2)\mu_C(y) \quad (2.25)$$

Burada; $\mu_A(x_1)$, $\mu_B(x_2)$ ve $\mu_C(y)$, A , B ve C bulanık kümelerindeki üyelik değerlerini göstermektedir. Pratikte, veri noktaları hakkında, bazı ön bilgilere sahip olunabilir. Bu nedenle, her veri noktasına, kuraldaki uzman görüşünü ifade eden bir derece atanır. Kuralın derecesi bu durumda;

$$D(R_i) = \mu_A(x_1)\mu_B(x_2)\mu_C(y)\mu_i \quad (2.26)$$

Adım 4: Şekil 2.22'de görüldüğü gibi, bir Bulanık Çağrışımlı Bellek (Fuzzy Associative Memory – FAM) oluşturulur. FAM hücreleri, atama yolu ile, bulanık kurallarla doldurulmalıdır. Herhangi bir hücrede birden fazla kural varsa, maksimum dereceye sahip olan kural kullanılır. Veya (OR) operatörüne sahip bir kural varsa, o satır veya sütundaki tüm hücreleri doldurur.

	B ₂					
	B ₁					
x ₂	CE					
	S ₁					
	S ₂					
		S ₁	S ₂	CE	B ₁	B ₂
		x ₁				

Şekil 2.22. Bulanık çağrışımlı bellek tablosu

Adım 5: FAM'a dayalı bir planlama belirlenir. Verilen (x_1, x_2) girdileri için, y çıktısını belirlemek için, şu durulaştırma işlemi takip edilir; çıktı üyelik bölgesi o_1 ;

$$\mu_{io} = \mu_{1i}(x_1)\mu_{2i}(x_2) \quad (2.27)$$

ile verilmiştir. Sentroid durulaştırma metodu kesin y çıktısını elde etmek için kullanılabilir.

Bu beş adım, bir blok halinde düşünülebilir. Bu bloğun girdisi, örnekler ve uzman kuralları, çıktısı ise girdilerden çıktı uzayının tasarlanmasıdır. Weng ve Mendel 1991'de bu beş adımlı prosesi düzensiz zaman serileri tahmin probleminde kullanmışlardır [Kulkarni, 2001].

2.9. Temel Bulanık Mantık Fonksiyonları

Daha önce de belirtildiği gibi, FIS, kesin bir girdi vektöründen skaler bir y çıktısı üreten, lineer olmayan bir sistemdir. Bu çıktı üretme, $y = f(x)$ olarak gösterilebilir. Kim ve Mendel 1995'te, bir FIS için sonuç fonksiyonunu tanımlayan matematiksel bir formül önermişlerdir [Kulkarni, 2001]. Bu fonksiyon için açılımları;

$$y = f(x) = \frac{\sum_{\ell=1}^M y_{\ell} \prod_{i=1}^p \mu_{\ell i}(x_i)}{\sum_{\ell=1}^M \prod_{i=1}^p \mu_{\ell i}(x_i)} \quad (2.28)$$

Burada; M kuralların sayısını, y_{ℓ} R_{ℓ} kuralı ile birleşik bulanık çıktı kümesinin ağırlık merkezini, $p \times x$ vektörünün boyutunu ve $\mu_{\ell i}(x)$ de girdi üyelik fonksiyonlarını göstermektedir. Bu açılım sadece singleton bulanıklaştırma fonksiyonları, çarpma çıkarımı, maksimum-çarpma bileşimi ve yükseklik durulaştırması metodu [Mendel, 1995] seçildiğinde geçerlidir. Eş. 2.28 aşağıdaki biçimde yeniden yazılabilir.

$$y = f(x) = \sum_{\ell=1}^M y_{\ell} \phi_{\ell}(x) \quad (2.29)$$

Burada; $\phi_{\ell}(x)$ temel bulanık fonksiyonlar olarak (FBFs) adlandırılır ve;

$$\phi_{\ell}(x) = \frac{\prod_{i=1}^p \mu_{\ell i}(x_i)}{\sum_{\ell=1}^m \prod_{i=1}^p \mu_{\ell i}(x_i)} \quad (2.30)$$

biçimindedir [Kulkarni, 2001].

Eş. 2.30 singleton bulanıklaştırma için geçerlidir. Eş. 2.28'deki gösterim “temel bulanık fonksiyon açılımı” olarak tanımlanmaktadır. Bulanık fonksiyon ve diğer temel fonksiyonlar (trigonometrik fonksiyonlar gibi) arasındaki ilişkiler geniş bir biçimde Kim ve Mendel tarafından çalışılmıştır. FBF açılımının, her biri bir FBF üreten M kuralın toplamı olduğu anlaşılmaktadır. FBF açılımındaki kurallar, sayısal verilerden oluştuğu kadar, uzman bilgilerinden de elde edilebilir. Bu nedenle, aşağıdaki biçimde yeniden düzenlenebilir;

$$y = f(x) = f_N(x) + f_L(x) \quad (2.31)$$

Eş. 3.31 şu biçimde yeniden yazılabilir;

$$y = f(x) = \sum_{i=1}^{M_N} y'_{Ni} \phi_{Ni}(x) + \sum_{k=1}^{M_L} y'_k \phi_{L_k}(x) \quad (2.32)$$

Burada, $M = M_N + M_L$ 'dir ve M_N FBF'ları sayısal veri ile birleştirmiştir. M_L ise bulanık temel fonksiyonları linguistik bilgilerle birleştirmiştir. Bu FBFs;

$$\phi_{N_i}(x) = \frac{\prod_{s=1}^p \mu'_s(x_s)}{\sum_{j=1}^{M_N} \prod_{s=1}^p \mu'_s(x_s)} \quad (2.33)$$

$$\phi_{L_k}(x) = \frac{\prod_{s=1}^p \mu'_s(x_s)}{\sum_{j=1}^{M_L} \prod_{s=1}^p \mu'_s(x_s)} \quad (2.34)$$

Eş. 2.33 ve 2.34'den, her FBF'nin hem sayısal hem de linguistik bilgilerle normalize edildiği görülmektedir [Kulkarni, 2001].

FBF'nin yeniden tasarlanması $M = M_N + M_L$ iken M 'ye bağlı olduğundan, FLS ile birleştirilmiş bir planlama fonksiyonu, FBF'lerin bir toplamı olarak açıklanabilir. Diğer klasik temel fonksiyonlardan farklı olarak, FBFs ortogonal değildir. Bununla birlikte, önemli ve tektirler. Çünkü bu fonksiyonlar hem sayısal hem de linguistik bilgiyi barındıran tek temel fonksiyondurlar [Kulkarni, 2001].

2.10. Bir Bulanık Çıkarım Sisteminin Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi

FIS'lar, girdi uzayından çıktı uzayına vektörleri planlar. Sinir ağları, matematiksel fonksiyonlar ve geleneksel kontrol sistemleri gibi bazı diğer metodlar da benzer bir planlama yapabilirler. Verilen herhangi bir problem için, eğer daha basit bir çözüm mümkünse, öncelikle o çözüm denenmelidir. Bir FLS yerine alternatif metodlar kullanılabilir. Bununla birlikte, FIS'lar esneklik, lineer olmayan bir fonksiyonun istenen doğruluk derecesinde modellenebilmesi yeteneği, doğal bir dil ile belirtilebilecek kurallara dayanması, uzman bilgilerinden faydalanılarak oluşturulması ve kesin olmayan veriye toleransı gibi birçok avantaja sahiptir. Bulanık mantık teknikleri, sinir ağları veya genetik algoritma gibi diğer teknikler için tamamlayıcı olarak kullanılabilir. Bir FIS tasarlamak için öncelikle girdilere, çıktılara, her birinin alanlarına ve bulanık çıkarım kurallarına karar verilmelidir. Planlama kuralları sayısal veriler veya uzman bilgilerinden elde edilebilir. Ayrıca, girdi ve çıktı üyelik fonksiyonlarına, bu fonksiyonlar arasındaki birbirini örtme durumlarına, sonuç çıkarım veya birleştirme metodlarına ve durulaştırma metoduna da karar verilmelidir. Bu parametrelerin seçilmesiyle, farklı FIS çeşitleri tasarlanabilir [Kulkarni, 2001].

Bir FIS'ı tamamlamak için herhangi bir metot, algoritma ve programlama ortamı seçilebilir. Bugün, birçok yazılım ve donanım aracı, bulanık mantık sistemlerini tasarlamak ve çalıştırmak için kullanılmaktadır. Birçok yazılım aracı grafik arayüz desteği ile, FLS'in kolaylıkla tasarlanması imkanı vermektedir. Bunlardan biri "MATLAB fuzzy logic toolbox" yazılım paketidir. MATLAB bir FIS inşa etmek, düzenlemek ve gözlemlemek için 5 ana grafiksel kullanıcı arayüzü (Graphical User Interface - GUI) sağlamaktadır.

2.11. Bulanık Mantığın Uygulama Alanları

Bulanık mantığın uygulama alanları çok geniştir. Sağladığı en büyük fayda ise "insana özgü tecrübe ile öğrenme" olayının kolayca modellenebilmesi ve belirsiz

kavramların bile matematiksel olarak ifade edilebilmesine olanak tanınmasıdır. Bu nedenle lineer olmayan sistemlere yaklaşım yapabilmek için özellikle uygundur.

Günümüzde, bulanık uzman sistemler, bulanık mantığın en sıklıkla kullanıldığı alandır. Bu sistemler çok geniş alanlarda kullanılırlar. Bu alanlardan bazıları:

- Lineer ve lineer olmayan kontrol
- Örnek kabulü
- Finansal sistemler
- Yöneylem araştırmaları
- Veri analizleri

biçimindedir.

Bulanık mantık kullanan sistemlerle metroların işleyişi kontrol edilmekte, televizyonların alıcıları ayarlanmakta, kameralar görüntüye odaklanmakta, klimalar, çamaşır makineleri, elektrikli süpürgeler ayarlanmakta, buzdolaplarının buzlanması engellenmekte, asansörler ve trafik lambaları programlanmakta, otomobillerin motorları, süspansiyonları, emniyet fren sistemleri kontrol edilmekte, füzeler, çimento karıştırıcılar kontrol edilmekte, robot kolları yönlendirilmekte, karakterler, nesneler tanınmakta, hatta çiçek düzenlemesi yapılmaktadır.

Aşağıda bulanık mantık prensibi ile geliştirilmiş olan bazı ürünler ve işlevleri sıralanmıştır;

- *Araba motoru (Nissan)* : Benzin pompası, oksijen miktarı, su sıcaklığı, devir sayısı, benzin miktarı, krank açısı, tekleme ve manifold basıncına göre benzin enjeksiyonunu ve patlamayı kontrol etmek.
- *Asansör Denetimi (Fujitec)* : Taşınan insan sayısına göre bekleme süresini azaltmak.
- *Avuç İçi Bilgisayar (Sony)* : El yazısını tanımak.

- *Bulaşık Makinesi (Matsushita)* : Bulaşıkların sayısı ve kirin miktarına göre yıkama ve parlatma stratejilerini belirlemek.
- *Buzdolabı (Sharp)* : Kullanıma göre soğutma ve dondurma sürelerini belirlemek. (Bir nöral ağ, kullanıcının alışkanlıklarına göre nispi kuralları tespit etmektedir).
- *Çamaşır Makinesi (Daewoo)* : Kirlilik seviyesi, çamaşır türü ve miktarı ile su seviyesine göre yıkama stratejisini belirlemek. Bazı modeller, kullanıcıların arzularına göre kuralları ayarlamak için nöral ağlar kullanmaktadır.
- *Elektrikli Süpürge (Hitachi)* : Toz miktarı ve zemin türüne göre motorun emme gücünü belirlemek.
- *Fotokopi Makinesi (Canon)* : Resim yoğunluğu, sıcaklık ve nem nisbetine göre dram voltajını ayarlamak.
- *Fotoğraf Makinesi (Canon)* : Görüntünün herhangi bir yerindeki nesneyi bulup oto-fokus yapmak.
- *Hisse Senedi (Yamaichi)* : Makro ve mikro-ekonomik verilere göre Japon hisse senedi piyasasını idare etmek.
- *Kamera (Matsushita)* : Elin titremesinden kaynaklanan görüntü bozukluklarını gidermek ve oto-fokusu temin etmek
- *Klima (Hitachi)* : İstenilmeyen sıcaklık osilasyonunu önlemek ve açma-kapamada daha az enerji sarf etmek.
- *Televizyon (Goldstar)* : Her bir çerçeve için renk ve dağılımını ayarlamak ve odanın durumuna göre sesi stabilize etmek.

3. BUZLANMA

Buzlanma, aşırı soğumuş su taneciklerinin, uçağın yüzeyine çarpmasıyla buz biçimine dönüşmesi ve bu yüzeyde buz toplanmasıdır. Bu olayın tehlikesini anlamak için, aşırı soğumuş suyun temel fiziksel özellikleri bilinmelidir. Aşırı soğumuş su, atmosferde donma noktasının (0°C) altındaki sıcaklıklarda, sıvı halde bulunan sudur. Aşırı soğumuş su damlacıkları, 0°C – (-20°C) sıcaklıkları arasında, atmosferde mevcuttur. Buzlanma, sadece kış mevsiminde karşılaşılan bir sorun değildir. Sıcaklık, atmosferde yükseklikle birlikte, üssel olarak azalır. Yani, yer seviyesinde sıcaklık 35°C iken, uçakların genelde uçtukları seviyede sıcaklık (-10°C) olabilir [Holton, 1995]. Bu soğuk derecelerde su zerreciklerinin bulunabilmesinin nedeni, taneciklerin küresel biçimi ve bu taneciklerin buz kristallerine dönüşmeleri için gerekli olan bir yüzeyin bulunmamasıdır [Rogers ve Yau, 1989]. Bazı durumlarda, bu su tanecikleri uçak yüzeyi ile temas etmekte ve derhal donmaktadırlar.

Pilotların karşılaştığı en ciddi hava hadisesi buzlanmadır. Gök gürültüsü ile şimşegin aynı anda görülmesi olarak tanımlanan oraj kadar korkutucu görünmese de, gizlice zarar veren doğası nedeni ile çok daha tehlikelidir. Bir pilot, kilometrelerce uzaktan bir orajı çoğu durumda fark edebilir. Ancak buzlanmayı uzaktan fark etmek mümkün değildir. Hiç problemsiz bir biçimde uçuyorken, aniden engellenemez bir irtifa kaybı ile karşılaşılabilir. Kanatlardaki buz birikmesi, kanatların yükselmeyi sağlayan özelliklerini kaybetmesine neden olur.

Atmosferdeki su zerrecikleri, bulut veya sis biçiminde, görülebilir bir halde olabilirler. Buzlanma, bulutun olmadığı durumlarda görülmez. Ancak, buzlanma her bulutla ilişkili de değildir. Çünkü; bazı bulutlar daha ılık su zerrecikleri veya buz kristalleri içerebilirler. Kümülünimbus (CB) bulutu, daima buzlanmaya neden olur. Bu bulut aynı zamanda oraj hadisesine de neden olmaktadır. Stratüs ve kümülüform tipi bulutlar da buzlanmaya neden olabilirler. Özellikle, dikey hızın en büyük, sıcaklığın en az ve sıvı su içeriğinin en fazla olduğu, bulutun üst yarısında buzlanma etkilidir [Hess 1979].

3.1. Buzlanma Potansiyeli Tahmini ile İlgili Yapılan Çalışmalar

Buzlanma potansiyeli tahmini ile ilgili ilk çalışma, Schultz ve Politovich tarafından 1992’de yapılmıştır. Bu çalışmalarında, model sıcaklığı “T”, nispi nem “RH”, pilot raporları (PIREPs) ve Nested Grid Model çıktısının kombinasyonlarını kullanarak buzlanma ile ilgili değerlendirmeler yapmışlardır. T ve RH eşik değerlerine dayalı, basit, iki aşamalı bir yöntemle buzlanma bilgisi üretmişlerdir.

Forbes ve arkadaşları 1993’te, Thompson ve arkadaşları 1997’de, Schultz ve Politovich’in yaklaşımını, T, RH ve dikey termodinamik yapının kombinasyonlarına dayanan dört meteorolojik durum ile kategorize ederek geliştirmişlerdir [Bernstein ve ark., 2005].

Çok daha kesif bir buzlanmayı tespit için, Carriere ve arkadaşları 1997’de, yukarı yönlü dikey hareket ile uygun T ve RH değerlerini bir araya getirmişlerdir. Tamamen model temelli bu algoritmalara büyük oranda PIREPs dahil edilmesine karşın, buzlanmayı olduğundan çok daha fazla oranda tahmin etme eğilimindedirler. Bulutsuz alanlarda bile buzlanma tahmini yapıldığı görülmektedir.

Bir diğer tamamen modele dayalı buzlanma tahmin çalışması ise, Reisner ve arkadaşları; Tremblay ve Glazer; Thompson ve arkadaşları tarafından, sırasıyla 1998, 2000 ve 2004 yıllarında aşırı soğumuş sıvı (SLW) su tahmini için mikro fiziksel sınıflandırma kullanılarak yapılmıştır [Bernstein ve ark., 2005].

Tamamen gözleme dayalı buzlanma tespit teknikleri de geliştirilmiştir. Örneğin; Lee ve arkadaşları 1997’de, Ellrod 1996’da ve Smith ve arkadaşları 2002’de, aşırı soğumuş sıvı su içermesi muhtemel bulut tavanlarını tespit etmek için, bulutlu ve bulutsuz alanları birbirinden ayırmak için multispektral uydu datasını kullanmışlardır. Bu teknikler, sadece tek tabaka bulut olması durumunda iyi çalışmaktadırlar. Radar temelli teknikler, su damlacıkları ile buz kristalleri arasındaki farkı ortaya çıkaran polarizasyon sinyallerini kullanırlar [Bernstein ve ark., 2005].

3.2. Buzlanmanın Etkileri

Buzlanma, ileri doğru hareketi ve yükselmeyi azaltır. İleri doğru hareketin azalması, motorun, ortalama hızı sürdürmek için normalden daha fazla çalışmasına neden olur. Kanattaki buzlanma, toplanan buz ile kanat şeklinin bozulması nedeni ile yükselmeyi azaltır. Sabit kanatlı uçaklar için, yükselme prensibi, havanın kanadın üzerinde, altına oranla daha hızlı hareket etmesidir. Hızlı hareket eden hava, yavaş hava akımına göre daha düşük basınçlıdır ve bu nedenle kanat yukarı doğru itilir. Buz, kanadın şeklini değiştirdiğinde, kanat çevresindeki hava akımı da değişir ve bu, yükseklik kaybına neden olabilir. Kalın bir buz tabakası, uçuşu tamamen etkileyebilir. Çünkü; uçak üzerinde sert bir yüzey oluşturur ve uçak yüzeyindeki düzensiz anafor nedeniyle yükseklik kaybı yaşanır. Buz birikmesi aynı zamanda uçak üzerinde istenmeyen bir ağırlık artışına neden olur. Ön camlarda görüşü engelleyen bir buz birikmesi olabilir ve bu görüş kaybı, inişi tamamen imkansız hale getirebilir [Holton, 1995].

Buzlanma, havacılık için önemli bir tehdittir, irtifa kaybına, hızın azalmasına ve bazı durumlarda kontrol kaybına sebebiyet verir. 1994 yılında, Indiana, Roselawn yakınlarında bir ATR-72 ve 1997 yılında Michigan, Detroit yakınlarında bir EMB-120 buzlanma sonucunda düşmüş, bu kazalardan ilkinde 68, diğerinde 29 kişi hayatını kaybetmiştir. 2001 yılında karşılaşılan başka bir olayda ise, bir uçak kontrolün kaybedilmesi neticesinde 8000 feet (2440m) düşmüş, ancak daha sonra tekrar uçak kontrol altına alınabilmiştir [Bernstein ve ark., 2005].

3.3. Buzlanmanın Sınıflandırılması

Genel görüş, buzlanma şiddetinin en çok aşırı soğumuş sıvı su içeriği, sıcaklık ve tanecik büyüklüğü ile ilgili olduğudur. Buzlanma, şiddetine göre 4 kategoriye ayrılmıştır. Bunlar:

İz (Trace) : Buz, görülebilir haldedir. Buzun birikme oranı, süblimleşme oranından biraz fazladır. Buzlanma, koruyucu veya buz çözücü ekipman kullanılsa bile, bir saatlik süreyi geçmediği durumlarda, tehlikeli bir durum arz etmez.

Hafif (Light) : Birikme, eğer uçuş bu ortamda uzun sürerse (bir saatten fazla) tehlike yaratabilir. Buzdan koruyucu, buz çözücü (antiicing/deicing) ekipmanın arada bir kullanılması buz birikmesini engeller. Bu ekipmanlar kullanıldığında bu tip buzlanma bir problem teşkil etmez.

Orta (Moderate) : Birikme oranı, kısa süreli temasta bile potansiyel olarak tehlike arz eder ve buzdan koruyucu veya buz çözücü ekipman kullanımı ya da yön değiştirme gereklidir.

Şiddetli (Severe) : Birikme oranı buzdan koruyucu veya buz çözücü ekipmanın gideremeyeceği miktardadır ve derhal yön değiştirmek gereklidir [Politovich, 2004].

Ayrıca, yapısına göre buzlanma çeşitleri 3'e ayrılır:

Kırağı (Rime) : Pürüzlü, süte benzeyen, saydam olmayan buzdur. Küçük, hızlı hareket eden, aşırı soğumuş su zerreciklerinin uçak yüzeyine çarpması ve aniden donmalarıyla oluşur. Yüzeye yayılmazlar, ancak çarptıkları noktada donarlar. İçindeki hava boşluğu nedeni ile hafiftirler. Ancak yüzeyde sert ve düzensiz bir biçimde bulunmaları nedeni ile hava akımında bozulmaya ve kontrol güçlüğüne neden olurlar. Bu tip buzlanma, çisenti alanlarında ve stratiform tipi bulutların içinde görülür.

Şeffaf (Clear) : Parlak ve düz, açık veya yarı saydam buzdur. Büyük aşırı soğumuş su zerreciklerinin nispeten daha yavaş donmalarıyla oluşur. İyi ve kötü yönleri mevcuttur. İyi tarafı; uçak yüzeyinde düzgün bir yayılma gösterdiğinden, hava akımında önemli bir bozulmaya neden olmamasıdır. Kötü tarafı ise sert ve ağır

olmasıdır. Buzlanma tiplerinden en ağır ve çözülmesi en zor olanıdır. Bu tip buzlanma yağmur alanlarında ve kümülüform bulutların içinde görülür.

Karışık (Mixed) : Kırağı ve şeffaf buzlanmanın bir karışımıdır. Farklı boyutlardaki taneciklerin veya kar, buz paleti gibi taneciklerin yüzeye çarpmalarıyla oluşur. En önemli buzlanma tipidir. Şeffaf buzlanmanın ağırlığına, kırağı tipi buzlanmanın düzensiz birikme özelliğine sahiptir [Holton, 1995].

En şiddetli buzlanma tipi şeffaf buzlanmadır. Bu buzlanma tipi çok çabuk oluşur ve büyük oranda ağırlık artışına neden olur. Bu tip buz artışının nedeni donan yağmurdur. Donan yağmur, sıvı su zerreciklerinin, soğuk bir tabaka (0°C 'nin altında) içinden düşerken, katı bir yüzeye temas ederek donmasıyla oluşur. Donan yağışı tahmin edebilmek için, aşağı seviye sıcaklıklarını ve bu seviyeden geçecek olan yağış tipini öngörmek gerekir [Holton, 1995].

3.4. Buzlanma Potansiyeli Tahmini

Buzlanma potansiyeli tahmini için kullanılan en iyi yöntemlerden birisi gerçek yüksek seviye atmosfer gözlemleridir. Bu gözlemlerin sonucunda atmosferin dikey sondaj değerleri kullanılarak “SkewT LogP” adı verilen termodinamik diyagramlar oluşturulur. Bu diyagram, sıcaklık enverziyonu¹ nedeniyle, sıvı suyun dondurucu bir tabakadan geçtiği tehlikeli alanları belirlemek için kullanılabilir.

SkewT LogP termodinamik bir diyagramdır. Atmosferdeki meteorolojik olaylar termodinamik kanunları ile birlikte incelenerek pratik bir model olarak bu diyagramlar oluşturulur. Bu diyagram vasıtasıyla, 25 hPa seviyesine kadar olan, atmosferin dikey kesiti içerisindeki meteorolojik parametreler analiz edilirler. SkewT LogP diyagramları kararlılık - kararsızlık, bulut tahmini, oraj tahmini, buzlanma, türbülans ve hamle tahminleri gibi analiz konularında sıklıkla kullanılırlar .

¹ Enverziyon, atmosfer içerisinde yukarı seviyelere doğru çıkıldıkça hava sıcaklığının azalması yerine artması olarak tanımlanır.

Bulut taneciklerinin neden olduğu buzlanma, aynı yolla, bulut tahmini ile tahmin edilebilir. Tahmin modelleri ve sondajlar bulut ve yağış alanlarını belirlemek için kullanılabilirler.

Buzlanma potansiyeli tahmini yöntemlerinden bir diğeri, sayısal hava tahmin modellerinin çıktılarının kullanılmasıdır. Bu model çıktıları, tahmin algoritmalarına girdi olarak verilerek sonuçta bir tahmin değeri elde edilir. Aşağıda, sayısal model çıktılarını girdi olarak alıp tahmin çıktısı üreten algoritmaların kullandığı temel adımlar verilmiştir [Bernstein ve ark., 2005].

Adım 1 (Girdi verilerinin ortak bir grid üzerine yerleştirilmesi): Birinci adımda, sayısal tahmin modelinin çıktılarından gerekli olanları belirlenerek girdi olarak kullanılmak üzere planlanır. Model çıktısı olarak sıcaklık, nispi nem, dikey hız ve belirlenen dikey ve yatay grid alanı için geopotansiyel yükseklik kullanılır.

Adım 2 (Bulut ve Yağış için 3 boyutlu konum bilgilerinin bulunması): Girdi verileri bir grid biçiminde tasarlandıktan sonra, birbirleriyle ilişkilendirilmiş verilere göre her grid alanında bulut olup olmadığı belirlenir. Eğer uygun bulutluluk bulunursa, bulut tabanı ve bulut tavanı yükseklikleri ve yağış olma durumu ve yağışın çeşidi tayin edilir.

Adım 3 (Buzlanma ile ilgili alanlara bulanık mantık üyelik fonksiyonlarının uygulanması): Algoritmanın en önemli elemanlarından biri; sıcaklık (T), nispi nem (RH), bulut tepe sıcaklığı (CTT) ve dikey hız (VV) için ilgi haritalarının oluşturulması için, bulanık üyelik fonksiyonlarının kullanılmasıdır. Bu parametrelere daha detaylı olarak bakılacak olursa;

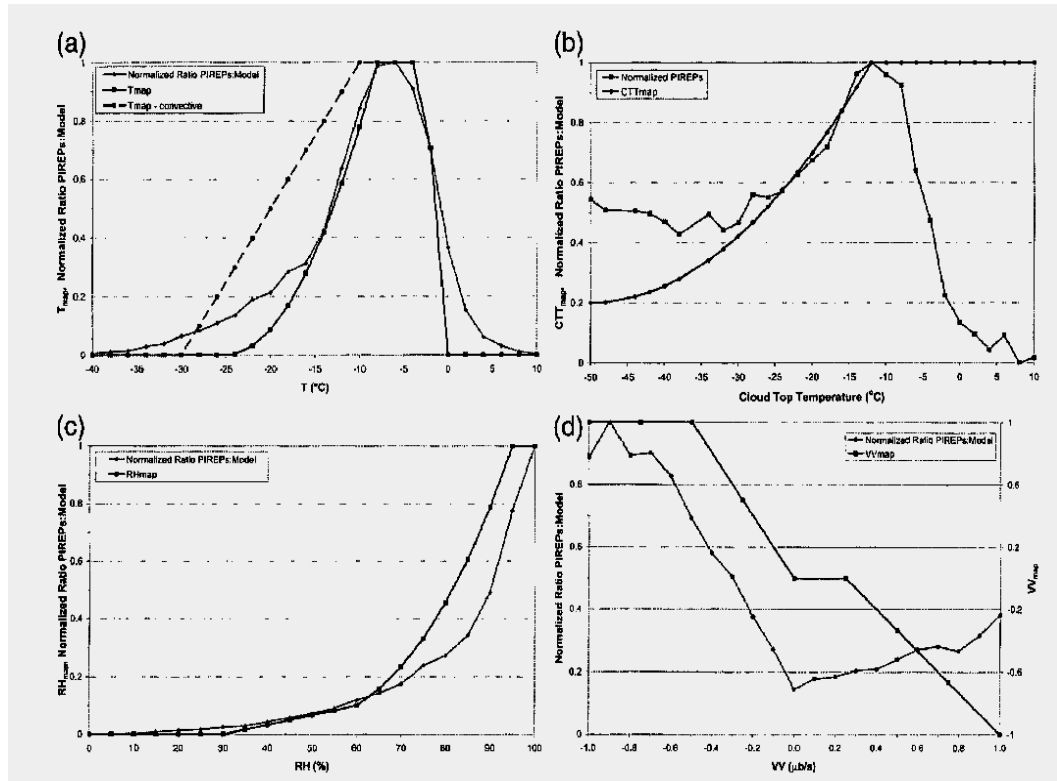
Sıcaklık: Hem uçuş gözlem araştırmaları, hem de temel bulut fiziği yaklaşımı, belli sıcaklıklarda bulutların ve yağışın SLW içermelerinin çok daha muhtemel olduğu görüşünü desteklemektedir. SLW en fazla donma sıcaklığına yakın sıcaklıklarda görülür. Sıcaklık azaldıkça miktarı azalır ve -25°C'nin altındaki sıcaklıklarda normal

şartlarda bulunmazlar [Korolev ve ark., 2003]. Buz kristalleri ise, tersine, donma derecesine yakın sıcaklıklarda oluşmazlar, $(-10)^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklarda oluşurlar ve bu sıcaklık düştükçe oluşma oranları artar [Rogers ve Yau, 1989; Rauber ve ark., 2000; Cober ve ark., 2001; Korolev ve ark., 2003]. Buzlanma en fazla $(-15) - (-3)^{\circ}\text{C}$ aralığında meydana gelmektedir [Sand ve ark., 1984; Schultz ve Politovich, 1992; Cober ve ark., 1995]. Bulut fiziği prensipleri, gözlemler ve hava tahmincisi deneyimlerine dayanarak, sıcaklık ilgi grafiği (T_{map}) uçağın yüzeyinde donacak SLW'nin ihtimalini belirlemek üzere tasarlanmıştır. Burada, T_{map} SLW'nin en fazla muhtemel olduğu sıcaklıklar için maksimize edilmiştir [Bernstein ve ark., 2005]. Sıcaklık ilgi grafiği Şekil 3.1a'da verilmiştir.

Bulut Tepe Sıcaklığı: Bulutun içerdiği sıvı su miktarının tahmin edilmesi için bulut tepe sıcaklığı ilgi grafiği (CTT_{map}) kullanılır. $CTT > -12^{\circ}\text{C}$ için değerler maksimumdur, çünkü; bu tip bulutlarda sıvı su daha baskındır. CTT_{map} değeri sıcaklık düştükçe düşer, ancak asla 0 değerine ulaşmaz. Bu değer, sıcaklık -8°C 'yi aştığında, keskin bir düşüş gösterir, çünkü; böyle ılık tepeli bulutlarda buzlanmaya uygun sıcaklıklara sahip derin tabakalar bulunması çok zordur. CTT_{map} $CTT > -8^{\circ}\text{C}$ için azalmaz. -12°C ile -30°C arasında bulut tepe sıcaklığı düşerken, CTT_{map} değeri de yavaş yavaş düşer ve sonunda düz bir biçimde devam eder [Bernstein ve ark., 2005]. Bulut tepe sıcaklığı ilgi grafiği Şekil 3.1b'de verilmiştir.

Nispi Nem: Model çıktısına göre, gözlemlenen üst ve alt seviyeler arasındaki bulut oluşum olasılığını belirlemek için nispi nem grafiği hazırlanır. RH oranı yükseldikçe bulut oluşum olasılığı da artar [Bernstein ve ark., 2005]. Nispi nem ilgi grafiği Şekil 3.1c'de verilmiştir.

Dikey Hız: Eğer bir bulut varsa, yukarı yönlü dikey hız, buzun baskın olduğu ortamlarda bile, sıvı su oluşumuna yardımcı olur. Aşağı yönlü hareket sıvı suyun azaldığını gösterir [Bernstein ve ark., 2005]. Dikey hız ilgi grafiği Şekil 3.1d'de verilmiştir.



Şekil 3.1. Standard ve konvektif ilgi grafiği ve normalize edilmiş PIREP oranı (belli bir PIREP frekansı, aynı değerin modelde bulunma frekansına bölünerek 0-1 aralığına normalize edilmiştir), (a)Sıcaklık, (b)Bulut tepe sıcaklığı, (c) Nispi nem, (d) Dikey hız [Bernstein ve ark., 2005]

Adım 4 ve 5 (Fiziksel buzlanma senaryosunun belirlenmesi ve başlangıç buzlanma ve SLD potansiyellerinin hesaplanması): Bu adımlarda üyelik dereceleri belirlenmiş olan girdilerin birbirleri ile ilişkileri, oluşturulmuş kurallara göre incelenerek başlangıç buzlanma ve aşırı soğumuş sıvı tanecik potansiyelleri hesaplanır.

Adım 6 (Artırma faktörlerini kullanarak sonuç buzlanma potansiyelinin hesaplanması): Buzlanma beklenen alanlar için, dikey hız girdisi kullanılarak, buzlanma olasılığı artırılır veya azaltılır. Buzlanma beklenmeyen alanlara artırma faktörü uygulanmaz.

Pilot raporları (PIREPs) en etkili buzlanma tespit metotlarından biridir. PIREP, pilotlar tarafından uçuş sonrasında hazırlanan, uçuş esnasındaki meteorolojik bilgileri

içeren raporlardır. Bu raporlar tahminlerle karşılaştırılarak tahmin tutarlılıkları ölçülür [Bernstein ve ark., 2005]. Türkiye’de buzlanma potansiyeli bilgileri için SkewT LogP diyagramı kullanılmaktadır.

3.5. Sayısal Hava Tahmini

Atmosferin durumunu gösteren meteorolojik parametrelerin (sıcaklık, rüzgar, nem ve basınç gibi) zamana ve yere bağlı değişimlerini ifade eden denklemlerin (hareket, termodinamik, süreklilik, hidrostatik eşitlik gibi) matematik çözümleri yapılarak, gelecekteki durumunu belirleme işlemine sayısal hava tahmini denir. Atmosfer hareketleri, matematiksel denklemlerle ifade edilebilen fiziksel kanunlara uygunluk göstermektedir. Bu kanunlar aynı zamanda; sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü ile nem gibi parametrelerin değişiminin zaman içinde nasıl olacağını da kapsar. Başlangıç ve sınır koşulları temin edilerek, eğer ilgili matematiksel denklemler çözümlenebilirse, ileri bir zaman adımıında hava durumunun (sıcaklık, rüzgar hızı ve yönü, nem, vs.) nasıl olabileceği tahmin edilebilir. Hareket denklemleri 'lineer' olmayan kısmi diferansiyel denklemlerden oluşmaktadır ve bunların tam bir çözümü yoktur. Bu nedenle modelleme teknikleri yaklaşık çözümler bulmaya çalışır. Bu modellerde, ilgili denklemlerin yaklaşık formları kullanılır ve değişkenlerin gelecekteki değerleri bilgisayarlarla hesaplanır. Yüksek çözünürlükle daha iyi tahmin yapabilme olanağı yaratılır ancak bilgisayarın hafızasında ve hesaplamalarında büyük miktarlarda sayı ve ayrıntı ortaya çıkar. Bu da bilgisayar hesaplama zamanında artış ve maliyet demektir. Güçlü bilgisayarlarla yüksek çözünürlükte iyi sonuçlar elde edilebilir. Çünkü; böylesi sistemler atmosferdeki değişikliklere neden olan küçük ölçekteki bazı fiziksel olayların hesaplamasına olanak tanır. Hava tahmini modelini çalıştırmak için başlangıç koşullarının temin edilmesi gereklidir. Bunların yerine getirilmesi son derece hassas ve bilgisayar zamanı gerektiren işlemlerden oluşur. Başlangıç koşulları son 24 saat içinde alınan gözlemlerin sentezi ve küresel bir modelden temin edilen kısa vadeli tahminlerden hazırlanmaktadır. Bu sentez işlemi, gözlemlerin modelde kullanılabilecek şekilde asimilasyonudur [Mass ve Kuo, 1998].

Genel bir tanımlama yapmak gerekirse, 'sayısal hava tahmini'; hava durumunu matematik denklemlerinin bilgisayarlarla çözümü yoluyla tahmin etmek için kullanılan tekniğin adıdır. Atmosferdeki hava olaylarının ölçeği oldukça geniş bir yelpaze içinde yer almaktadır. Bunlara birkaç örnek: Tornadolar 102 m, kümülüs bulutları 103 m, cepheler 104-105 m, hortumlar (hurricanes) 105 m, sinoptik alçak basınç merkezleri (synoptic cyclones) 106 m ve planeter dalgalar 107 m ölçeğindedir. Değişik ölçeklerdeki hava hareketlerinin birbirleriyle lineer olmayan etkileşimleri, atmosferdeki akışların tahmin edilmesindeki güçlüklerin temel nedenidir. Küçük ölçekteki hareketlerin gözlemlerinde yapılan hatalar, er ya da geç büyük ölçekteki akımlara da yansımakta ve böylece tahminlerin doğruluğunu etkilemektedir. Başlangıç koşullarındaki küçük hatalar, ileriye doğru yapılan zaman entegrasyonu içinde tahminlerde büyük hatalarla karşılaşılabilceğinin bir göstergesidir. Matematik modelleme esaslarına dayanan bugünkü sayısal hava tahminleri uzun yıllardır süregelen çalışmaların sonucudur. Bu süreç içinde çok önemli mesafeler alınmıştır. Küresel gözlem sistemi kurulmuş ve operasyonel modeller günlük hava tahminlerinde kullanılır hale getirilmiştir. Günümüzde artık çeşitli vadelerde hava tahmini yapılabilmektedir. Bunlardan başlıcaları; birkaç saatlik denilen çok kısa vadeli tahminler, bir-iki günlük kısa vadeli tahminler, beş-on günlük orta vadeli tahminler ve mevsimlik tahminlerdir. Sayısal hava tahminlerinde kaydedilen bu gelişmeler, özellikle bilgisayar teknolojisindeki gelişmeler ve bunlardan yararlanılarak yüksek çözünürlükte yapılan hesaplarla atmosferin fiziğinin ve dinamiğinin daha iyi incelenmesi ve anlaşılmasıyla sağlanmıştır. İyi tahminlere temel teşkil eden diğer bir önemli öge de gözlem verisi ve kalitesidir. Meteorolojik uyduların devreye girmesi ve bu alandaki gelişmeler sayesinde, sinoptik gözlemlerin az olduğu bölgelerde (özellikle okyanus ve denizlerde) veri elde edilmeye başlanmıştır. Veri asimilasyonu yöntemlerindeki gelişmeler, modellerin ihtiyaç duyduğu kaliteli başlangıç koşullarını sağlamada yardımcı olmuş ve bunun neticesinde daha iyi hava tahminleri elde edilmeye başlanmıştır [Mass ve Kuo, 1998].

Günümüzde, oldukça karmaşık eşitlikler ve güçlü bilgisayar donanımları kullanılarak uygulanan bu tahmin yönteminin gelişme süreci 1850'lere dayanmaktadır. 1860'larda atmosfer termodinamiğinde kuru ve nem adyabatik¹ proseslerin yer almasını takiben 1904'te V. Bjerknes hava tahmininde fizik ve matematiğin temelleri üzerine çalışmalar yapmıştır. 1920'li yıllarda radiosonde gözlemlerinin yapılmaya başlamasından sonra 1933'te ilk olarak yukarı seviye ve çeşitli basınç seviyelerinin haritaları çizilmeye başlanmıştır. 1940'ların sonunda meteorolojik radarların kullanılmaya başlanması kuvvetli hava olaylarının, orajların, fırtınaların gözlenmesi açısından bir devrim olmuştur [Shuman, 1989].

İlk Sayısal Hava Tahmini denemesi 1922 yılında L.F. Richardson tarafından yapılmış ancak olumlu sonuç alınamamıştır. 1940'lı yıllarda Richardson'un öncülüğünde Princeton'daki “Institute for Advanced Study”de Charney, Fjortfort ve Von Neumann, yakın geçmişte icat edilen bilgisayar üzerinde, Richardson'un versiyonundan daha basit bir modelde 500 hPa'nın dinamiksel olarak sayısal tahminini yapmayı başarmıştır. 1960'lı yıllarda meteorolojik uyduların da hava tahmininde kullanılması ile global olarak hava gözlemi yapabilme kapasitesine ulaşılmıştır. Şu anda ise dünyanın birçok yerinde yapılan sinoptik, deniz, radiosonde, uçaklardan yapılan gözlemlerle uydu ve radar ölçümleri bu modellerde kullanılmaktadır [Shuman, 1989]. Günümüzde kullanılan modeller, temel olarak, Global Modeller ve Sınırlı Alan Modelleri olmak üzere iki gruba ayrılır [Chen ve Dudhia, 2001].

3.5.1. Global modeller

Yatay çözünürlüğün spektral (dalga sayısı ile orantılı) veya grid (iki grid noktası arasındaki mesafe ile orantılı) olarak çözümlendiği bu model türünde basit hidrostatik eşitlik kullanılmaktadır. Yani havanın ağırlığıyla düşey basınç gradyan

¹ Sistemde çevreyle herhangi bir ısı alışverişi olmadan gerçekleşen termodinamik değişikliklerdir. Atmosferde, sıcaklıkta adyabatik değişimler, atmosferik basıncın artması ve azalmasına bağlı olarak genleşme ve büzülme sonucu gerçekleşir. Atmosferde bir hava parselinin yükseltilmesi ve alçaltılması buna bir örnektir.

kuvveti arasında bir denge olduğu kabul edilmektedir. Bu model türünde düşey ivme hesaplamalarda ihmal edilir. Global atmosferik modeller ve genel sirkülasyon modelleri, global modellere örnek olarak verilebilir [Carr ve ark., 1995]. Dünyada kullanılan belli başlı global modeller ve bu modelleri geliştiren ülkeler şunlardır;

- IFS (ECMWF)
- UM (İngiltere)
- GM (Almanya)
- ARPEGE (Fransa)
- AVN, MRF, GFS (ABD)
- GEM (Kanada)
- JMA (Japonya)

3.5.2. Sınırlı alan modelleri

Bu tür modellerde, yatay çözünürlük, global modellerin tersine, dalga sayısı ile değil grid noktaları arasındaki mesafe ile orantılıdır. Yani; global modellerde dalga sayısı arttığında çözünürlük artarken sınırlı alan modellerinde grid sayısı artınca -ki bu durumda gridler arasındaki mesafe azalmaktadır- çözünürlük artmaktadır. Sınırlı alan modellerinin bazılarında hidrostatik denge kabul edilirken (Sinoptik, Meso-scale modeller) bazılarında ise hidrostatik denge eşitliği kabul edilmez (Cloud-scale, Cloud Resolving modeller). Bunlar genellikle çok yüksek çözünürlük gerektiren tahmin problemlerinde kullanılmaktadır [Carr ve ark., 1995]. Dünyada kullanılan belli başlı sınırlı alan modelleri ve bu modelleri geliştiren ülkeler;

- ALADIN (Fransa)
- HRLM (Almanya)
- Eta (Yugoslavya-ABD)
- LM (Almanya, İsveç, Yunanistan, İtalya)
- HIRLAM (İrlanda, Danimarka, İspanya, Portekiz, Hollanda)
- MM5 (ABD) Non-Hydrostatic Meso-scale Model

Hem global hem de sınırlı alan modellerinin tahminlerinde bir takım hatalar meydana gelmektedir. Bu hataları iki grupta toplayabiliriz:

Sistematik Hatalar: Modelin gerek fiziksel parametrizasyon problemlerinden, gerek yatay çözünürlüğünün az olmasından, gerekse topografya datasının gerçek topografyayı tam olarak ifade edememesinden dolayı meydana gelen ve süreklilik arz eden hatalardır. Bu tür hataların düzeltilmesi için modelin kendisine müdahale edilmesi gerekmektedir [Mass ve Kuo, 1998].

Sistematik Olmayan Hatalar: Modele giren başlangıç koşullarındaki hatalardan kaynaklanan ve devamlılık arz etmeyen hatalardır. Bu tür hataların düzeltilmesi için başlangıç datasının asimilasyon çalışmalarıyla iyileştirilmesi gerekmektedir [Mass ve Kuo, 1998].

Çalışmada, başlangıç koşullarını ECMWF IFS global modelinden alan MM5 sınırlı alan modeli tarafından üretilmiş olan 24 saatlik çıktılar kullanılmıştır.

3.5.3. MM5 sayısal hava tahmin modeli

MM5 (Meso-scale Model 5th Generation) modeli NCAR (National Center for Atmospheric Research-USA) tarafından geliştirilmiş olan ve tüm dünyada birçok meteoroloji örgütünde ve özellikle üniversitelerde kullanılan bir modeldir. Yüksek çözünürlükte kuvvetli fizik ve topografya seti ile oldukça iyi sonuçlar veren MM5 modeli çoklu iç içe geçmiş bölge yapısını desteklemesi, 10 km ve altındaki çalışma kabiliyetine (non-hydrostatic) sahip olması nedeniyle oldukça tercih edilmektedir. MM5, şu anda Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde günde 4 defa 00, 06, 12, 18 UTC'de, iki ayrı alanda iki farklı çözünürlükte eş-zamanlı olarak çalıştırılmaktadır.

MM5 model sonuçları olarak şu anda yukarı seviyeler için tüm standart ve ara basınç seviyelerinde sıcaklık, rüzgar, geopotansiyel yükseklik, nem, düşey hız, akım çizgileri, diverjans¹ ürünleri, yer seviyesi için ise ortalama deniz seviyesi basıncı, 2m sıcaklığı, 10m rüzgar, toplam yağış (istenilen aralıklarda), kar karışım oranı, yağışa geçebilir su miktarı, konvektivite, tansiyon değerleri üretilmektedir.

MM5 Modelinde kullanılan başlangıç ve sınır datası ECMWF'nin Sınır Koşulları Projesi'nden (BC-Suite) temin edilmektedir.

Bu çalışmada, algoritmaya girdi olarak, MM5 sayısal modelinin, yatayda 7 km çözünürlüklü, dikey olarak ise 1000, 925, 850, 800, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350 ve 300 hPa basınç seviyelerini içeren dikey profile ait üretmiş olduğu sıcaklık, nem ve dikey hız çıktıları ile, MM5 sayısal modelinin çıktılarından hesaplanmış olan bulut tepe sıcaklık değeri kullanılmıştır. Sayısal model 48 saate kadar tahmin datası üretebilmekle birlikte, bu çalışmada 24 saatlik data kullanılmıştır. Çıktıların gösteriminde zaman periyodu T+0, T+3 gibi ifadelerle gösterilmiştir. Bu ifadenin anlamı, örneğin “T+3” için; modelin çalıştırıldığı saatten 3 saat sonrasıdır. Girdiler, yukarıda sıralanmış olan 14 adet seviye için ayrı ayrı, 258 sütun ve her saat için 136 satırdan oluşan ayrı metin dosyaları halinde, buzlanma olasılığı tahmin programı tarafından kullanılmaktadır. Aynı biçimde, gerekli proseslerden geçirilip buzlanma olasılığı çıktısı elde edildikten sonra da sonuç değerleri her seviye ve her saat için ayrı dosyalara program tarafından otomatik olarak yazdırılmaktadır. Daha sonra bu metin dosyaları kullanılarak sayısal değerler olasılık haritalarına dönüştürülmektedir.

3.6. Yüksek Seviye Atmosfer Gözlemleri

Yüksek seviye atmosfer gözlemleri, dünya üzerinde belirli noktalarda, özel meteorolojik cihazlar kullanılarak, yerden itibaren 25 mb seviyesine kadar

¹ Belli bir bölgede, bir noktadan dışarıya doğru gerçekleşen yatay hava hareketleri sonucu oluşan rüzgar. Yüksek basınç merkezlerinde görülen bir özelliktir.

atmosferin dikey sondajını yaparak, basınç, sıcaklık, rüzgar ve nispi nem parametrelerinin elde edilmesi biçiminde yapılır.

3.6.1. Radiosonde

Yüksek seviyelerdeki basınç, sıcaklık, rüzgar ve nispi nem gibi elemanlarının değerlerini belirlemede kullanılan aletlerle donatılmış, elde ettiği bilgileri radyo sinyalleri aracılığıyla yer istasyonuna ileten alete radiosonde adı verilir. Radiosondeler bir balon yardımıyla atmosferin 15 ile 18. kilometresine kadar taşınır ve bu uçuş boyunca ölçümlenen basınç, sıcaklık, rüzgar ve nispi nem gibi meteorolojik değerler yer istasyonuna radyo sinyalleri ile sürekli gönderilir. Balonun atmosferin üst seviyelerinde patlamasından sonra alet bir paraşüt yardımıyla yere düşer. Yer istasyonunda toplanan bilgiler radiosonde gözlemi (RAOB) olarak kodlanır. Radiosonde aleti ucuna bağlandığı balon tarafından eğer kuvvetli rüzgar veya yağış bulutu yoksa daha yüksek seviyelere kadar kolaylıkla taşınabilir [Çimen ve ark., 2007].

3.6.2. Ravinsonde rasatları

1920'lerin başlarında Fransız bilim adamları Bureau ve Idrac ile onlardan ayrı çalışan Rus bilim adamı Moltchanov atmosferin çeşitli seviyelerindeki hava koşulları hakkındaki bilgileri, radyo dalgaları aracılığıyla toplamak ve yayınlamak için bir cihaz üzerinde çalışmaya başladılar. 1930 yılında Rus Moltchanov bugünkü radiosonde cihazının atası denilebilecek ilk radiosonde cihazını geliştirmeyi başardı [Çimen ve ark., 2007].

Ravinsonde rasatları, radiosonde cihazı denilen ve balonla birlikte serbest atmosfere gönderilen rasat aletleri yardımıyla yapılır. Radiosonde cihazı, balonun yardımıyla serbest atmosferde yukarı çıkarken meteorolojik bilgileri eş zamanlı olarak ölçen ve istasyona gönderen alettir. Radiosonde cihazı, basınç, sıcaklık, nem değerlerini ölçen sensörlerden meydana gelmektedir. Bu sensörler yardımıyla elde edilen bilgiler,

önceden belirlenmiş olan bir sıralama dahilinde ve belirlenmiş kısa zaman aralığında alıcı yer istasyonuna gönderilir. Rüzgar bilgileri ise radiosonde cihazının serbest atmosferdeki konumuna bağlı olarak elde edilen açı değerlerinden elde edilir. Ravinsonde rasatları, basıncın, sıcaklığın, nemin, rüzgar yön ve şiddetinin, yerden uçuşun son bulduğu yüksekliğe kadar yüksekliğin bir fonksiyonu olarak elde edildiği gözlemlerdir. Ravinsonde sistemi, bir balonun taşıdığı radiosonde cihazı, cihazdan gelen sinyalleri alan ve cihazı izleyen yer ekipmanı ve bilgileri işlemek için kullanılan bilgisayar ünitesinden ibarettir [Çimen ve ark., 2007].

"Ravinsonde" kelimesi tam olarak, atmosferde yükseklikle, basınç, sıcaklık, nem ve rüzgar bilgilerinin elde edilmesini ifade eder. "Radiosonde" kelimesi ise atmosferde yükseklikle, basınç, sıcaklık ve nem bilgilerini ifade eder. Bu iki kelimenin tek farkı rüzgar bilgileridir [Çimen ve ark., 2007].

3.6.3. Türkiye ravinsonde istasyon şebekesi

Ülkemizde Harita 3.1'de gösterildiği gibi, 7 adet ravinsonde istasyonu bulunmaktadır. Bunlar, Samsun (41.20 N, 36.15E), İstanbul (40.58 N, 29.05 E), Ankara (39.57 N, 32.53 E), İzmir (38.26 N, 27.10 E), Isparta (37.45 N, 30.33 E), Diyarbakır (37.55 N, 40.12 E) ve Adana (37.03 N, 35.21 E)'dir. Bu istasyonlar, yukarıda açıklandığı üzere, Türkiye'yi etkileyen hava kütleleri ve ulusal ihtiyaçlar göze alınarak tesis edilmiştir. Dünya Meteoroloji Teşkilatı (WMO), geniş kara bölgeleri üzerinde ravinsonde istasyonlarının 250 km, sık nüfuslu olmayan yerlerde ve okyanuslarda ise 1000 km aralıklı olarak kurulmasını tavsiye etmektedir. Bu kriterler dikkate alındığında Türk ravinsonde istasyonları bu kriterlere uymaktadır. WMO bu istasyonların günde 4 defa rasat yapmasını tavsiye eder. Fakat Türkiye'de, bütün dünya genelinde uygulandığı gibi, 00 UTC ve 12 UTC olmak üzere günde iki defa rasat yapmaktadır [Çimen ve ark., 2007].



Harita 3.1. Türkiye yüksek seviye atmosfer gözlem (Ravinsonde) istasyonları

3.6.4. Sistem ve ekipman

Uçuş sistemleri (uçuş takımı)

Uçuş sistemleri veya uçuş takımı, bir balon, uçuşa yardımcı birimler ve radiosonde cihazından ibarettir. Balon, radiosondeyi serbest atmosferde istenilen bir yükselme oranında, istenilen yüksekliğe çıkarmak için kullanılır. Radiosonde cihazını balona bağlayan sistem, paraşüt, ışıklandırma birimi, bazı radiosonde cihazlarıyla birlikte kullanılan reflöktörler uçuşa yardımcı birimler olarak adlandırılmaktadır. Radiosonde ise, istenilen meteorolojik değişkenleri ölçebilecek birimlerden (sensörler) ve elde edilen bu bilgileri istasyona gönderecek vericilerden ibarettir [Çimen ve ark., 2007].

Balonlar

Meteorolojik amaçlı balonlar, doğal kauçuk hammaddesinden (lateks) veya sentetik kauçuktan (neopren) yapılmıştır. Lateks balonlar, neopren balonlara göre, şiştikleri zaman daha küresel bir görünüm arzederler ve aşağı atmosferde daha süratli ve muntazam bir yükselme oranına sahiptirler. Neopren balonlar şişirildiklerinde dikey gerilmeye müsaittir ve serbest atmosferde yükselirken balonun tepesi yassılaşır. Bu yüzden balon yavaşlar ve hantallaşır. Lateks balonlara oranla daha az muntazam yükselme oranına sahip olurlar. Neopren balonları rüzgarlı havalarda fırlatmak

oldukça zordur. Ayrıca kötü hava koşulları için özel üretilmiş balonlar vardır [Çimen ve ark., 2007].

Ravinsonde rasatlarında ise balonlar kullanılacak radiosonde cihazına göre tayin edilmelidir ve 30-35 km lik bir yükseklik bu rasatlar için esastır. Balonun ağırlığı arttıkça, (belirli bir ağırlığa kadar) çıkabileceği yükseklik de artar [Çimen ve ark., 2007].

Balon şişirme gazları

Balonların şişirilmesinde havadan hafif gazlar kullanılmaktadır. Bu gazlar, Hidrojen, Helyum ve doğal gazdır. Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde ravinsonde rasatlarında hidrojen gazı kullanılmaktadır [Çimen ve ark., 2007].

Uçuşa yardımcı birimler

Uçuşun gerçekleştirilebilmesi ve rasat açısından uçuşun güvenli hale getirilebilmesi için uçuşa yardımcı birimler tasarlanmıştır. Bunlar paraşüt ve ışıktandırma birimidir [Çimen ve ark., 2007].

Paraşütler

Balon patladıktan sonra serbest düşmeye geçtiği zaman, yerde, özellikle yerleşim yerlerinde hasara sebep olabilir. İstasyonlarımız şehir merkezine yakın bölgelerde bulunduğu için can ve mal emniyeti bakımından mutlaka paraşüt kullanılmalıdır. Kullanılacak paraşütler gök yüzü fonlarından ayırt edilebilecek parlak renklerde olmalıdır [Çimen ve ark., 2007].

Işıklandırma birimleri

Antenin, uçuş başlangıcında, manuel olarak radiosondeye kilitlenmesi gereken sistemlerde, gece yapılan fırlatmalarda, ışıklandırma birimi kullanılmaktadır. Salıvermenin 5. dakikasına kadar, ışıklandırma birimi gece şartlarında operatöre büyük kolaylık sağlamaktadır [Çimen ve ark., 2007].

Radiosonde cihazları

Radiosonde cihazı, radyo dalgaları aracılığıyla, herhangi bir yer alıcı istasyonuna basınç(P), sıcaklık(T) ve nem(U) değerlerini otomatik olarak gönderen ve balon yardımıyla taşınan, enerji kaynağı olarak da pili kullanan meteorolojik ölçüm cihazıdır [Çimen ve ark., 2007].

Radiosondeler dünyada pek çok ülke, firma ve acentalar tarafından üretilmektedir. Fakat radiosondelerde belirli bir standart vardır ve hepsinin çalışma prensibi aynıdır. Radiosonde cihazlarının temel parçaları, meteorolojik sensörler, elektronik bilgi kodlayıcıları ve telemetrik (radyo dalgalarını kullanan) göndericidir (transmitter). Ölçülen basınç, sıcaklık ve nem bilgileri kullanılarak, jeopotansiyel yükseklik ve işba sıcaklığı değerleri elde edilir [Çimen ve ark., 2007].

Meteorolojik sensörler

Radiosonde cihazlarında kullanılan meteorolojik sensörler, atmosferde, yüksekliğin bir fonksiyonu olarak, basınç, sıcaklık ve nispi nem değerlerini ölçerler. Sensörler fabrikalarda kalibre edilmişlerdir. Kalibrasyon değerleri uçuş öncesi hazırlıkları yapılırken tamamen kontrol edilmelidir. Böylece, salıverme öncesinde, tüm radiosonde parçalarının uygun şekilde çalıştığı test ve kontrol edilmiş olur [Çimen ve ark., 2007].

Basınç sensörü, uçuşun başlangıcından itibaren balonun patlamasına kadar geçen sürede, yüksekliğin bir fonksiyonu olarak basınç değerlerini uçuş şartlarında ölçer. Bu sensör, genellikle içi boşaltılmış bir anaroid barometredir. Sensör basınçtaki değişmelerde esneyen bir parça içerir. Parçadaki esneme, basınçta meydana gelen değişikliklerle orantılıdır. Esnemedeki bu değişiklik kapasitans olarak ya da bir elektronik düzeneği dengeleyecek denge voltajı olarak rapor edilir. Buradan şu anlam çıkmaktadır; basınçtaki değişim bir barometre tarafından, barometrenin basınca duyarlı parçası tarafından algılanır ve bir takım elektronik birimler tarafından elektrik akımına çevrilir. Böylece basınç bilgilerine ait elektronik işaretler (sinyaller) elde edilmiş olur. Basınç sensörleri genellikle +50 ve -90 °C arasındaki sıcaklık değerlerindeki basınç değerlerini ölçmek amacıyla dizayn edilmişlerdir [Çimen ve ark., 2007].

Sıcaklık sensörü, uçuşun başlangıcından itibaren balonun patlamasına kadar geçen sürede, yüksekliğin bir fonksiyonu olarak sıcaklık değerlerini uçuş şartlarında ölçer. Bu sensör, resistans ve kapasitansdaki meydana gelen sıcaklık değişimlerini elektronik işarete çevirir. Sıcaklık sensörleri kısa ve uzun boylu radyasyonlardan etkilenebilir [Çimen ve ark., 2007].

Nem sensörü, uçuşun başlangıcından itibaren balonun patlamasına kadar geçen sürede, yüksekliğin bir fonksiyonu olarak nem değerlerini uçuş şartlarında ölçer. Günümüz radiosondelerinde, nem sensörü olarak karbon elemente ve ince zar kapasitansına sahip elektriksel sensörler kullanılmaktadır [Çimen ve ark., 2007].

GPS (küresel konumlama sistemi)

GPS sistemi 24 adet uydu takımından oluşmaktadır. Bu uydu takımının her birisi 1575.41 (L1) ve 1227.60 (L2) MHz'lik frekanslara sahip olmak üzere sinyalleri nakletmektedir. L1 Bandı, sivil konumlandırma amacıyla ayrılmıştır. 2 MHz'lik taşıyıcı frekans genliğine sahiptir. GPS sistemi yardımıyla 0,5 m/sn doğruluğunda

rüzgar değerleri elde edilmektedir. Ülkemizde halihazırda GPS sistemi kullanılarak rasatlar yapılmaktadır [Çimen ve ark., 2007].

Radiosonde Cihazında Bilgilerin Elektronik Olarak Şifrelenmesi

Radiosonde cihazında çeşitli sensörler yardımıyla elde edilen basınç, sıcaklık ve nem bilgileri, radiosonde cihazı tarafından elektronik olarak şifrelenerek gönderilmektedir. Bu olaya bilgi şifreleme elektroniği adı verilir. Bilgi şifreleme elektroniği, çeşitli sensörleri örnek olarak dener, sensör sinyallerini elektronik işarete çevirir (şifreler) ve işaretleri radiosonde cihazının taşıyıcı frekansı üzerinden alıcıya gönderir. Her ölçüm için örnekleme oranı, gönderilecek bilgidan çıkarılabilen ve atmosferik şartları temsil eden bir oran olmalıdır. [Çimen ve ark., 2007].

Yer Sistemleri

Ravinsonde rasatlarında, dünyada kullanılan farklı yer sistemleri bulunmaktadır. Yer sistemleri tipik olarak izleme, bilgi alma, sinyal ve bilgi işleme fonksiyonlarını yerine getirmektedir [Çimen ve ark., 2007].

Antenler

Yer sistemlerinin antenleri, radiosonde cihazlarının sinyallerini arar, onun yardımıyla sinyal amplifikasyonu sağlarlar [Çimen ve ark., 2007].

Veri İşleme Sistemleri

Radiosonde cihazı aracılığıyla elde edilen sinyaller, elektronik ortamda bilgisayarda veriye, yani meteorolojik bilgiye dönüştürülür. Veri işleme üniteleri bilgisayarlar, uygun rasat programları ve yardımcı donanımlardan oluşmaktadır. Bu sistemlerin, rasatları inceleme, yayın yapma ve gözlem sonuçlarının kopyasını yapabilme gibi özelliklere sahip olması gerekmektedir. Gözlemler sonucunda oluşturulan en temel

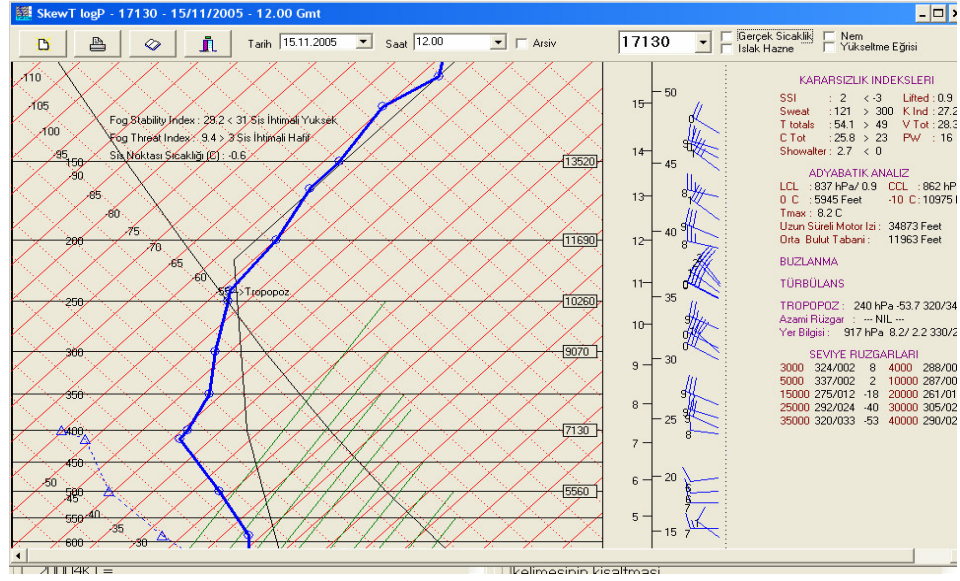
veri WMO standartlarına göre oluşturulan, Temp Kodu'dur. Ayrıca veri işleme sistemleri, devam eden rasadın gidişatı hakkında operatöre yardımcı olmalıdır. Bu amaca uygun olarak, SkewT LogP diyagramı, termodinamik diyagramlar ve rüzgar diyagramları rasat programında yer almalıdır. Ayrıca veri tabanı özelliğine de sahip olmalıdır [Çimen ve ark., 2007].

3.6.5. Ravinsonde rasatlarının kullanıldığı alanlar

Ravinsonde rasatlarının en temel amacı hava tahmini ve analizidir. Standart izobarik seviyelere ait yükseklik, basınç, sıcaklık, nem ve rüzgar bilgileri haritalara işlenerek hava tahmin ve analiz çalışmaları yapılır. Ravinsonde rasatları, günümüzde sayısal hava tahmin modellerinin en temel verilerindendir. Ayrıca sivil ve askeri amaçlı her türlü havacılık amaçları için ravinsonde rasatları çok önemlidir. Özellikle SkewT LogP diyagramı lokal hava durumunun ravinsonde rasatları yardımıyla analizinde çok önemli bir işleve sahiptir. Hava kirliliği tahmin, model ve analizi aşamalarında ravinsonde rasatları kullanılmaktadır. Yüksek seviye atmosfer haritaları (850 mb, 700 mb, 500 mb haritaları gibi) ravinsonde gözlemleri ile hazırlanırlar.

3.7. Skew-T LogP Diyagramı

SkewT LogP termodinamik bir diyagramdır. Atmosferdeki meteorolojik olaylar termodinamik kanunları ile birlikte incelenerek pratik bir model olarak bu diyagramlar oluşturulur. Bu diyagram vasıtasıyla, 25 hPa seviyesine kadar olan, atmosferin dikey kesiti içerisindeki meteorolojik parametreler analiz edilirler. SkewT LogP diyagramları kararlılık - kararsızlık, bulut tahmini, oraj tahmini, buzlanma, türbülans ve hamle tahminleri gibi analiz konularında sıklıkla kullanılırlar. Bu çalışmada, Skew-T LogP Diyagramı bulanık mantık kullanılarak yapılan buzlanma olasılık tahmin değerlerinin doğrulanması (verifikasyon) işlemi için kullanılmıştır. Şekil 3.2'de Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde SkewT LogP diyagramı için kullanılan yazılımın arayüz görüntüsü verilmiştir. Buzlanma seviyesi, 0°C izotermi ile sıcaklık sondajının arasındaki kesişim alanıdır.



Şekil 3.2. Örnek SkewT LogP diyagramı görüntüsü

4. BULANIK MANTIK İLE BUZLANMA POTANSİYELİ TAHMİNİ

Meteoroloji biliminin doğası gereği, bulanık mantığa yakın oluşu sebebiyle hava tahminlerinde bulanık mantığın kullanılmasının uygun olacağı değerlendirilmiştir. Hava tahminleri için bulanık mantığın ideal olduğunu gösteren başlıca nedenler aşağıda sıralanmıştır.

Birincisi; hava tahmin raporlarında kullanılan doğal dil bulanık ifadeleri kapsamaktadır. Örneğin; gece yarısına doğru, çok bulutlu, gecedен sonra soğuma, az bulutlu açık, rüzgarlar batılı yönlerden, hafiften orta şiddete doğru kar yağışı, bölgesel (mevzi) sağanak yağış, gelişen yüksek bulutluluk, ...vs. Bu tabirlerin tamamı bulanıklığın temelini oluşturan bulanık kümenin elemanlarıdır.

İkincisi; bulanık mantık bu alandaki çalışmalarla tanınmıştır. Örneğin; Bjarne Hansen 1997 ve 2000’de biri bulut tavanı ve görüşü doğru olarak tahmin eden, diğeri deniz tahmini yapan iki bulanık hava sistemi oluşturmuştur. Gottfried Shaffer 1998’de, 0.75°C doğrulukla bulanık sıcaklık tahmini yapan ve yollardaki buzlanmayı tahmin eden bir bulanık mantık sistemi oluşturmuştur.

Son olarak; atmosfer ve hava koşulları bulanık mantık çözümünün uygun olacağı düşünülen genel koşulları sağlayan bir alandır. Öyle ki, bu alanda;

- Yaklaşık çözümler kabul edilebilirdir.
- Rüzgar yönü, bulut kapallılığı, sıcaklık gibi önemli değişkenlerin değerleri ve değer aralıkları sayısal olarak gösterilebilir.
- Girdi-çıkı ilişkisi tam olarak mevcuttur ancak iyi tanımlanamaz ve durağan değildir. Bu ilişki coğrafi koşullara ve mevsimlere bağlı olarak değişiklik gösterir ve aynı girdi koşulları farklı çıktılar verebilir. Bu girdi ve çıktılar arasında oluşturulacak bir “kara kutu” modele bir esneklik katacaktır. Örneğin; 12 saatlik bir periyot için kuru ve nemli biçiminde ifade edilen iki tahmin de doğru olabilir.

- Arzu edilen sonucu verecek bir matematiksel formül bulunmamakta, bazı algoritmaların atmosfer modellerine uygulanmak istenmesi durumunda en büyük ve en hızlı bilgisayarlar bile yetersiz kalabilmektedir.
- Erişilebilir olan tüm bilgiler kullanılmak istenmekle birlikte bu yapıldığında çok karmaşık bir algoritmik sonuca ulaşılabilmektedir.

Meteorolojik olarak tahmin edilmesi gereken konulardan birisi, uygulamada havacılık açısından büyük önem taşıyan buzlanma potansiyelidir.

Bölüm 3.1’de anlatılan çalışmalarda, buzlanma potansiyelinin tahmininde kesin sınırlara sahip eşik değerleri kullanılmaktadır. Örneğin, buzlanma için $T = (-14,9)^{\circ}\text{C}$ uygun iken, $T = (-15,1)^{\circ}\text{C}$ uygun olmamaktadır. Yani; sıcaklık, nispi nem veya diğer parametrelerdeki küçük değişiklikler, tahmin edilen buzlanma alanlarında beklenmedik değişikliklere neden olmaktadır. Özetle, bu yaklaşım buzlanma için beklenen ve beklenmeyen alanların gösteriminde yeterli olmamaktadır. Diğer tüm hava olayları gibi, buzlanma da hem devamlılık hem de devamsızlık gösteren yapıda olabilir. Bulut sınırlarında beklenmeyen devamsızlıklarla karşılaşılır. Bu alanlarda, özellikle dikey yönde, birkaç yüz metrelik mesafede buzlanmada önemli farklılıklar görülebilir. Buzlanma koşulları derece ve zaman olarak da değişkenlik gösterir. Buzlanma hadisesinin bu karakterinden dolayı, kesin mantıkla tahmin edilmesinden önce, bulanık mantık kullanılarak buzlanma potansiyelinin belirlenmesinin daha sağlıklı sonuç vereceği değerlendirilmiştir.

4.1. Buzlanma Potansiyeli Tahmin Algoritması

4.1.1. Algoritma girdisi

Çalışmada, algoritma girdisi olarak, buzlanma potansiyelini doğrudan etkileyen sıcaklık, bulut tepe sıcaklığı, nispi nem ve dikey hız parametreleri kullanılmaktadır. Bu parametrelerin buzlanmaya etki dereceleri ve birbirleriyle ilişkileri uzun süreli

PIREP istatistiklerinden ve meteorolojik kurallardan yola çıkılarak değerlendirilmiş ve ilgi haritaları oluşturulmuştur.

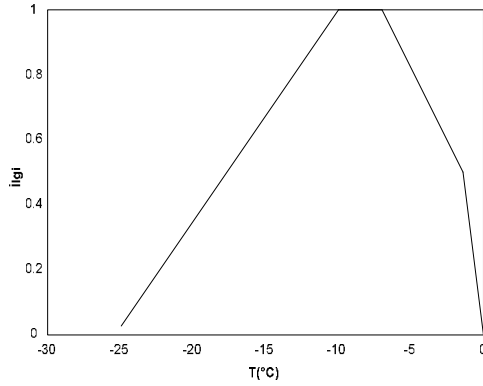
4.1.2. İlgi haritaları

FIP bulanık mantık üyelik fonksiyonlarını ve bir karar ağacını kullanarak, bir model girdi datasını bir araya getirir ve buzlanma potansiyelini tahmin eder. Üyelik fonksiyonları bulut fiziği prensiplerine, tahmin ve araştırma deneyimlerine ve pilot raporları ile yapılan karşılaştırmalara dayandırılarak oluşturulur. Beklenen buzlanma olasılığını gösteren bu fonksiyonlar datayı 0 – 1 ölçeğinde tasarlar.

Tüm fonksiyonların amacı, bir hava tahmincisinin, buzlanma tahmini için yapacaklarını taklit etmektir. Örneğin; tüm diğer koşullar aynı olduğunda, %90 nem oranında, buzlanma olasılığı, %75 nem oranına göre daha fazladır.

Sıcaklık

Buzlanma, donma noktasına yakın sıcaklıklarda daha çok olmakta, azalan sıcaklıkla birlikte olasılık düşmektedir [Rogers ve Yau, 1989; Rauber ve ark., 2000]. Buzlanma, $(-25)^{\circ}\text{C}$ 'nin altındaki sıcaklıklarda çok nadirdir. Sıcaklık üyelik fonksiyonu (Şekil 4.1; T_{MAP}) bu faktörler dikkate alınarak oluşturulmuştur. T_{MAP} aynı zamanda, bir uçağın ön kenar yüzeylerindeki sıkışmaya bağlı ısınmayı da dikkate almaktadır. Bu, sıcaklık -4°C 'den 0°C 'ye artarken, orandaki keskin düşüşün nedenidir ve bu sıcaklıklarda SLW mevcudiyeti çok muhtemeldir [McDonough ve ark., 2004].

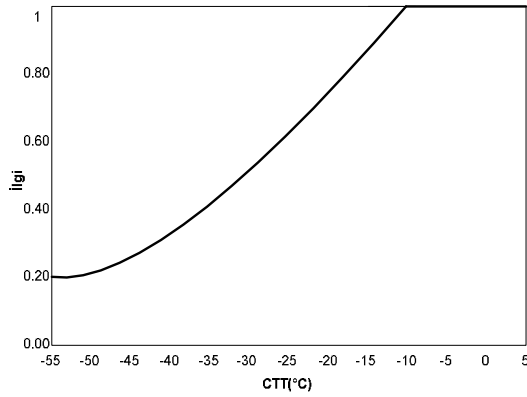


Şekil 4.1. (-30) - (0)°C aralığı için, FIP T_{MAP} üyelik fonksiyonu

Bulut Tepe Sıcaklığı

Bir bulut tabakasının içerisinde normal olarak sıcaklığın en düşük olduğu nokta tepe noktası olduğundan, bulut tepe sıcaklığı (CTT) buzlanmada büyük etkiye sahiptir. Eğer bulut tavanı bol miktarda buz kristalleri oluşturacak kadar soğuksa, bu kristallerin, bulutun aşağı kısmına doğru düşmeleri beklenir (kısmi veya tamamen buzullaşma nedeni ile). Ilık tepe sıcaklığına sahip bulutlarda sıvı suyun hakim olması muhtemeldir ve alt kısımda buzullaşma olmaz. Bu bakış açısı ile, CTT üyelik fonksiyonu oluşturulmuştur (Şekil 4.2: CTT_{MAP}).

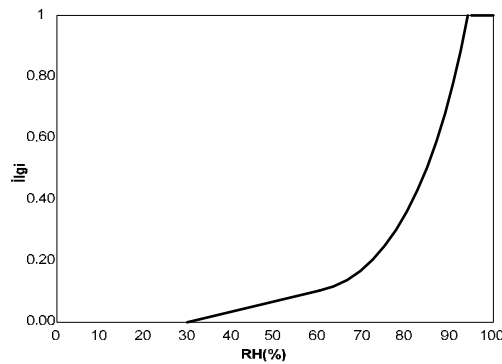
CTT_{MAP} , $CTT \geq 0^\circ\text{C}$ için 1,0 değerini almakta, ve bu 1,0 değeri, -12°C 'ye kadar sabit kalmaktadır. Çünkü; bu sıcaklıklarda, bulut tavanına sıvı su partikülleri hakimdir. CTT_{MAP} üyelik değeri, azalan tepe sıcaklığı ile birlikte azalmaktadır, çünkü; düşük sıcaklıklarda bulut tavanına buz tanecikleri hakimdir. CTT_{MAP} üyelik değeri asla "0" olmaz. -50°C 'den daha soğuk sıcaklıklarda, minimum değeri olan 0,2'yi alır. Çok soğuk bulut tepeleri, çok sayıda buz manasına geldiğinden, genellikle güçlü kaldırma nedeni ile, sıvı su oluşum miktarı, azalma miktarından daha fazla olabilir. Bu nedenle, buzlanma potansiyeli, düşük CTT yüzünden asla sona ermez [McDonough ve ark., 2004].



Şekil 4.2. (-55) – (+5)°C aralığı için, FIP CTT_{MAP} üyelik fonksiyonu

Nispi Nem

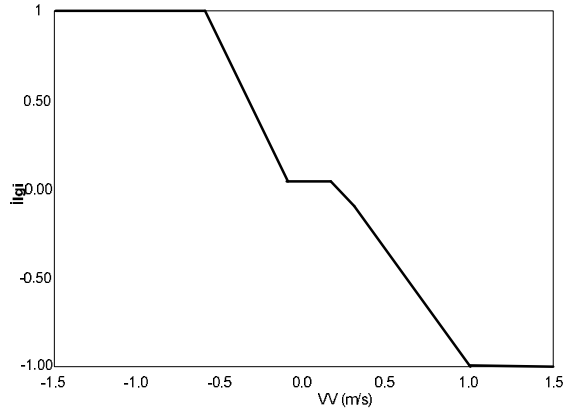
FIP nispi nem grafiği (Şekil 4.3: RH_{MAP}), bulut tavanı ve bulut veya yağış tabanı arasında bulutların, yani böylelikle bir buzlanma olasılığının, olduğunu garanti eder. İdeal olarak, RH_{MAP} sadece doyma noktasında (%100) 1,0 değerini, diğer tüm durumlarda 0,0 değerini alır. Bununla birlikte, nem, modellerin çok zor tahmin edebildiği bir alandır [Wolff, 2004]. Pozitif buzlanma içeren pilot raporları, model nispi nem çıktıları ile karşılaştırıldığında, %100'ün altında nem değerlerinde de buzlanmanın yoğun olduğu görülmüştür. RH_{MAP} bunu dikkate alarak, %30 nem değerinden başlayarak bir bağıntı kuran, yavaş yavaş artarak %60 nem değerinde 0,1 değerine ulaşan, ve bu noktadan sonra hızlı bir yükselişle %95'te 1,0 değerine ulaşan bir üyelik fonksiyonuna sahiptir [McDonough ve ark., 2004].



Şekil 4.3. FIP RH_{MAP} üyelik fonksiyonu

Dikey Hız

Yukarı doğru dikey hareket havayı kaldırır, soğutur ve nispi nemini artırır, böylelikle SLW oluşumu şansını yükseltir. Aşağı doğru dikey hızlar bulutları dağıtır ve böylelikle SLW azalır. Politovich ve arkadaşları 2002’de pilot buzlanma raporlarından %74’ünün, havanın yükselmesi hareketinden kaynaklandığını göstermiştir. Bu göz önüne alınarak, dikey hız üyelik fonksiyonu (Şekil 4.4: VV_{MAP}) yukarı doğru hareketle doğru orantılı olarak oluşturulmuştur [McDonough ve ark., 2004].



Şekil 4.4.FIP VV_{MAP} üyelik fonksiyonu (negatif VV değerleri yukarı yönlü dikey hareketi ifade etmektedir)

Bulanık mantık, bu çalışmada bir karar verme tekniği olarak ortaya konulmuştur. Örnek uygulama olarak, yüksek seviye buzlanma potansiyeli tahmini seçilmiş ve bu tahmin için bir metot geliştirilmiştir. Havacılık açısından kritik olan buzlanma gibi proseslerin tahmini, her zaman için güç olmuştur. Meteoroloji alanındaki teknolojinin gelişmesiyle, zor tahmin koşullarında, tahmincilerin tecrübeleriyle bazı algoritmaların birleştirilmesi arzu edilmektedir. Bulanık mantık da, bu ihtiyacı giderecek özelliğe sahip olan, doğal problem çözme tekniklerini taklit ederek bir algoritmalar kümesine dayalı hesaplamalar yapma metodudur.

Hava tahmininde, istatistiksel metodlar, örnek kabulü ve diğer daha az analitik metodlar dışında kolayca anlaşılamayacak birçok durum vardır. Bazı durumlarda,

karar ağaçları veya akış diyagramları geliştirilmiştir. Bununla birlikte, bu yöntemler klasik mantığa dayalıdır.

Meteorolojik bir hadise olarak buzlanma, burada, havacılık açısından kritikliği ve halihazırda kullanılan metodların yetersizliği nedeni ile seçilmiştir. Tasarlanmış olan Bulanık Çıkarım Sistemi aşağıda açıklanmıştır.

4.2. Bulanık Çıkarım Sistemi Tasarımı

Tasarlanmış olan Bulanık Çıkarım Sistemi'nin (FIS) temel özellikleri:

Tipi	: Mamdani
“ve” (and) Metodu	: min
“veya” (or) Metodu	: max (kurallarda “or” kullanılmamıştır)
durulaştırma Metodu	: sentroid
impMethod	: min (implikasyon metodu)
aggMethod	: max (aggregation - bir araya getirme metodu)
Girdi	: [1x4]
Çıktı	: [1x1]
Kural	: [1x81]

4.2.1. Sistem girdileri ve bulanık kümeler

Buzlanma tahmini ile ilgili olarak, çözülecek olan problem bir sistem olarak ele alınmıştır. Sistem girdileri, sistem çıktıları veya problemin sonuçlarını belirleyen fiziksel değişkenlerdir. Kullanılacak olan sistem girdileri sıcaklık (T), bulut tepe sıcaklığı (CTT), nispi nem (RH) ve dikey hızdır (VV).

Sistem girdileri, MM5 sayısal hava tahmin modeli çıktılarından elde edilecek olup kolaylıkla erişilebilirdir. Sistem girdileri, bulanık kümeler olarak adlandırılan belirgin fiziksel kümelere ayrılmıştır. Bulanık kümeler seçilmiş girdi alanları için

basit nitel tanımlamalara sahiptir ve bunlar çıktı üzerinde spesifik bir etkiye sahiptir. Bu uygulamada kullanılan bulanık kümeler Çizelge 4.1’de gösterilmiştir.

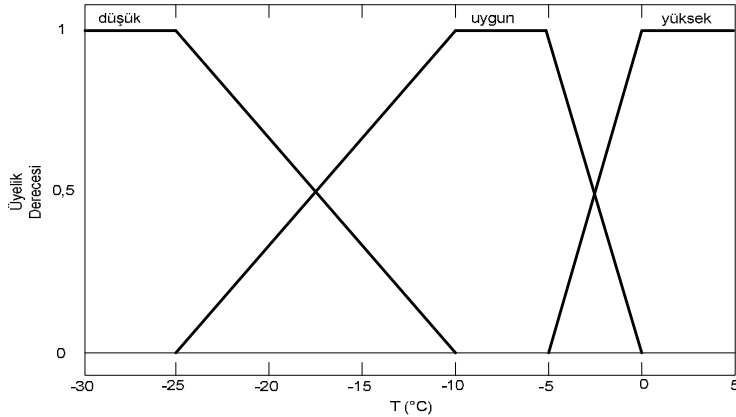
Çizelge 4.1. Buzlanma için bulanık kümeler

Sıcaklık (T) (°C)	Bulut Tepe Sıcaklığı (CTT) (°C)	Nispi Nem (RH) (%)	Dikey Hız (VV) (m/s)
Düşük	Çok Düşük	Düşük	Yukarı Yönlü – Güçlü
Uygun	Düşük	Orta	Yukarı Yönlü – Zayıf
Yüksek	Uygun	Uygun	Aşağı Yönlü

Bu bulanık kümelerin nitel tanımlamaları ve buzlanma oluşum olasılığına fiziksel etkileri temel bulut ve atmosfer fiziği çalışmaları ile geçmiş deneyimler kullanılarak oluşturulmuştur. Yukarıdaki çizelgede, buzlanmaya etki eden meteorolojik parametreler, etki dereceleri göz önüne alınarak kategorilere ayrılmıştır. Uygulamada kullanılacak olan 4 adet girdi değişkeni, 3’er adet bulanık kümeye ayrılmıştır.

Aşağıda, uygulama için oluşturulmuş olan üyelik fonksiyonları gösterilmiştir. Şekil 4.5 – 4.8’de gösterilen üyelik fonksiyonlarının grafikleri MATLAB paket programının “fuzzy logic” bileşeni kullanılarak hazırlanmıştır.

Sıcaklık (T) °C



Şekil 4.5. Sıcaklık (T) girdisi bulanık kümeleri için üyelik fonksiyonları

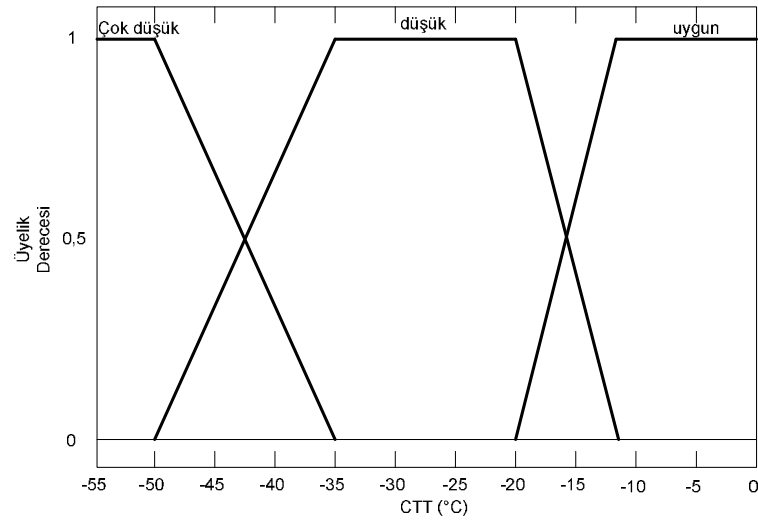
$T = \{\text{düşük, uygun, yüksek}\}$

Sıcaklık için kullanılan üyelik fonksiyonları Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Bulanıklaştırma için üyelik fonksiyonları – Sıcaklık

Koşul	Üyelik Derecesi	Küme
$T \leq (-25)$	$T_d = 1$	Düşük
$-25 < T \leq (-10)$	$T_d = \frac{25+T}{15}$ $T_d = \frac{-10-(T)}{15}$	Uygun Düşük
$-10 < T \leq (-5)$	$T_d = 1$	Uygun
$-5 < T \leq 0$	$T_d = \frac{-T}{5}$ $T_d = \frac{5+T}{5}$	Uygun Yüksek
$T > 0$	$T_d = 1$	Yüksek

Bulut Tepe Sıcaklığı (CTT) °C



Şekil 4.6. Bulut Tepe Sıcaklığı (CTT) girdisi bulanık kümeleri için üyelik fonksiyonları

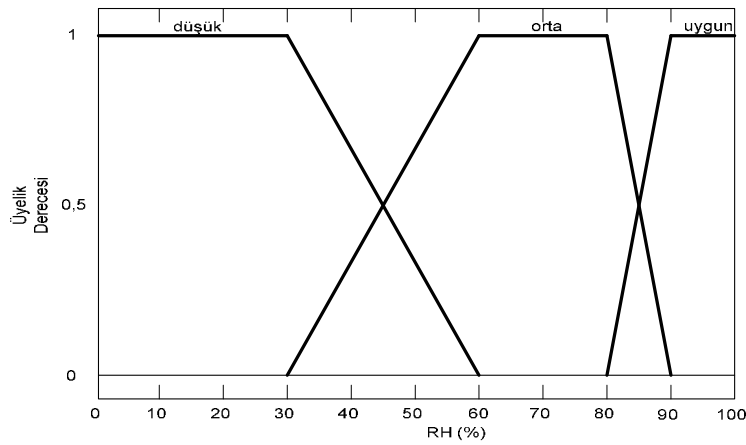
$CTT = \{\text{çok_düşük, düşük, uygun}\}$

Bulut tepe sıcaklığı için kullanılan üyelik fonksiyonları Çizelge 4.3’de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Bulanıklaştırma için üyelik fonksiyonları – Bulut Tepe Sıcaklığı

Koşul	Üyelik Derecesi	Küme
$CTT \leq (-50)$	$CTT_d = 1$	Çok Düşük
$-50 < CTT \leq (-35)$	$CTT_d = \frac{50 + CTT}{15}$ $CTT_d = \frac{-35 - (CTT)}{15}$	Düşük Çok Düşük
$-35 < CTT \leq (-20)$	$CTT_d = 1$	Düşük
$-20 < CTT \leq -12$	$CTT_d = \frac{-12 - CTT}{8}$ $CTT_d = \frac{20 + CTT}{8}$	Düşük Uygun
$CTT > -12$	$CTT_d = 1$	Uygun

Nispi Nem (RH) %



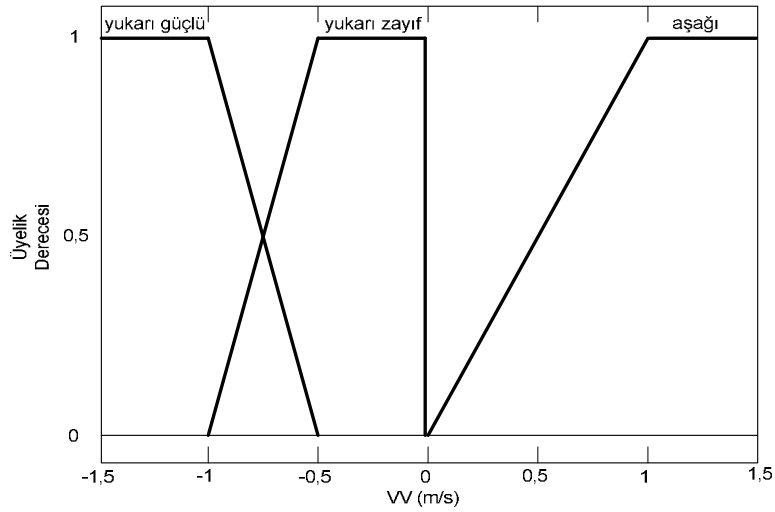
Şekil 4.7: Nispi Nem (RH) girdisi bulanık kümeleri için üyelik fonksiyonları

$RH = \{\text{düşük, orta, uygun}\}$

Nispi nem için kullanılan üyelik fonksiyonları Çizelge 4.4’de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Bulanıklaştırma için üyelik fonksiyonları – Nispi Nem

Koşul	Üyelik Derecesi	Küme
$RH \leq 30$	$RH_d = 1$	Düşük
$30 < RH \leq 60$	$RH_d = \frac{60 - RH}{30}$ $RH_d = \frac{RH - 30}{30}$	Düşük Orta
$60 < RH \leq 80$	$RH_d = 1$	Orta
$80 < RH \leq 90$	$RH_d = \frac{90 - RH}{10}$ $RH_d = \frac{RH - 80}{10}$	Orta Uygun
$90 < RH \leq 100$	$RH_d = 1$	Uygun

Dikey Hız (VV)

Şekil 4.8. Dikey Hız (VV) girdisi bulanık kümeleri için üyelik fonksiyonları

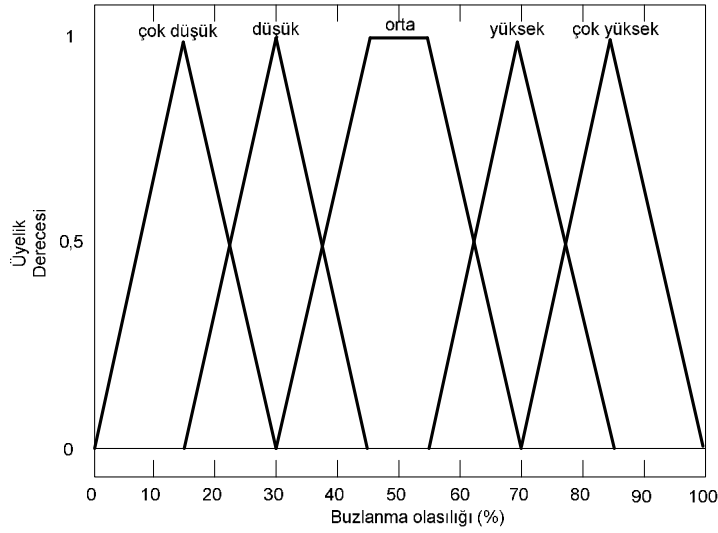
$$VV = \{\text{yukarı_güçlü}, \text{yukarı_zayıf}, \text{aşağı}\}$$

Dikey hız için kullanılan üyelik fonksiyonları Çizelge 4.5’de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Bulanıklaştırma için üyelik fonksiyonları – Dikey Hız

Koşul	Üyelik Derecesi	Küme
$VV \leq -1,0$	$VV_d = 1$	Yukarı_Güçlü
$-1,0 < VV \leq -0,5$	$VV_d = \frac{-VV - 0,5}{0,5}$ $VV_d = \frac{1 + VV}{0,5}$	Yukarı_Güçlü Yukarı_Zayıf
$-0,5 < VV \leq 0,0$	$VV_d = 1$	Yukarı_Zayıf
$0,0 < VV \leq 1,0$	$VV_d = VV$	Aşağı
$VV > 1,0$	$VV_d = 1$	Aşağı

Çıktı (Buzlanma Olasılığı) Üyelik Fonksiyonları



Şekil 4.9. Buzlanma olasılığı çıktısı bulanık kümeleri için alan fonksiyonları

Çıktı = {Çok_düşük, Düşük, Orta, Yüksek, Çok_yüksek}

Buzlanma potansiyeli tahmin değeri için kullanılan çıktı alan fonksiyonları Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Buzlanma olasılığı çıktısı için alan fonksiyonları

Küme	Alan	Sentroid
Çok Düşük	$30x - 15x^2$	15
Düşük	$30x - 15x^2$	30
Orta	$40x - 15x^2$	50
Yüksek	$30x - 15x^2$	70
Çok Yüksek	$30x - 15x^2$	85

Bilindiği gibi, sistem girdilerindeki her değer, en azından bir bulanık kümeye üye olacaktır. Ancak, birden fazla bulanık kümeye üye olmaları daha olasıdır. Çünkü, birbirlerine komşu bulanık kümeler birbirlerinin üzerine binmektedirler. Pratik olarak, bu binme oranı yaklaşık %25 olarak kabul edilebilir. Bu, bulanık mantık tekniğinin bir temelidir. Örneğin; Şekil 4.5’te, $(-15)^{\circ}\text{C}$ ’lik sıcaklık (T) değeri hem “düşük” hem de “uygun” kümelerinin üyesidir. Şekil 4.5’te $(-15)^{\circ}\text{C}$ ’lik değer %67 oranında “uygun” kümesinin, %33 oranında “düşük” kümesinin ve %0 oranında da diğer kümenin elemanıdır.

Sistem girdilerinin üyelik dereceleri yukarıda bahsedildiği gibi hesaplanmaktadır. Sistem çıktılarının (buzlanma potansiyeli olasılığı) belirlenmesi önceden belirlenmiş kuralların bir kümesinin hesaplanmasını izler.

4.2.2. Bulanık kurallar

Daha önce de ifade edildiği gibi, bulanık kural temeli *eğer – ise* formatının bir kümesine dayanmaktadır.

Bulanık kümelerin sayısıyla bağlantılı kuralların toplam sayısı, sistemi karakterize eder. Diğer bir deyişle, kuralların sayısı kategorize edilmiş sistem girdilerinin tüm mümkün permütasyonlarına eşittir. Burada, sıcaklık ile ilgili olarak 3 adet küme, bulut tepe sıcaklığı ile ilgili 3, nispi nem ile ilgili 3 ve dikey hız ile ilgili 3 adet küme oluşturulmuştur. Kümeyi tamamen tanımlayacak kuralların toplam sayısı bu

durumda $3 \times 3 \times 3 \times 3 = 81$ 'dir. Her sistem girdisi ve ilgili bulanık kümelerle birlikte, kural sayısındaki hızlı artışın nasıl olduğu burada açıkça görülmektedir.

Bir kuralın gücü (sağlamlığı), karşılık olarak gelen bulanık kümelerdeki her sistem girdisinin üyelik derecesi olan, kendinden önceki en küçük gerçek değer veya *if* kısmıdır. Birden fazla kural aynı sonuca ulaşmayı sağlayabilir. Bu durumda, en yüksek kuvvete sahip kural kullanılır. Uygulama yapılan sistem için oluşturulmuş olan kurallar şu şekildedir;

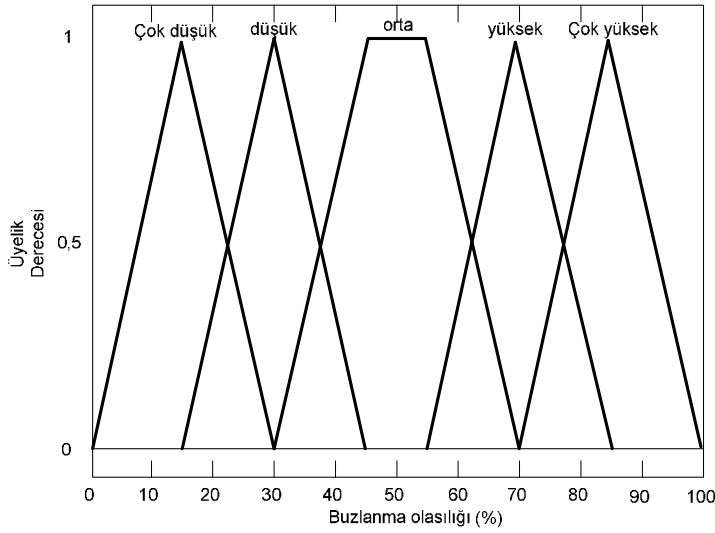
- 1 - IF (T dusuk&CTT cok dusuk&RH dusuk&VV yukari guclu)THEN IP cok dusuk
- 2 - IF (T dusuk&CTT cok dusuk&RH dusuk&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 3 - IF (T dusuk&CTT cok dusuk&RH dusuk&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 4 - IF (T dusuk&CTT cok dusuk&RH orta&VV yukari guclu) THEN IP dusuk
- 5 - IF (T dusuk&CTT cok dusuk&RH orta&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 6 - IF (T dusuk&CTT cok dusuk&RH orta&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 7 - IF (T dusuk&CTT cok dusuk&RH uygun&VV yukari guclu) THEN IP dusuk
- 8 - IF (T dusuk&CTT cok dusuk&RH uygun&VV yukari zayif) THEN IP dusuk
- 9 - IF (T dusuk&CTT cok dusuk&RH uygun&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 10 - IF (T dusuk&CTT dusuk&RH dusuk&VV yukari guclu) THEN IP cok dusuk
- 11 - IF (T dusuk&CTT dusuk&RH dusuk&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 12 - IF (T dusuk&CTT dusuk&RH dusuk&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 13 - IF (T dusuk&CTT dusuk&RH orta&VV yukari guclu) THEN IP dusuk
- 14 - IF (T dusuk&CTT dusuk&RH orta&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 15 - IF (T dusuk&CTT dusuk&RH orta&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 16 - IF (T dusuk&CTT dusuk&RH uygun&VV yukari guclu) THEN IP orta
- 17 - IF (T dusuk&CTT dusuk&RH uygun&VV yukari zayif) THEN IP dusuk
- 18 - IF (T dusuk&CTT dusuk&RH uygun&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 19 - IF (T dusuk&CTT uygun&RH dusuk&VV yukari guclu) THEN IP cok dusuk
- 20 - IF (T dusuk&CTT uygun&RH dusuk&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 21 - IF (T dusuk&CTT uygun&RH dusuk&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 22 - IF (T dusuk&CTT uygun&RH orta&VV yukari guclu) THEN IP dusuk

- 23 - IF (T dusuk&CTT uygun&RH orta&VV yukari zayif) THEN IP dusuk
- 24 - IF (T dusuk&CTT uygun&RH orta&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 25 - IF (T dusuk&CTT uygun&RH uygun&VV yukari guclu) THEN IP orta
- 26 - IF (T dusuk&CTT uygun&RH uygun&VV yukari zayif) THEN IP dusuk
- 27 - IF (T dusuk & CTT uygun & RH uygun&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 28- IF(T uygun&CTT cok dusuk&RH dusuk&VV yukari guclu) THEN IP cok dusuk
- 29- IF (T uygun&CTT cok dusuk&RH dusuk&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 30 - IF (T uygun&CTT cok dusuk&RH dusuk&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 31 - IF (T uygun&CTT cok dusuk&RH orta&VV yukari guclu) THEN IP dusuk
- 32 - IF (T uygun&CTT cok dusuk&RH orta&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 33 - IF (T uygun&CTT cok dusuk&RH orta&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 34 - IF (T uygun&CTT cok dusuk&RH uygun&VV yukari guclu) THEN IP orta
- 35 - IF (T uygun&CTT cok dusuk&RH uygun&VV yukari zayif) THEN IP dusuk
- 36 - IF (T uygun&CTT cok dusuk&RH uygun&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 37 - IF (T uygun&CTT dusuk&RH dusuk&VV yukari guclu) THEN IP cok dusuk
- 38 - IF (T uygun&CTT dusuk&RH dusuk&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 39 - IF (T uygun&CTT dusuk&RH dusuk&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 40 - IF (T uygun&CTT dusuk&RH orta&VV yukari guclu) THEN IP dusuk
- 41 - IF (T uygun&CTT dusuk&RH orta&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 42 - IF (T uygun&CTT dusuk&RH orta&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 43 - IF (T uygun&CTT dusuk&RH uygun&VV yukari guclu) THEN IP orta
- 44 - IF (T uygun&CTT dusuk&RH uygun&VV yukari zayif) THEN IP orta
- 45 - IF (T uygun&CTT dusuk&RH uygun&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 46 - IF (T uygun&CTT uygun&RH dusuk&VV yukari guclu) THEN IP cok dusuk
- 47 - IF (T uygun&CTT uygun&RH dusuk&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 48 - IF (T uygun&CTT uygun&RH dusuk&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 49 - IF (T uygun&CTT uygun&RH orta&VV yukari guclu) THEN IP yuksek
- 50 - IF (T uygun&CTT uygun&RH orta&VV yukari zayif) THEN IP orta
- 51 - IF (T uygun&CTT uygun&RH orta&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 52 - IF (T uygun&CTT uygun&RH uygun&VV yukari guclu) THEN IP cok yuksek
- 53 - IF (T uygun&CTT uygun&RH uygun&VV yukari zayif) THEN IP yuksek

- 54 - IF (T uygun&CTT uygun&RH uygun&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 55-IF(T yuksek&CTT cok dusuk&RH dusuk&VV yukari guclu)THEN IP cok dusuk
- 56- IF(T yuksek&CTT cok dusuk&RH dusuk&VV yukari zayif)THEN IP cok dusuk
- 57 - IF (T yuksek&CTT cok dusuk&RH dusuk&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 58 - IF (T yuksek&CTT cok dusuk&RH orta&VV yukari guclu) THEN IP dusuk
- 59 - IF (T yuksek&CTT cok dusuk&RH orta&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 60 - IF (T yuksek&CTT cok dusuk&RH orta&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 61 - IF (T yuksek&CTT cok dusuk&RH uygun&VV yukari guclu) THEN IP dusuk
- 62- IF(T yuksek&CTT cok dusuk&RH uygun&VV yukari zayif)THEN IP cok dusuk
- 63 - IF (T yuksek&CTT cok dusuk&RH uygun&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 64 - IF (T yuksek&CTT dusuk&RH dusuk&VV yukari guclu) THEN IP cok dusuk
- 65 - IF (T yuksek&CTT dusuk&RH dusuk&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 66 - IF (T yuksek&CTT dusuk&RH dusuk&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 67 - IF (T yuksek&CTT dusuk&RH orta&VV yukari guclu) THEN IP dusuk
- 68 - IF (T yuksek&CTT dusuk&RH orta&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 69 - IF (T yuksek&CTT dusuk&RH orta&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 70 - IF (T yuksek&CTT dusuk&RH uygun&VV yukari guclu) THEN IP orta
- 71 - IF (T yuksek&CTT dusuk&RH uygun&VV yukari zayif) THEN IP dusuk
- 72 - IF (T yuksek&CTT dusuk&RH uygun&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 73 - IF (T yuksek&CTT uygun&RH dusuk&VV yukari guclu) THEN IP dusuk
- 74 - IF (T yuksek&CTT uygun&RH dusuk&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 75 - IF (T yuksek&CTT uygun&RH dusuk&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 76 - IF (T yuksek&CTT uygun&RH orta&VV yukari guclu) THEN IP orta
- 77 - IF (T yuksek&CTT uygun&RH orta&VV yukari zayif) THEN IP dusuk
- 78 - IF (T yuksek&CTT uygun&RH orta&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- 79 - IF (T yuksek&CTT uygun&RH uygun&VV yukari guclu) THEN IP yuksek
- 80 - IF (T yuksek&CTT uygun&RH uygun&VV yukari zayif) THEN IP orta
- 81 - IF (T yuksek&CTT uygun&RH uygun&VV asagi) THEN IP cok dusuk
- IP: Buzlanma Olasılığı (Icing Probability)

4.2.3. Sistem çıktıları

Girdilere benzer olarak sistem çıktıları da üyelik fonksiyonları ile açıklanabilir. Şekil 4.10'da, buzlanma olasılığı çıktısı için alan fonksiyonları grafiği verilmiştir.



Şekil 4.10. Buzlanma olasılığı çıktısı bulanık kümeleri için alan fonksiyonları

4.2.4. Buzlanma potansiyeli tahmin algoritmasının örnekle gösterimi

Yukarıda temel olarak anlatılmış olan proses, bu bölümde bir örnek üzerinden gösterilmiştir. Örnekte kullanılan girdi değerleri aşağıdaki biçimdedir;

Sıcaklık (T) : (-12,45) °C

Bulut Tepe Sıcaklığı (CTT) : (-18,32) °C

Nispi Nem : %82,64

Dikey Hız (VV) : (-0,82)

Üyelik derecelerinin belirlenmesi

Birinci adım olarak, her sistem girdisi için, her bulanık kümedeki üyelik dereceleri belirlenir. Üyelik derecelerinin belirlenmesi için bulanık üyelik fonksiyon grafikleri kullanılır. Aşağıda bu hesaplamalar gösterilmiştir.

Sıcaklık (T) : (-12,45) °C sıcaklık değeri, $-25 < T \leq (-10)$ aralığına denk geldiğinden aşağıdaki fonksiyonlar kullanılarak ilgili üyelik dereceleri bulunur.

$$\begin{aligned} -25 < T \leq (-10) \quad T_d &= \frac{25 + T}{15} && \text{Uygun} \\ T_d &= \frac{-10 - (T)}{15} && \text{Düşük} \end{aligned}$$

$$T_d = \frac{25 + (-12,45)}{15} \approx 0,837 \quad \text{uygun}$$

$$T_d = \frac{-10 - (-12,45)}{15} \approx 0,163 \quad \text{düşük}$$

Bu sonuçlara göre; (-12,45) °C sıcaklık değeri %83,7 “uygun” kümesinin, %16,3 de “düşük” kümesinin elemanıdır.

Bulut Tepe Sıcaklığı (CTT) : (-18,32) °C sıcaklık değeri, $-20 < CTT \leq -12$ aralığına denk geldiğinden aşağıdaki fonksiyonlar kullanılarak ilgili üyelik dereceleri bulunur.

$$\begin{aligned} -20 < CTT \leq -12 \quad CTT_d &= \frac{-12 - CTT}{8} && \text{Düşük} \\ CTT_d &= \frac{20 + CTT}{8} && \text{Uygun} \end{aligned}$$

$$CTT_d = \frac{-12 + 18,32}{8} = 0,79 \quad \text{düşük}$$

$$CTT_d = \frac{20 - 18,32}{8} = 0,21 \quad \text{uygun}$$

Bu sonuçlara göre; (-18,32) °C bulut tepe sıcaklık değeri %79 “düşük” kümesinin, %21 de “uygun” kümesinin elemanıdır.

Nispi Nem (RH) : %82,64 nispi nem değeri, $80 < RH \leq 90$ aralığına denk geldiğinden aşağıdaki fonksiyonlar kullanılarak ilgili üyelik dereceleri bulunur.

$$\begin{array}{ll} 80 < RH \leq 90 & RH_d = \frac{90 - RH}{10} \quad \text{Orta} \\ & RH_d = \frac{RH - 80}{10} \quad \text{Uygun} \end{array}$$

$$RH_d = \frac{90 - 82,64}{10} = 0,736 \quad \text{orta}$$

$$RH_d = \frac{82,64 - 80}{10} = 0,264 \quad \text{uygun}$$

Bu sonuçlara göre; %82,64 nispi nem değeri %73,6 “orta” kümesinin, %26,4 de “uygun” kümesinin elemanıdır.

Dikey Hız (VV) : (-0,82) dikey hız değeri, $-1,0 < VV \leq -0,5$ aralığına denk geldiğinden aşağıdaki fonksiyonlar kullanılarak ilgili üyelik dereceleri bulunur.

$$\begin{array}{ll} -1,0 < VV \leq -0,5 & VV_d = \frac{-VV - 0,5}{0,5} \quad \text{Yukarı_güçlü} \\ & VV_d = \frac{1 + VV}{0,5} \quad \text{Yukarı_zayıf} \end{array}$$

$$VV_d = \frac{-(-0,82) - 0,5}{0,5} = 0,64 \quad \text{yukarı güçlü}$$

$$VV_d = \frac{1 - 0,82}{0,5} = 0,36 \quad \text{yukarı zayıf}$$

Bu sonuçlara göre; (-0,82) dikey hız değeri %64 “yukarı güçlü” kümesinin, %36 da “yukarı zayıf” kümesinin elemanıdır.

Bulanık mantık operatörlerinin uygulanması

Bu örnekte, 81 adet kuraldan 16 tanesi “0” olmayan değere sahiptir. Çünkü; sıcaklık, bulut tepe sıcaklığı, nispi nem ve dikey hız girdileri, 2’şer bulanık kümeye sahiptir. Bu durumda, değeri “0” olmayan kuralların sayısı $2 \times 2 \times 2 \times 2 = 16$ olur. Önceden tanımlanmış ilgili çıktı kümeleri için kabul edilebilir kurallar:

- 1 - IF (T dusuk&CTT dusuk&RH orta&VV yukari guclu) THEN IP dusuk
- 2 - IF (T dusuk&CTT dusuk&RH orta&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 3 - IF (T dusuk&CTT dusuk&RH uygun&VV yukari guclu) THEN IP orta
- 4 - IF (T dusuk&CTT dusuk&RH uygun&VV yukari zayif) THEN IP dusuk
- 5 - IF (T dusuk&CTT uygun&RH orta&VV yukari guclu) THEN IP dusuk
- 6 - IF (T dusuk&CTT uygun&RH orta&VV yukari zayif) THEN IP dusuk
- 7 - IF (T dusuk&CTT uygun&RH uygun&VV yukari guclu) THEN IP orta
- 8 - IF (T dusuk&CTT uygun&RH uygun&VV yukari zayif) THEN IP dusuk
- 9 - IF (T uygun&CTT dusuk&RH orta&VV yukari guclu) THEN IP dusuk
- 10- IF (T uygun&CTT dusuk&RH orta&VV yukari zayif) THEN IP cok dusuk
- 11 - IF (T uygun&CTT dusuk&RH uygun&VV yukari guclu) THEN IP orta
- 12 - IF (T uygun&CTT dusuk&RH uygun&VV yukari zayif) THEN IP orta
- 13 - IF (T uygun&CTT uygun&RH orta&VV yukari guclu) THEN IP yuksek
- 14 - IF (T uygun&CTT uygun&RH orta&VV yukari zayif) THEN IP orta
- 15 - IF (T uygun&CTT uygun&RH uygun&VV yukari guclu) THEN IP cok yuksek
- 16 - IF (T uygun&CTT uygun&RH uygun&VV yukari zayif) THEN IP yuksek

Bu kurallar seçildikten sonra, her kuralın kuvveti belirlenir. Bir kuralın kuvveti, onun en düşük veya en zayıf değeridir (minimum). Örneğin; birinci kuralda, $T_d = 0,163$, $CTT_d = 0,79$, $RH_d = 0,736$ ve $VV_d = 0,64$ ’tür. Bu kuralın kuvveti, bu değerlerin minimumu olan “0,163”tür. aynı biçimde, tüm kuralların kuvvetleri hesap edilerek, sonuç Çizelge 4.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 4.7. Örnek için değeri “0” olmayan bulanık kural kuvvetleri

Kural No	Td	CTTd	RHd	VVd	Kural Kuvveti (min)	IP (Buzlanma Olasılığı)
1	0,163	0,79	0,736	0,64	0,163	düşük
2	0,163	0,79	0,736	0,36	0,163	çok düşük
3	0,163	0,79	0,264	0,64	0,163	orta
4	0,163	0,79	0,264	0,36	0,163	düşük
5	0,163	0,21	0,736	0,64	0,163	düşük
6	0,163	0,21	0,736	0,36	0,163	düşük
7	0,163	0,21	0,264	0,64	0,163	orta
8	0,163	0,21	0,264	0,36	0,163	düşük
9	0,837	0,79	0,736	0,64	0,64	düşük
10	0,837	0,79	0,736	0,36	0,36	çok düşük
11	0,837	0,79	0,264	0,64	0,264	orta
12	0,837	0,79	0,264	0,36	0,264	orta
13	0,837	0,21	0,736	0,64	0,21	yüksek
14	0,837	0,21	0,736	0,36	0,21	orta
15	0,837	0,21	0,264	0,64	0,21	çok yüksek
16	0,837	0,21	0,264	0,36	0,21	yüksek

Çıktının üretilmesi

Bu adımda, kabul edilebilir kurallardan, buzlanma olasılığı şeklinde bir çıktı üretilir. Çizelge 7.7’de de görüleceği gibi, birçok kural kümesi aynı sonuç ya da sistem çıktısını paylaşabilir. Böyle durumlarda, çıktı değeri olarak “en gerçek” veya “en güçlü” (maksimum değerli) kural atanır. Çizelge 7.7’de verilmiş olan kural kuvvetlerinden aynı sonucu veren kuralların maksimum kuvvetlisi seçilerek aşağıda verilmiş olan Çizelge 7.8 oluşturulmuştur. Bu tabloda görülen değerler sistem çıktıları için kullanılacak sınır değerleri de ifade eder.

Çizelge 4.8. Örnek için çıktı bulanık kümesi sınır değerleri

Çok Düşük	Düşük	Orta	Yüksek	Çok Yüksek
0,36	0,64	0,264	0,21	0,21

Bu sınır değerler, Şekil 4.10'da verilmiş olan sistem çıktı grafiğinden alan hesaplaması için kullanılacaktır. Aşağıda, her sistem çıktısı için Çizelge 4.8'deki değerler kullanılarak hesaplanmış olan alan değerlerini gösteren çizelge verilmiştir.

Çizelge 4.9. Örnek için çıktı bulanık kümesi alan değerleri

Küme	Alan	Sentroid
Çok Düşük	$30x - 15x^2 = 8,856$	15
Düşük	$30x - 15x^2 = 13,056$	30
Orta	$40x - 15x^2 = 9,51456$	50
Yüksek	$30x - 15x^2 = 5,6385$	70
Çok Yüksek	$30x - 15x^2 = 5,6385$	85

Sistem çıktısı ise $\frac{\sum ((\text{sentroid})_i \times (\text{alan})_i)}{\sum (\text{alan})_i}$ formülü kullanılarak;

$$\frac{(8,856 \times 15) + (13,056 \times 30) + (9,51456 \times 50) + (5,6385 \times 70) + (5,6385 \times 85)}{(8,856 + 13,056 + 9,51456 + 5,6385 + 5,6385)}$$

$$= \frac{1874,2155}{42,7036}$$

$$= 43,889$$

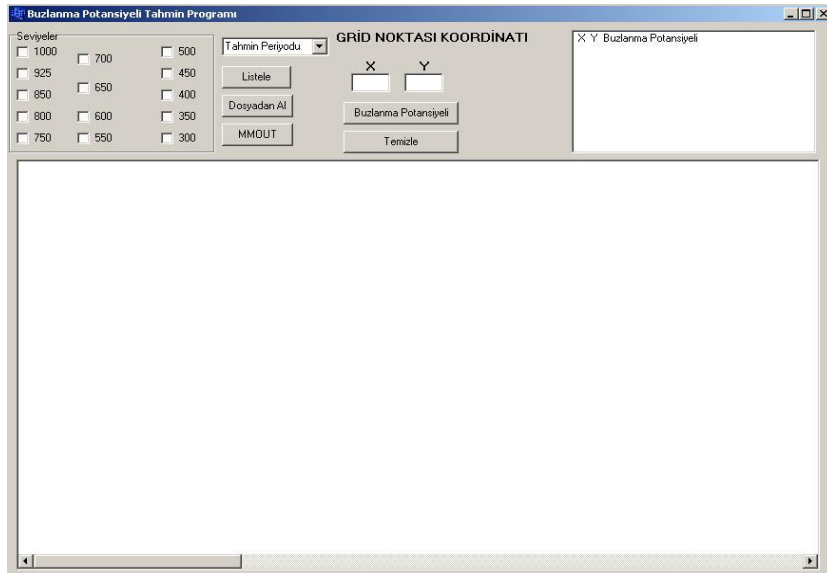
bulunur. Bu adımdaki durulaştırma işlemi sonucunda, sistem çıktısı olan buzlanma olasılığı %44 olarak hesaplanmıştır.

4.3. Programın Tanıtımı

MM5 sayısal hava tahmin modelinden alınan sıcaklık, bulut tepe sıcaklığı, nispi nem ve dikey hız bilgileri, C++ programlama dili kullanılarak kodlanmış olan programa girdi olarak verilerek, istenilen seviye ve istenilen zaman (24 saat sonrasına kadar) için Türkiye sınırları üzerindeki yatay ve dikeydeki 7 km aralıklı her nokta için buzlanma potansiyeli olasılığı hesaplanmakta ve hesaplanan olasılık değerleri her

seviye ve her saat için ayrı bir metin dosyasına (sistem çıktısı) kaydedilmektedir. Kaydedilen metin dosyaları, Linux işletim sistemi altında çalışan bir script ¹ aracılığı ile önce binary (ikili) forma çevrilmekte, yine Linux işletim sistemi altında çalışan bir harita çizim kütüphanesi kodu kullanılarak renkli buzlanma haritaları oluşturulmaktadır. Bu kod üzerinde, buzlanma haritası için olasılık alt sınırı ve çizim aralıkları manuel olarak girilebilmektedir.

Hazırlanan programın ilk açılış arayüz görünümü Şekil 4.11’de verilmiştir.



Şekil 4.11. Buzlanma potansiyeli tahmin programı arayüzü

Şekil 4.11’de görülen arayüz üzerinde, tüm Türkiye alanı için, buzlanma olasılığı hesaplanması istenen seviye ve tahmin periyodu seçilir. Seçim işlemi yapıldıktan sonra “MMOUT” düğmesi tıklanarak seçilmiş olan seviye ve periyoda ait buzlanma potansiyeli tahmin değerleri “C:\FuzzyOut” klasörünün altına “BuzlanmaP_Periyot.txt” ismiyle kaydedilir. Burada, “Periyot” seçilmiş olan

¹ Spesifik fonksiyonları veya farklı program kodlarını çalıştıran, derlenmeye ihtiyaç duymadan çalışan küçük komut kümeleridir.

zamanın atandığı bir değişkendir. Yani, periyot olarak T+6 seçilmiş ise, çıktı dosyasının ismi “BuzlanmaP_06.txt” olmaktadır.

Genel olarak meteoroloji uygulamalarında standart basınç seviyeleri kullanılmaktadır. Bu standart basınç seviyeleri; 1000, 925, 850, 700, 500, 300, 200 ve 100 mb seviyeleridir. Çalışmada hazırlanan programda buzlanma potansiyeli tahmin edilen basınç seviyeleri 1000, 925, 850, 800, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350 ve 300 mb’dır. 300mb seviyesinin üzerinde buzlanma olması mümkün olmadığından bu seviyenin üzeri dikkate alınmamıştır.

Hazırlanan programda tahmin geçerlilik zamanı “T+..” biçiminde ifade edilmektedir. Bu ifadede “T” sayısal tahmin modelinin çıktı verdiği başlangıç zamanını, “+”dan sonraki rakam ise tahminin ait olduğu zamanı ifade etmektedir. Örneğin; 00:00 başlangıç zamanında “T+12” ifadesi 12:00 UTC zamanının durumunu, “T+24” ise sonraki günün 00:00 UTC zamanının durumunu göstermektedir.

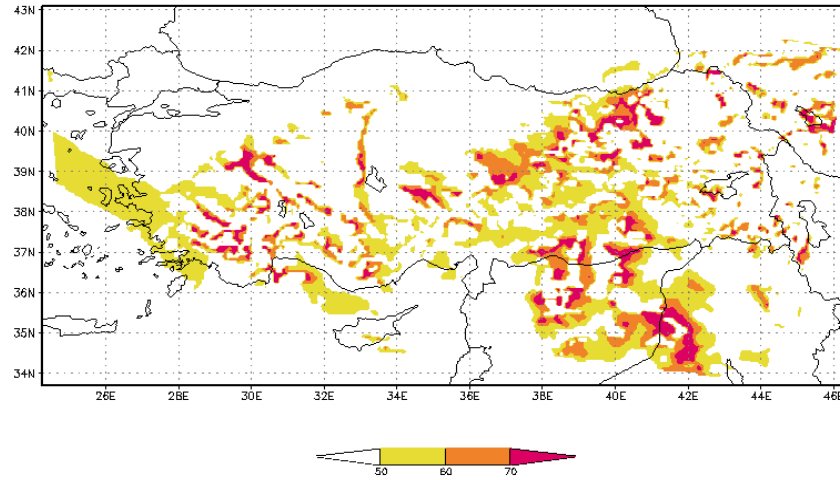
Arayüz üzerindeki “Dosyadan Al” düğmesi, elle giriş yapılan verilerden buzlanma potansiyeli olasılığı hesabı yapılmasını sağlamaktadır. Bu düğmenin kullanılması için, bilgi girişi “C:\fuzzy.txt” dosyasına yapılmalı, her girdi seti ayrı satıra ve “sıcaklık, bulut tepe sıcaklığı, nispi nem, dikey hız” sırasıyla yazılmalıdır. Çıktı “C:\buzlanmaP.txt” dosyasına kaydedilmektedir.

Arayüz üzerindeki “Listele” düğmesi seçilmiş olan seviye ve periyot bilgilerine ait buzlanma potansiyeli tahmin verilerinin ekranda görüntülenmesi için kullanılır.

Arayüz üzerinde bulunan “Grid Noktası Koordinatı” kısmındaki “X” ve “Y” alanlarına buzlanma potansiyeli tahmin değeri görüntülenmek istenen tek bir grid noktasının koordinatları girildikten sonra “Buzlanma Potansiyeli” düğmesine basılarak, girilmiş olan koordinatın buzlanma potansiyeli tahmin değeri sağ üst kısımdaki alanda görüntülenir.

oluşturulmuş olup bu haritalara ait görüntülerden bazıları Harita 4.1 – 4.4’de verilmiştir. Görüntülerde alt sınır olarak %50, çizim aralığı olarak da %10 kullanılmıştır.

Run: 20070327 0000GMT T+15 700 mb.

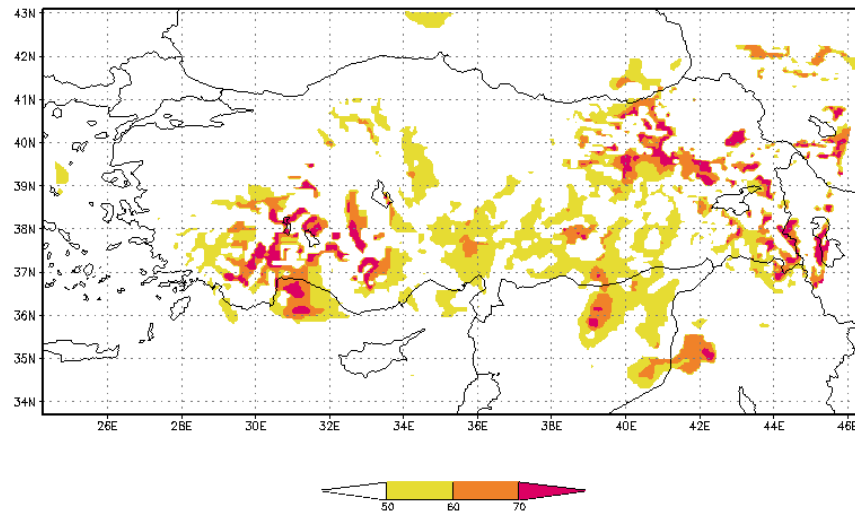


GrADS: COLA/IGES

2007-03-30-16:42

Harita 4.1. 27.03.2007 15:00 UTC 700mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

Run: 20070327 0000GMT T+18 700 mb.

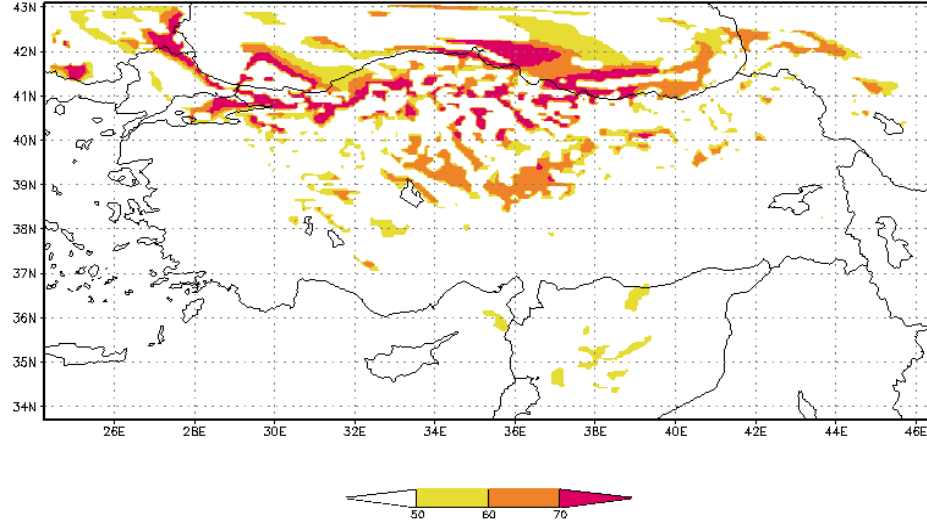


GrADS: COLA/IGES

2007-03-30-16:42

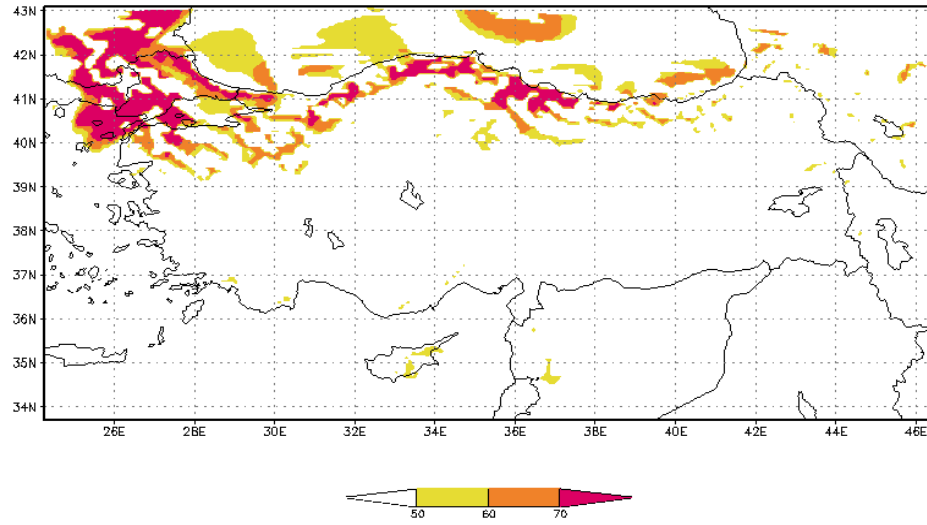
Harita 4.2. 27.03.2007 18:00 UTC 700mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

Run: 20070327 0000GMT T+6 850 mb.



Harita 4.3. 27.03.2007 06:00 UTC 850mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

Run: 20070327 0000GMT T+15 850 mb.



Harita 4.4. 27.03.2007 15:00 UTC 850mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

Haritalarda, buzlanma potansiyeli %70'in üzerinde olan bölgeler pembe; buzlanma potansiyeli %60 - %70 aralığında olan bölgeler turuncu; ve %50 - %60 aralığında olan bölgeler sarı renkle gösterilmiştir.

4.4. Çıktıların Karşılaştırılması

4.4.1. Mevcut durum ile karşılaştırma

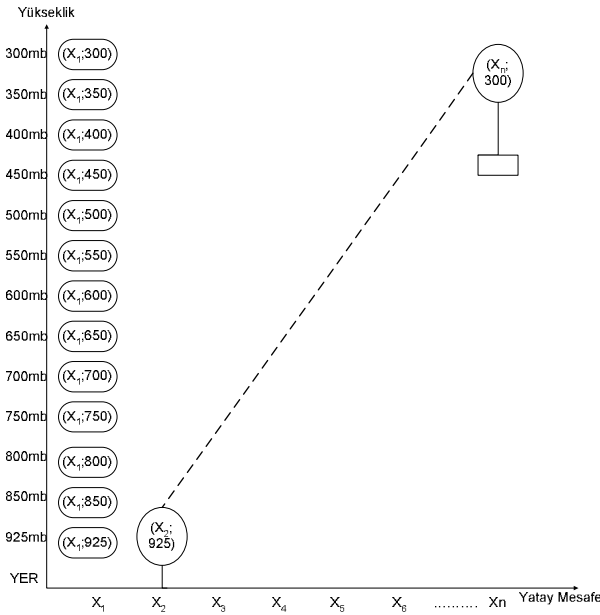
Mevcut durumda buzlanma potansiyelinin tespiti yüksek seviye gözlemleri ile yapılmaktadır. Bulanık mantık ile buzlanma potansiyeli tahmini oluşturan programın çıktıları, Türkiye'de 7 noktadan yapılan yüksek atmosfer gözlem sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Yüksek seviye atmosfer gözlem değerlerinden buzlanma seviyelerinin analiz edilmesi için RAOB adlı ticari bir yazılım kullanılmıştır. Aşağıda, 27.03.2007 tarihi 00:00 UTC ve 12:00 UTC saatleri ile, 28.03.2007 tarihi 00:00 UTC saatine ait ravinsonde gözlem sonuçlarına göre tespit edilmiş gerçek buzlanma seviyeleri ile, 27.03.2007 00:00 UTC'de üretilmiş olan 24 saatlik buzlanma potansiyel tahmin değerleri ayrı ayrı verilerek mukayese işlemi yapılmıştır.

Buzlanma potansiyeli tahmin yazılımı 7 km çözünürlüklü data ürettiğinden, elde edilen çıktı matrisinde, Türkiye'de ravinsonde gözlemi yapan 7 adet meteoroloji istasyonunun (Adana, Ankara, Diyarbakır, Isparta, İstanbul, İzmir ve Samsun) enlem ve boylam değerlerine yaklaşık olarak karşılık gelen grid noktaları tespit edilmiştir. Çizelge 4.10'da bu istasyonların enlem, boylam değerleri ile, bu değerlere en yakın mesafedeki grid noktaları verilmiştir.

Çizelge 4.10. Türkiye ravinsonde gözlem istasyonları

İstasyon	Enlem	Boylam	Grid X	Grid Y
Samsun	41.20N	36.15E	31	140
İstanbul	40.58N	29.05E	32	34
Ankara	39.57N	32.53E	56	96
İzmir	38.25N	27.10E	72	29
İsparta	37.45N	30.33E	88	68
Diyarbakır	37.55N	40.12E	86	189
Adana	37.03N	35.21E	96	128

Bu grid noktaları, istasyonun enlem ve boylam noktalarına en yakın olan konumu ifade etmekle birlikte, ravinsonde balonlarının yükseldikçe yatay yönde de hareket etmeleri nedeniyle, çoğu durumda bu grid noktaları tam olarak ravinsonde nokta gözlem değerlerinin lokasyonu ile örtüşmemektedir. Şekil 4.13’de bu durum gösterilmiştir. Bu nedenle, aşağıda yapılan karşılaştırmalarda, yukarıda verilmiş olan grid noktalarının çevresindeki grid noktalarının buzlanma olasılık değerleri de incelenmiştir. Ayrıca, daha kolay mukayese yapılabilmesi için, tahmin verilerinden oluşturulmuş örnek buzlanma haritaları da kullanılmıştır.



Şekil 4.13. Model çıktısı ile ravinsonde gözlemi dikey sondaj konum farklılığı

Buzlanma potansiyeli tahmin algoritmasında, durulaştırma işlemi sonucunda, minimum %15, maksimum ise %85 olasılık değeri çıktı olarak sunulmaktadır. Yani, aşağıdaki çizelgelerde, buzlanma potansiyeli tahmin değeri karşılığı olarak görülen “%15” olasılık değeri buzlanma beklenmediği anlamına gelmektedir. Aşağıda, 27.03.2007 tarihinde, 00:00 UTC saatinde çalışan MM5 sayısal hava tahmin modelinin üretmiş olduğu 24 saatlik veriye göre hesaplanmış olan buzlanma potansiyeli olasılık değerlerinden, Çizelge 4.10’daki ravinsonde istasyonlarının konumlarını ifade eden grid noktalarına karşılık gelenleri gösteren çizelge verilmiştir. Bu çizelgede 7 adet ravinsonde istasyonu sütun başlığı olarak, 14 adet seviye ile zaman bilgileri de satır başlığı olarak düzenlenmiştir. Yine bu çizelgede, günde 2 defa (00:00 ve 12:00 UTC saatlerinde) ravinsonde gözlemi yapıldığından, sadece bu saatlere ait olan buzlanma potansiyeli tahmin değerleri (% olasılık) verilmiştir.

Çizelge 4.11. 27.03.2007 00:00 UTC verilerine göre hesaplanmış buzlanma potansiyeli tahmin değerleri (%)

Seviye (mb)	Zaman	Adana	Ankara	Diyarbakır	İstanbul	Isparta	İzmir	Samsun
1000	T+0	29,41	15	38,06	38,03	15	15	15
	T+12	15	15	29,41	38,03	15	15	15
	T+24	38,09	46,60	29,51	46,52	38,03	15	46,71
925	T+0	15	15	38,06	15	15	29,41	15
	T+12	29,44	15	29,44	54,58	15	15	15
	T+24	15	46,60	20,03	63,24	38,03	15	54,72
850	T+0	15	15	15	15	15	15	75,02
	T+12	29,58	29,41	15	75,02	15	38,06	15
	T+24	15	63,24	29,42	38,29	15	20,05	15
800	T+0	15	15	15	15	15	15	75,02
	T+12	29,47	46,5	15	63,24	15	15	75,07
	T+24	15	15	15	41,2	15	15	75,02
750	T+0	15	15	15	41,21	15	15	66,95
	T+12	15	55,46	15	41,25	15	46,5	41,09
	T+24	15	15	15	15	46,5	15	15
700	T+0	15	15	15	15	15	15	63,24
	T+12	15	15	75,02	15	15	55,46	15
	T+24	55,47	65,12	15	15	15	15	15
650	T+0	15	15	15	15	15	15	54,58
	T+12	38,36	15	46,5	15	15	15	15
	T+24	15	54,60	38,29	20,08	15	41,25	15
600	T+0	15	15	15	15	15	15	46,52
	T+12	38,42	15	38,42	15	63,27	15	15
	T+24	15	15	33,54	15	15	38,36	38,36
550	T+0	15	15	15	15	15	15	38,39
	T+12	15	15	15	15	46,60	15	38,29
	T+24	15	15	15	15	15	38,32	38,36
500	T+0	15	15	15	15	15	15	15
	T+12	15	15	15	15	45,22	37,30	22,5
	T+24	15	15	15	15	38,36	38,32	15
450	T+0	15	15	15	15	15	15	15
	T+12	22,5	30	15	15	22,5	30	15
	T+24	15	15	15	21,59	22,5	22,5	15
400	T+0	15	15	15	15	15	15	22,5
	T+12	23,57	30	22,5	22,5	15	22,5	22,5
	T+24	15	15	15	15	22,5	22,5	30
350	T+0	15	15	15	15	15	15	22,5
	T+12	22,5	30	22,5	22,5	15	23,07	22,5
	T+24	22,5	15	15	15	22,5	15	22,5
300	T+0	15	15	15	15	15	15	22,5
	T+12	22,5	15	15	22,5	15	15	15
	T+24	22,42	15	22,5	22,5	22,5	15	15

Aşağıdaki tablolarda, “RAOB” sütununda Türkiye’deki 7 ravinsonde istasyonuna ait 27.03.2007 tarihi 00:00 ve 12:00 UTC saatleri ile 28.03.2007 tarihi 00:00 UTC saatine ait gerçek yüksek seviye atmosfer gözlem sonuçlarını gösteren RAOB program çıktıları kullanılmıştır. RAOB Programı çıktılarına göre, buzlanma seviyeleri ve buzlanma olasılıkları ile buzlanma potansiyeli tahmin programı tarafından 27.03.2007 00:00 UTC’de üretilen buzlanma potansiyeli tahmin değerleri aşağıdaki çizelgelerde bir arada verilmiştir;

Çizelge 4.12. Gerçekleşen ve tahmin edilen buzlanma olasılıkları – Adana

ADANA											
27.03.2007 00:00 UTC				27.03.2007 12:00 UTC				28.03.2007 00:00 UTC			
RAOB		FUZZY		RAOB		FUZZY		RAOB		FUZZY	
Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.
700mb	%93	700mb	%56	783mb	%22	800mb	%29,47	741mb	%22	750mb	%15
662mb	%68	650mb	%47	700mb	%13	700mb	%41	723mb	%52		
								706mb	%45	700mb	%55,47
								571mb	%9	550mb	%15
								538mb	%0		
								532mb	%4		
								500mb	%4	500mb	%15
								474mb	%6		
								443mb	%1	450mb	%15

27.03.2007 00:00 UTC saatindeki gerçek gözlem verisine göre, 700 mb seviyesinde %93 olasılıkla buzlanma olduğu RAOB programı tarafından analiz edilmiştir. Buzlanma Potansiyeli Tahmin Programı tarafından ise, aynı saatte, 700 mb seviyesinde buzlanma olmadığı görülmektedir. Ancak; 700 mb seviyesinde, (97,130) gridinin buzlanma olasılık değeri %55.46 olarak bulunmuştur. (97;130) grid noktası, Çizelge 4.10’da Adana için verilmiş olan grid noktasının 7 km güneyi ve 14 km doğusunu ifade etmektedir.

Aynı biçimde, T+0 zamanı için, 650 mb seviyesinde (94;126) grid noktasının buzlanma olasılık değeri %46,52 olarak hesaplanmıştır.

T+12 zamanı için (27.03.2007 12:00 UTC) 700 mb seviyesinde, (97;130) grid noktasının buzlanma olasılığı %41,21 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.13. Gerçekleşen ve tahmin edilen buzlanma olasılıkları – Ankara

ANKARA											
27.03.2007 00:00 UTC				27.03.2007 12:00 UTC				28.03.2007 00:00 UTC			
RAOB		FUZZY		RAOB		FUZZY		RAOB		FUZZY	
Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.
Yok	Yok	Yok	Yok	500mb	%3	800mb	%46,5	850mb	%54	850mb	%63,24
						750mb	%55,46	700mb	%84	700mb	%65,12
						450mb	%30	500mb	%6	500mb	%15
						400mb	%30				
						350mb	%30				

Ankara için, gerçek gözlem değerleri ve buzlanma potansiyeli tahmin algoritması neticesinde bulunmuş olan sonuçlarda uyumluluk olduğu görülmektedir. 27.03.2007 tarihinde gerçek gözlem verilerine göre, RAOB programı tarafından 500 mb seviyesinde çok düşük buzlanma verilmiş olup, buzlanma potansiyeli tahmin algoritması ile 800 ve 750 mb seviyelerinde orta, 450, 400 ve 350 mb seviyelerinde ise düşük buzlanma olasılıkları tespit edilmiştir.

Çizelge 4.14. Gerçekleşen ve tahmin edilen buzlanma olasılıkları – Diyarbakır

DİYARBAKIR											
27.03.2007 00:00 UTC				27.03.2007 12:00 UTC				28.03.2007 00:00 UTC			
RAOB		FUZZY		RAOB		FUZZY		RAOB		FUZZY	
Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.
754mb	%36	750mb	%15	653mb	%30	650mb	%38,42	700mb	%24	700mb	%42
700mb	%56	700mb	%63					641mb	%35	650mb	%38,29
687mb	%73							636mb	%24		
680mb	%26										
660mb	%36	650mb	%47								

27.03.2007 00:00 UTC saatindeki gerçek gözlem verisine göre, 700 mb seviyesinde %56 olasılıkla buzlanma olduğu RAOB programı tarafından analiz edilmiştir. Buzlanma Potansiyeli Tahmin Programı tarafından ise, aynı saatte, 700 mb seviyesinde buzlanma olmadığı görülmektedir. Ancak; 700 mb seviyesinde, (81;189) gridinin buzlanma olasılık değeri %63,24 olarak bulunmuştur. (81;189) grid noktası, Çizelge 4.10'da Diyarbakır için verilmiş olan grid noktasının 28 km kuzeyini ifade etmektedir.

Aynı biçimde, T+0 zamanı için, 650 mb seviyesinde (81;189) grid noktasının buzlanma olasılık değeri %46,55 olarak hesaplanmıştır.

T+12 zamanı için (27.03.2007 12:00 UTC) 700 mb seviyesinde, (89;189) grid noktasının buzlanma olasılığı %41,21 olarak hesaplanmıştır.

T+24 zamanı için (28.03.2007 00:00 UTC) 700 mb seviyesinde, (89;190) grid noktasının buzlanma olasılığı %41,58 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.15. Gerçekleşen ve tahmin edilen buzlanma olasılıkları – İstanbul

İSTANBUL											
27.03.2007 00:00 UTC				27.03.2007 12:00 UTC				28.03.2007 00:00 UTC			
RAOB		FUZZY		RAOB		FUZZY		RAOB		FUZZY	
Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.
925mb	%13	925mb	%38	889mb	%50	925mb	%54,58	925mb	%36	925mb	%63,24
888mb	%69			878mb	%54			923mb	%41		
851mb	%63			862mb	%14			850mb	%85	850mb	%38,29
850mb	%66	850mb	%38	850mb	%48	850mb	%75,02	845mb	%85		
840mb	%14			841mb	%86			836mb	%35	800mb	%41,2
790mb	%58	800mb	%41	831mb	%33	800mb	%63,24				
783mb	%1			723mb	%58	750mb	%41,25				
721mb	%1			715mb	%17	700mb	%15				
700mb	%1	700mb	%41,21								
670mb	%18	650mb	%38								
500mb	%4	500mb	%15								
492mb	%5										
487mb	%3										

27.03.2007 00:00 UTC saatindeki gerçek gözlem verisine göre, 925 mb seviyesinde %13, 888 mb seviyesinde %69 olasılıkla buzlanma olduğu RAOB programı tarafından analiz edilmiştir. Buzlanma Potansiyeli Tahmin Programı tarafından ise, aynı saatte, 925 mb seviyesinde buzlanma olmadığı görülmektedir. Ancak; 925 mb seviyesinde, (30,37) gridinin buzlanma olasılık değeri %38,03 olarak bulunmuştur. (30;37) grid noktası, Çizelge 4.10'da İstanbul için verilmiş olan grid noktasının 14 km kuzeyi ve 21 km doğusunu ifade etmektedir.

Aynı biçimde, T+0 zamanı için, 850 mb seviyesinde (30;34) grid noktasının buzlanma olasılık değeri %38,29 ve (30;37) grid noktasının 800 mb seviyesindeki buzlanma olasılık değeri de %41,21 olarak hesaplanmıştır. (30;34) grid noktasının 650 mb seviyesindeki buzlanma olasılık değeri ise %38,29'dur.

Çizelge 4.16. Gerçekleşen ve tahmin edilen buzlanma olasılıkları – Isparta

ISPARTA											
27.03.2007 00:00 UTC				27.03.2007 12:00 UTC				28.03.2007 00:00 UTC			
RAOB		FUZZY		RAOB		FUZZY		RAOB		FUZZY	
Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.
895mb	%98	925mb	%38	700mb	%79	700mb	%63	700mb	%92	700mb	%55
769mb	%61	750mb	%38	681mb	%85			694mb	%66		
720mb	%43	700mb	%38	675mb	%43	650mb	%63	688mb	%14		
400mb	%0	400mb	%15	672mb	%1						
				638mb	%1	600mb	%63,27				
				518mb	%1	550mb	%46,60				
				510mb	%1						
				501mb	%7						
				500mb	%7	500mb	%45,22				
				444mb	%0	450mb	%22,5				

27.03.2007 00:00 UTC saatindeki gerçek gözlem verisine göre, 895 mb seviyesinde %98, 769 mb seviyesinde %61, 720 mb seviyesinde %43 olasılıkla buzlanma olduğu RAOB programı tarafından analiz edilmiştir. Buzlanma Potansiyeli Tahmin Programı tarafından ise, aynı saatte buzlanma olmadığı görülmektedir. Ancak; 925, 800 ve 750 mb seviyelerinde, (88;71) gridinin buzlanma olasılık değerleri sırasıyla %38,09, %38,22 ve %38,32 olarak bulunmuştur. (88;71) grid noktası, Çizelge 4.10'da Isparta için verilmiş olan grid noktasının 21 km doğusunu ifade etmektedir.

T+12 zamanı için (27.03.2007 12:00 UTC) 700 mb seviyesinde, (88;69), (88;70), (88;71) grid noktalarının buzlanma olasılıkları sırasıyla %55,58, %62,67 ve %63,24 olarak hesaplanmıştır. Aynı zaman için, (88;69) grid noktası 650 mb seviyesi buzlanma olasılığı %63,25 olarak hesaplanmıştır.

T+24 zamanı için (28.03.2007 00:00 UTC) 700 mb seviyesinde, (88;65), (88;66), (88;67) grid noktalarının buzlanma olasılıkları sırasıyla %55,52, %50,87 ve %41,40 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.17. Gerçekleşen ve tahmin edilen buzlanma olasılıkları – İzmir

İZMİR											
27.03.2007 00:00 UTC				27.03.2007 12:00 UTC				28.03.2007 00:00 UTC			
RAOB		FUZZY		RAOB		FUZZY		RAOB		FUZZY	
Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.
500mb	%3	500mb	%15	713mb	%37	700mb	%55,46	Yok	Yok	650mb	%41,25
492mb	%5	450mb	%15	424mb	%0	450mb	%30			600mb	%38,36
416mb	%0	400mb	%15			400mb	%22,5			550mb	%38,32
										500mb	%38,32

İzmir için 27.03.2007 tarihi 00:00 ve 12:00 UTC saatlerine ait gözlem dataları ile buzlanma potansiyeli olasılık değerleri arasında uyumluluk olduğu görülmektedir. 28.03.2007 tarihi 00:00 saatinde ise RAOB program çıktısı buzlanma olmadığını göstermekte, buzlanma potansiyeli tahmin programı ise 650 mb ile 500 mb arasında düşük buzlanma olasılığını göstermektedir.

Çizelge 4.18. Gerçekleşen ve tahmin edilen buzlanma olasılıkları – Samsun

SAMSUN											
27.03.2007 00:00 UTC				27.03.2007 12:00 UTC				28.03.2007 00:00 UTC			
RAOB		FUZZY		RAOB		FUZZY		RAOB		FUZZY	
Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.	Seviye	Ols.
925mb	%30	925mb	%15	873mb	%97			925mb	%9	925mb	%54,72
895mb	%81			850mb	%99	850mb	%75,02	859mb	%24		
888mb	%85			778mb	%83	800mb	%75,07	850mb	%34	850mb	%55,47
850mb	%62	850mb	%75,02	763mb	%53	750mb	%41,09	847mb	%43		
744mb	%88	750mb	%66,95					785mb	%92	800mb	%75,02
735mb	%54							728mb	%20	750mb	%15
732mb	%29							549mb	%7	550mb	%38,36
700mb	%35	700mb	%63,24								
641mb	%24	650mb	%54,58								
637mb	%35										
634mb	%28	600mb	%46,52								

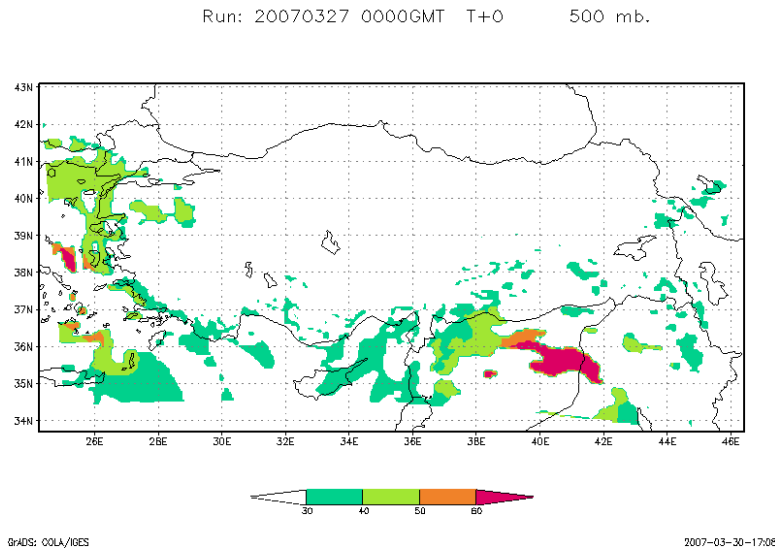
27.03.2007 12:00 UTC (T+12) saatindeki gerçek gözlem verisine göre, 850 mb seviyesinde %99 olasılıkla buzlanma olduğu RAOB programı tarafından analiz edilmiştir. Buzlanma Potansiyeli Tahmin Programı tarafından ise, aynı saatte buzlanma olmadığı görülmektedir. Ancak; 850 mb seviyesinde, (31;143) gridinin buzlanma olasılık değeri %75,02 olarak bulunmuştur. (31;143) grid noktası, Çizelge 4.10'da Samsun için verilmiş olan grid noktasının 14 km doğusunu ifade etmektedir.

T+24 zamanı için (27.03.2007 12:00 UTC) 850 mb seviyesinde, (31;143) grid noktasının buzlanma olasılığı %55,47 olarak hesaplanmıştır.

Ravinsonde gözlemleri ile atmosferde serbest bırakılan balon vasıtasıyla yapılan ölçümlerde, ölçümün lokasyonu, balon yükseldikçe değişmektedir. Ancak bu konum değişikliği yer alıcı istasyonunda dikkate alınmamakta, atmosferde yükseldikçe

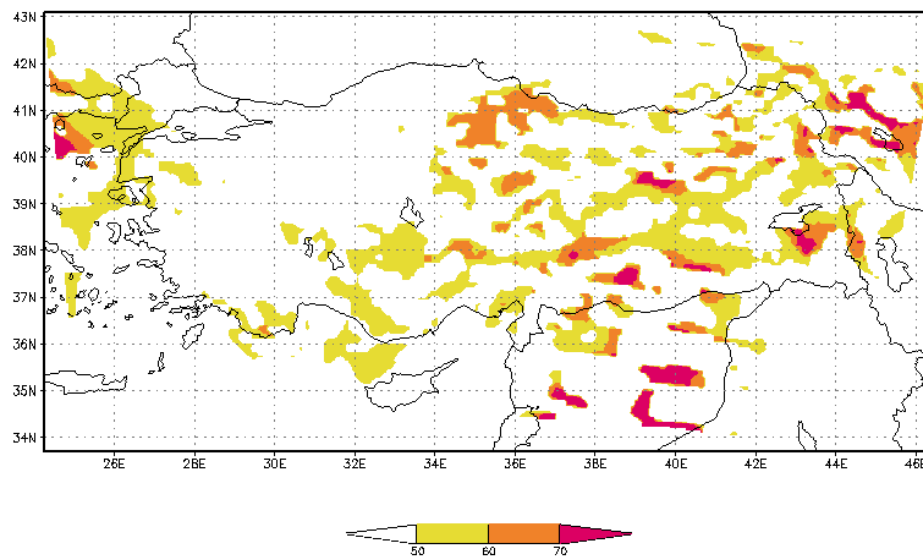
gönderilen bilgiler balonun gönderildiği noktanın gözlem verisi olarak değerlendirilmektedir. Bu nedenle, gözlem istasyonunun enlem ve boylam değerleri ile buna karşılık gelen grid noktaları arasında bazı durumlarda uyumsuzluk görülmektedir. Bu uyumsuzlukların derecesinin belirlenmesi mümkün olmamakla birlikte, istasyonun grid noktasına yakın grid noktalarının buzlanma verileri de dikkate alınarak karşılaştırma yapılmıştır. Yapılan bu karşılaştırmalar neticesinde, gerçek gözlem verilerine göre yüksek olasılıklı buzlanma alanlarında, 24 saatlik buzlanma tahmini yapan bulanık mantık temelli algoritmanın oldukça yaklaşık değerler verdiği görülmüştür. Harita gösteriminden daha kolaylıkla anlaşılacağı üzere, bu çalışmada, tek bir nokta yerine alansal olarak buzlanmanın incelenmesi ile, gerçek verilerle tutarlı sonuçlar alındığı tespit edilmiştir. Ayrıca, buzlanma olmayan alanlarda da buzlanma potansiyeli tahmin algoritması büyük oranda buzlanma olmadığı tahmininde bulunmuştur.

Aşağıda, yukarıda çizelge biçiminde verilmiş olan buzlanma tahmin değerlerini ifade eden, buzlanma için önemli olan 500, 700 ve 850 mb seviyelerine ait 27.03.2007 tarihli verilere göre oluşturulmuş T+0, T+12 ve T+24 periyotlu haritalara örnekler verilmiştir.



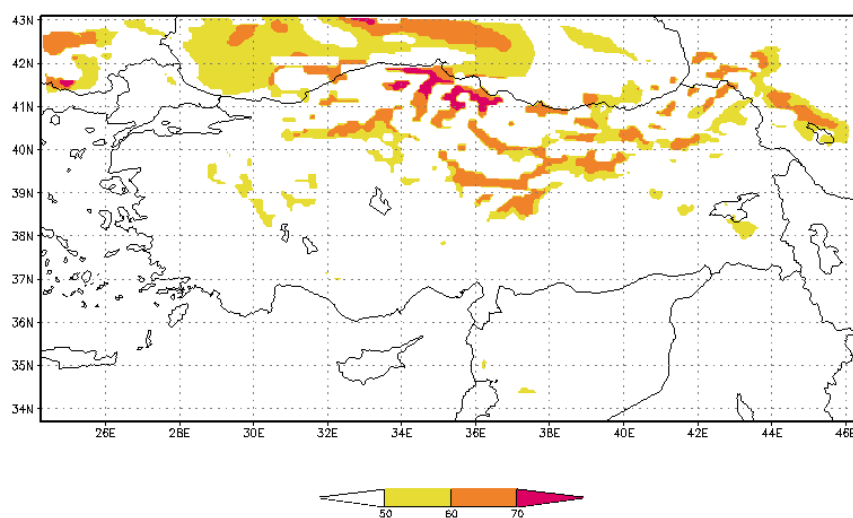
Harita 4.5. 27.03.2007 00:00 UTC 500mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

Run: 20070327 0000GMT T+0 700 mb.



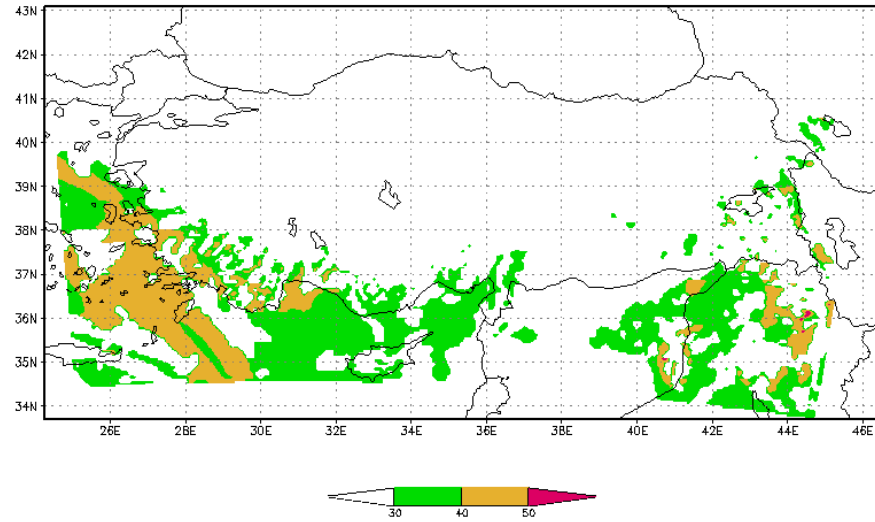
Harita 4.6. 27.03.2007 00:00 UTC 700mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

Run: 20070327 0000GMT T+0 850 mb.



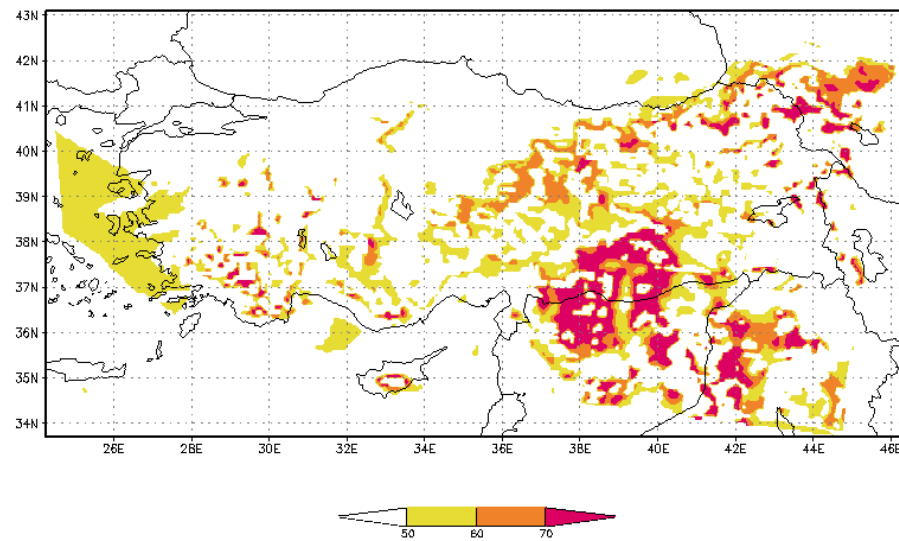
Harita 4.7. 27.03.2007 00:00 UTC 850mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

Run: 20070327 0000GMT T+12 500 mb.



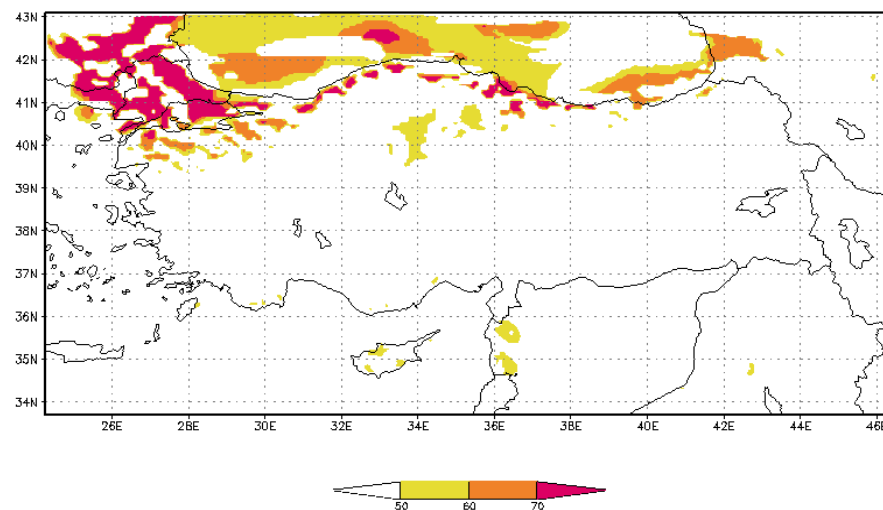
Harita 4.8. 27.03.2007 12:00 UTC 500mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

Run: 20070327 0000GMT T+12 700 mb.



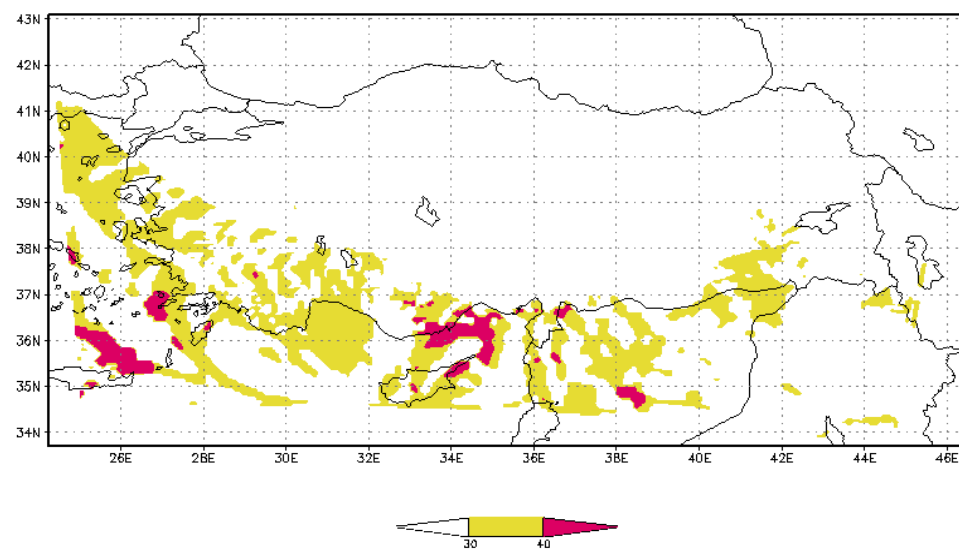
Harita 4.9. 27.03.2007 12:00 UTC 700mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

Run: 20070327 0000GMT T+12 850 mb.



Harita 4.10. 27.03.2007 12:00 UTC 850mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

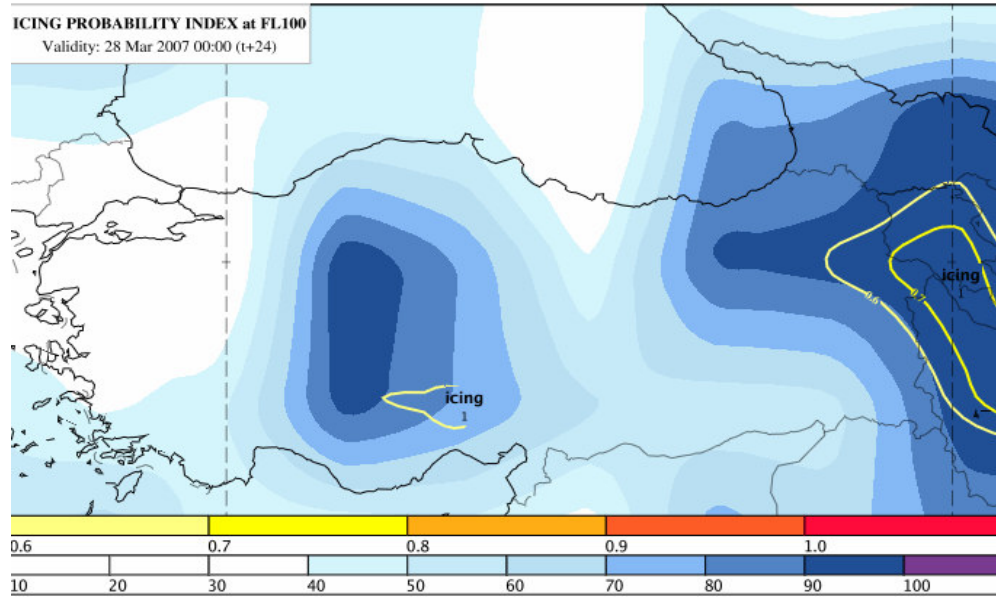
Run: 20070327 0000GMT T+24 500 mb.



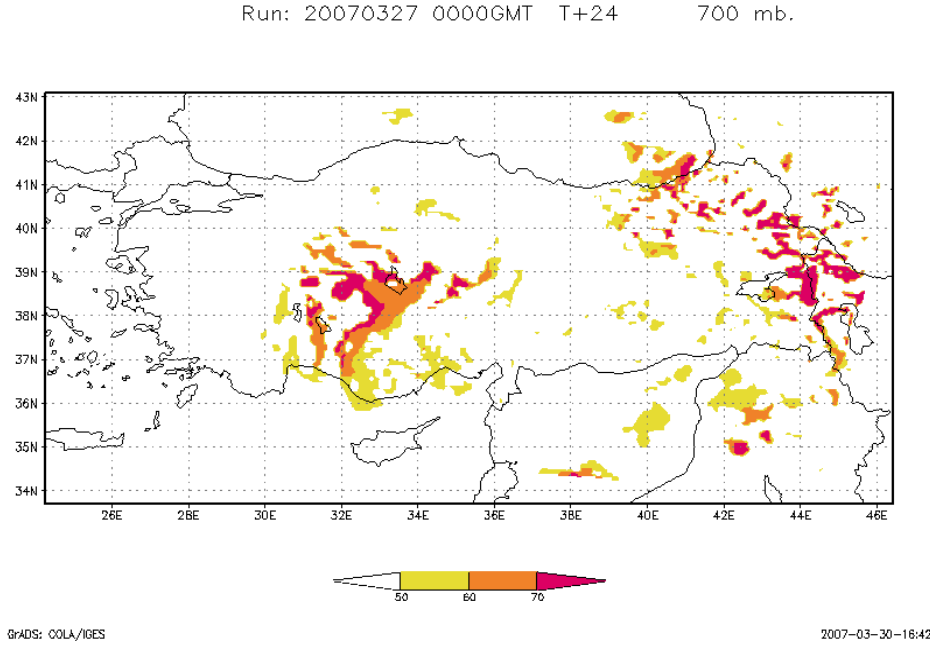
Harita 4.11. 28.03.2007 00:00 UTC 500mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

4.4.2. ECMWF ve İngiltere Meteoroloji Ofisi tahminleri ile karşılaştırma

Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi (ECMWF) ve İngiltere Meteoroloji Servisi tarafından, 25 km çözünürlüklü sayısal hava tahmin modeli çıktılarından, formülle hesaplanmış buzlanma olasılıkları değerlerine göre de haritalar oluşturulmaktadır. Aşağıda, bu tahmin haritaları ile, bu çalışmada hazırlanmış olan buzlanma potansiyeli tahmin verilerine göre oluşturulmuş haritalar birlikte verilmiştir.



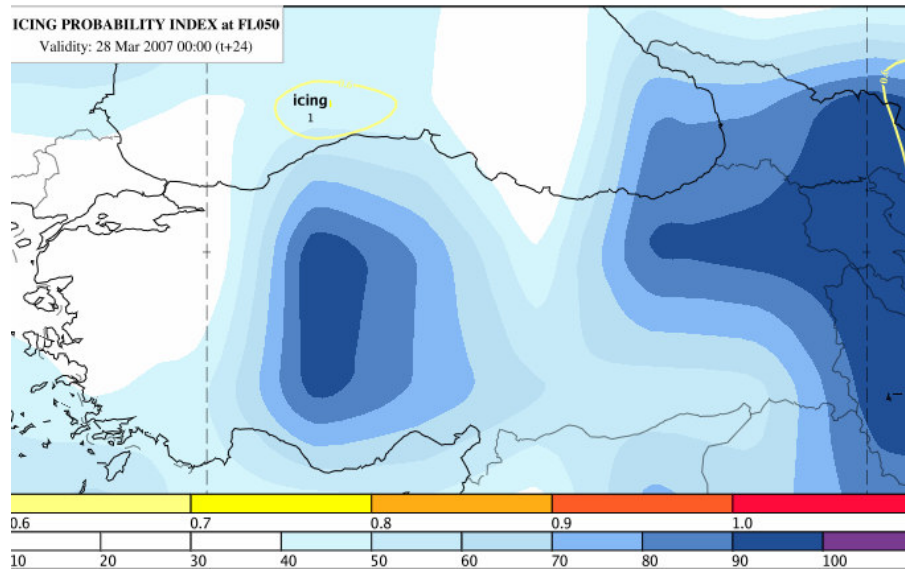
Harita 4.12. ECMWF verilerinden formülle oluşturulmuş 700 mb T+24 buzlanma ve nem tahmin haritası



Harita 4.13. 28.03.2007 00:00 UTC 700mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

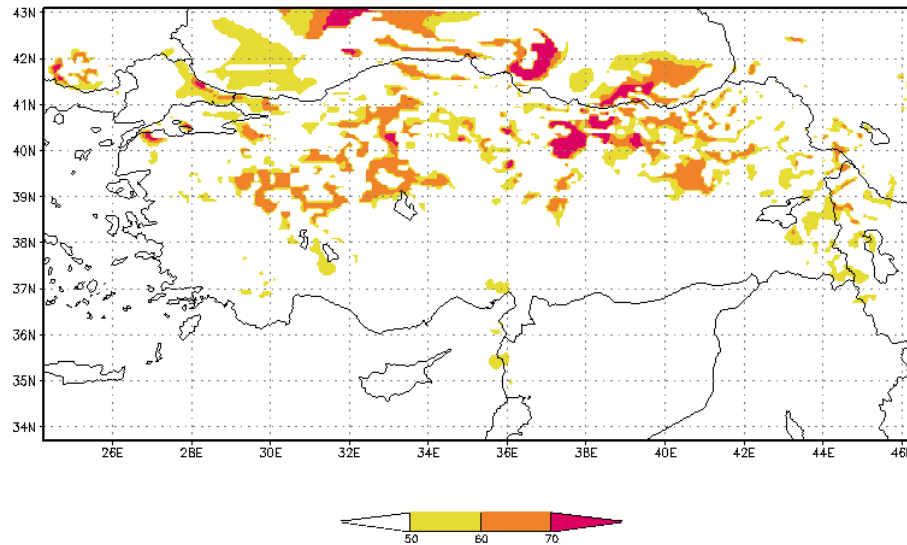
Yukarıdaki iki haritada, ECMWF ve Buzlanma Potansiyeli Tahmin algoritması buzlanma olasılık haritaları görülmektedir. Harita 4.12’de haritanın alt kısmında yer alan skalalardan üstte yer alan renkli skala buzlanma olasılığını (yüzde), alttaki renkli skala ise tahmin edilen nispi nem oranını göstermektedir. Buzlanma olasılığı skalasında, açık sarı renk %60 buzlanma olasılığını; koyu sarı %70 buzlanma olasılığını; açık turuncu %80 buzlanma olasılığını; koyu turuncu %90 buzlanma olasılığını ve kırmızı renk ise %100 buzlanma olasılığını ifade etmektedir. Ayrıca harita üzerinde, buzlanma alanını gösteren renkli eğrilerin arasında buzlanma olasılıkları da görülmektedir.

Doğu Anadolu Bölgesi’nin doğusunda, her iki haritada da aynı bölgede buzlanma tahmini yapılmıştır. Buzlanma olasılık haritasında İç Anadolu Bölgesinin ortasında görülen buzlanma alanı, ECMWF verilerine göre oluşturulmuş olan buzlanma haritasında İç Anadolu Bölgesi’nin güneydoğu bölümü ile kuzeydoğu Akdeniz bölgesinde görülmektedir.



Harita 4.14. ECMWF verilerinden formülle oluşturulmuş 850 mb T+24 buzlanma ve nem tahmin haritası

Run: 20070327 0000GMT T+24 850 mb.



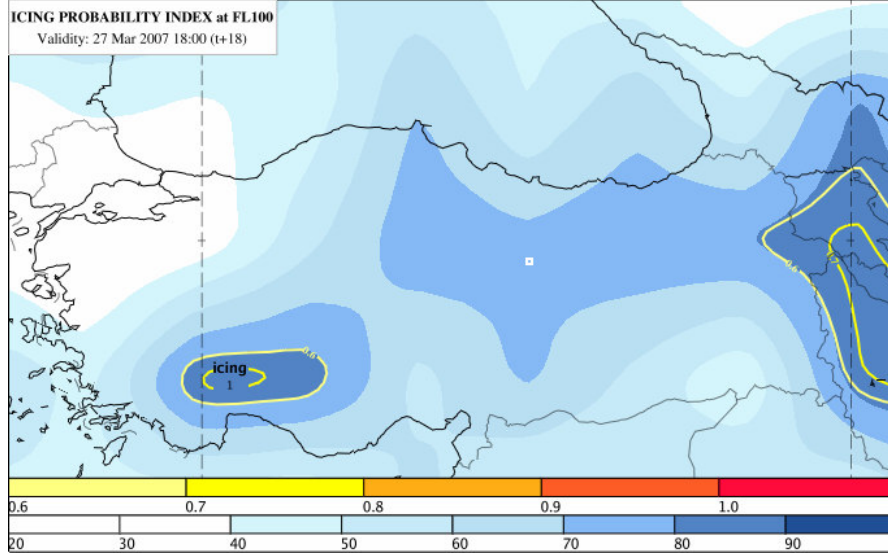
GrADS: COLA/IGES

2007-03-30-17:13

Harita 4.15. 28.03.2007 00:00 UTC 850mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

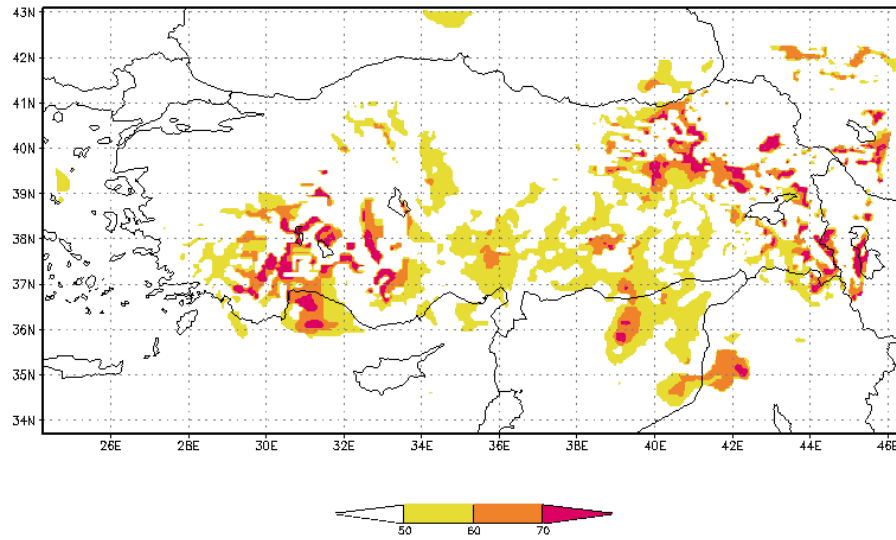
Yukarıdaki iki haritada ise Batı Karadeniz üzerinde her iki haritada da buzlanma tahmini yapılmış olmakla birlikte, Harita 4.14'de bir buzlanma tahmini

yapılmamasına karşın, Harita 4.15’de Doğu Karadeniz Bölgesinde buzlanma tahmini yapıldığı görülmektedir.



Harita 4.16. İngiltere Meteoroloji servisi verilerinden formülle oluşturulmuş 700 mb T+18 buzlanma ve nem tahmin haritası

Run: 20070327 0000GMT T+18 700 mb.

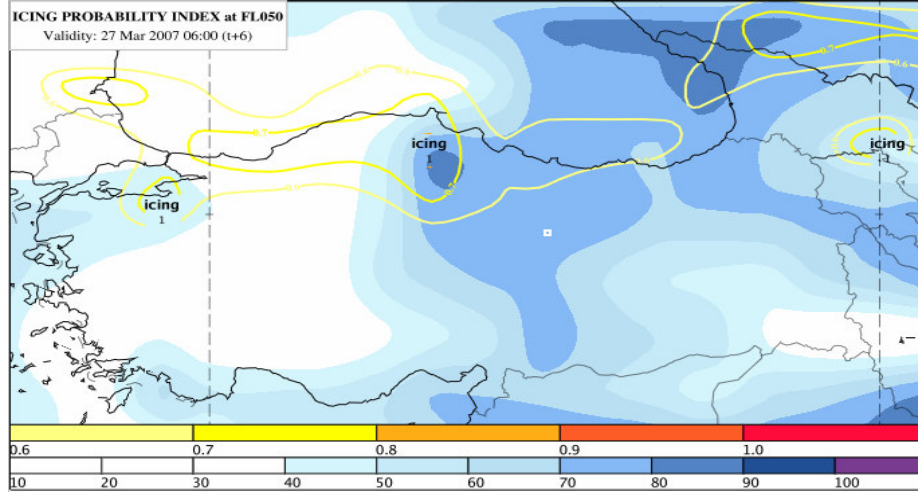


GRADS: COLA/IGES

2007-03-30-16:42

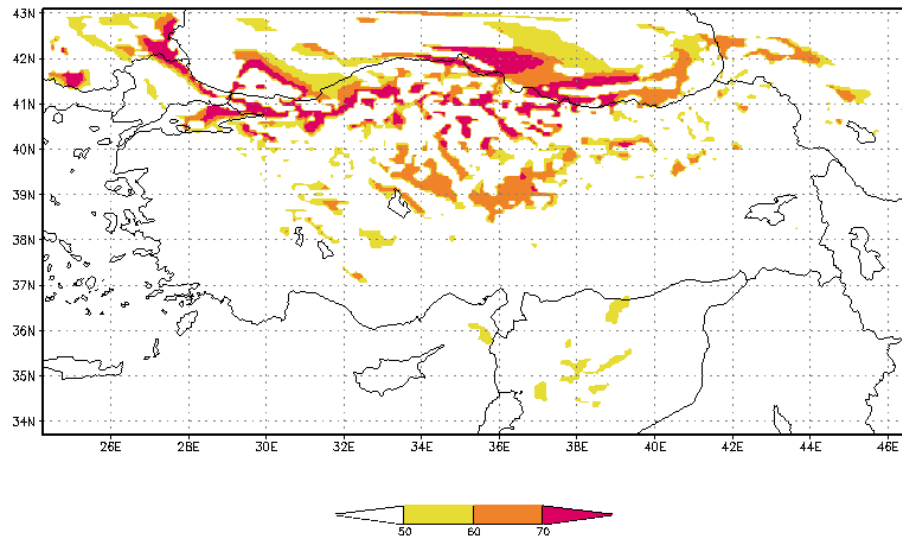
Harita 4.17. 27.03.2007 18:00 UTC 700mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

Aynı periyot ve aynı seviye için hazırlanmış olan Harita 4.16 ve Harita 4.17’de hemen hemen aynı bölgeler için buzlanma tahmini yapıldığı görülmektedir.



Harita 4.18. İngiltere Meteoroloji Servisi verilerinden formülle oluşturulmuş 850 mb T+6 buzlanma ve nem tahmin haritası

Run: 20070327 0000GMT T+6 850 mb.



GrADS: COLA/IGES

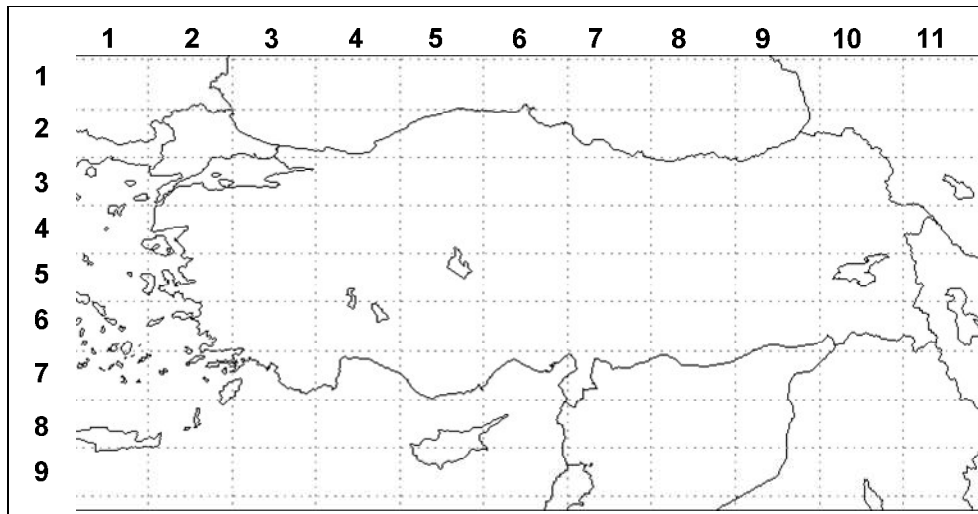
2007-03-30-17:13

Harita 4.19. 27.03.2007 06:00 UTC 850mb seviyesi buzlanma tahmin haritası

Aynı periyot ve aynı seviye için hazırlanmış olan Harita 4.18 ve Harita 4.19’da hemen hemen aynı bölgeler için buzlanma tahmini yapıldığı görülmektedir.

Yukarıda karşılaştırmaları yapılmış olan haritalardan, ECMWF ve İngiltere Meteoroloji Servisi tarafından üretilen sayısal hava tahmin modeli çıktılarını formülasyona tabi tutup buzlanma olasılığını hesaplayarak hazırlanmış olan haritalar, ticari bir meteorolojik uygulama yazılımı olan, Slovak IBL firması tarafından geliştirilmiş “AeroWeather” adlı yazım tarafından oluşturulmuştur. İki harita arasındaki gösterim farkı büyük oranda çözünürlükten ve hesaplama metodundan kaynaklanmaktadır. Karşılaştırma için hazır olarak alınmış bu haritalarda çözünürlük 25 km iken, buzlanma potansiyeli tahmin algoritmasının kullanmış olduğu data çözünürlüğü 7 km’dir.

Yukarıda haritaları verilen dört farklı örnek için karşılaştırma çizelgesi Çizelge 4.19’da verilmiştir. Karşılaştırmalarda kullanmak üzere, Türkiye alanının yatay ve dikey bölgelere ayrılarak numaralandırılmış olduğu harita, Harita 4.20’de verilmiştir.



Harita 4.20. Buzlanma tahmin karşılaştırması için bölgelere ayrılmış Türkiye haritası

Çizelge 4.19’da, tahmin edilen buzlanma olasılıkları %60’ın üzerinde olan noktalar, (x;y) olarak gösterilmiştir. Örneğin, Sinop üzerinde buzlanma beklenmişse, bu durum Çizelge 4.19’da ilgili alandaki (6;2) ifadesi ile gösterilmiştir.

Çizelge 4.19. ECMWF ve İngiltere Meteoroloji Servisi tahminleri ile karşılaştırma

Buzlanma Verisi Kaynağı	FL100 (700mb) T+24	FL050 (850mb) T+24	FL100 (700mb) T+18	FL050 (850mb) T+6
ECMWF	(5;6)	(5;1)		
İngiltere Met.			(6;3 - 5), (10;3)	(2;1), (2 - 9;2), (3 - 9;3)
Bulanık Mantık	(4;5), (5;5), (10;4)	(4;1), (5;1), (7;1), (7;2), (7;4)	(6;3 - 5), (7;4), (9;3-4), (10;3)	(2;1), (2 - 9;2), (3 - 9;3)

Çizelge 4.19’da yer alan konum bilgilerinde “-” aralık belirtmek için kullanılmıştır. Örneğin; (2 - 9;2) ifadesi (2;2)’den (9;2)’ye kadar olan yatay bölgeyi temsil etmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Günümüzde, havayolu ile ulaşım insanlık için vazgeçilmez bir hal almıştır. En hızlı ve en güvenli ulaşım olarak bilinen havayolu, mevcut avantajlarının yanı sıra, herhangi bir risk durumunda önemli ölçüde can ve mal kaybına neden olabilmesi gibi sakıncalar da taşımaktadır. Havacılık sektörü açısından, insan kontrolünde olmayan risk etkenlerinin başında buzlanma gelir. Buzlanma, uçaklarda irtifa kaybına, kontrolün yitirilmesine, cam yüzeyinde meydana gelmesi halinde inişin mümkün olamamasına ve bazı durumlarda uçağın düşmesine bile neden olabilir. Taşıdığı bu büyük tehlike nedeniyle, buzlanma tahmininin yapılması çok önemlidir.

Buzlanma ile ilgili olarak 2 tip veri kullanılmaktadır. Bunlardan ilki dünya üzerinde belirli noktalardan yapılan yüksek atmosfer gözlemleri (SkewT LogP diyagramları); diğeri belirli periyotlar için tahmin verisi üreten sayısal hava tahmin model çıktıları girdi olarak alan algoritmalar kullanarak oluşturulmuş olan buzlanma tahmin bilgileridir. Türkiye’de, buzlanma tespiti ve tahmini için, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü’nde SkewT LogP diyagramları kullanılmaktadır. Ancak kullanılan bu yöntem, Türkiye’de yalnızca 7 farklı şehirde, günde 2 defa yapılan atmosfer gözlem sonuçlarına dayanmaktadır. Bu yöntem, alansal olarak ve gelecek zamandaki buzlanma bilgisini gösterme konularında yetersiz kalmaktadır.

Bu çalışmada, tüm Türkiye alanını kapsayan, maksimum 24 saat sonrasına kadar istenilen saat, istenilen nokta ve istenilen seviye için buzlanma potansiyeli olasılığını tahmin eden C++ dilinde kodlanmış; MM5 sayısal hava tahmin model çıktıları girdi olarak kullanan program hazırlanmıştır.

Sistem girdisi olarak kullanılan MM5 sayısal hava tahmin modelinin çıktıları, günün belirli saatlerinde çalıştırılarak, rutin olarak çıktı vermektedir. Yapılan çalışmada, MM5 sayısal hava tahmin modelinin, atmosferin dikey profili için üretmiş olduğu parametrelerden sıcaklık, nem, dikey hız ve bulut tepe sıcaklığı parametreleri kullanılmıştır.

İlgili parametreler sisteme girdi olarak verildiğinde, sistem bu parametreleri işleyerek buzlanma ile ilgili “Buzlanma Potansiyeli” çıktısını, tüm Türkiye’yi kapsayan 7 km çözünürlüklü bir grid alanı için üretmektedir. Üretilen bu tahmin sonuçları, bir harita üzerinde gösterilmektedir. Yani sistem, tek bir nokta için değil, büyük bir grid alanı içerisindeki, belirli çözünürlükteki çok sayıda nokta için çıktı üretebilmektedir.

Buzlanma potansiyeli tahmin algoritmasının sonuçları, mevcut durumda kullanılan SkewT LogP diyagramları ve Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi ve İngiltere Meteoroloji Servisi tarafından üretilen sayısal hava tahmin modeli çıktılarından formülle hesaplanmış buzlanma olasılıkları ile karşılaştırılmıştır.

İfade edilen üç farklı metot ile, aynı tarih, zaman, yer (İstanbul, Samsun, Ankara) ve seviye için elde edilmiş olan çıktılar karşılaştırılmıştır. Sonuçta; gözlem yapılan saatlerde, İstanbul ve Samsun’da buzlanma tahmin edilmediği durumda buzlanma gerçekleşmediği, buzlanma tahmin edilen saatlerde ise Ankara, İstanbul ve Samsun’da buzlanmanın gerçekleştiği görülmüştür. Gözlem yapılmayan saatlerde ise karşılaştırma ECMWF ve İngiltere Meteoroloji Servisi’nin tahminleri kullanılarak yapılmıştır. Bu karşılaştırma sonucunda ise ECMWF tahminlerinde İstanbul, Ankara ve Samsun için buzlanma beklenmiyorken, buzlanma potansiyeli tahmin programının 850 mb seviyesinde buzlanma tahmininde bulunduğu görülmüştür. İngiltere Meteoroloji Servisi tahminleri ile buzlanma potansiyeli tahmin programının çıktıları ise hemen hemen örtüşmektedir. Bu karşılaştırma tablosu Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Hazırlanan program, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, Sayısal Hava Tahmin Şube Müdürlüğüne sunulmuş ve programın belirli bir deneme süresinden sonra operasyonel olarak kullanılabilir olduğu değerlendirilmiştir.

Çizelge 5.1. Üç farklı metot ile elde edilen buzlanma çıktısının karşılaştırması

Buzlanma Verisi Kaynağı	Konum	FL100 (700mb) T+24	FL050 (850mb)) T+24	FL100 (700mb) T+18	FL050 (850mb) T+6
Mevcut Durum	İstanbul	Yok	%85	Bu saatte gözlem yapılmıyor	Bu saatte gözlem yapılmıyor
	Samsun	%20	%34		
	Ankara	%84	%54		
ECMWF	İstanbul	Yok	Yok		
	Samsun	Yok	Yok		
	Ankara	Yok	Yok		
İngiltere Met.	İstanbul			Yok	%70
	Samsun			Yok	%70
	Ankara			%70	Yok
Bulanık Mantık	İstanbul	Yok	%38	Yok	%56
	Samsun	Yok	%55	Yok	%75
	Ankara	%65	%63	%70	%46,5

24 saate kadar, 7 km çözünürlüklü buzlanma potansiyeli tahminini üretmek için kullanılması önerilen programı konu alan bu çalışma sonucunda elde edilecek avantajlar aşağıdaki şekilde sıralanabilir;

- Halihazırda bulunmayan bir ürünün oluşturulmuş olması,
- Mevcut gözlem verilerinin temsil ettiği zaman, gözlem zamanıyla sınırlı olduğundan, gözlem zamanından sonraki uçuşlar için güncel bilgilerin sağlanma imkanı,
- Halihazırda, Türkiye üzerinde sadece 7 noktada yüksek atmosfer gözlemi yapılıyorken, buzlanma potansiyeli tahmin algoritmasının tüm Türkiye alanını kapsayan 7 km çözünürlüklü veri üretmesi,

- Çalışma yöntemi olarak seçilen bulanık küme teorisinin, ilerleyen zamanlarda bulanık kurallarda yapılacak değişikliklerle sürekli iyileştirilebilmesi imkanı sağlaması,
- Meteorolojik koşulları temsil etmekte yetersiz kalan doğrusal denklemler ve hesaplamalar sonucunda tespit edilen buzlanma bilgilerine alternatif olarak meteoroloji bilimine daha yatkın olan bulanık mantığın getirilmiş olması,
- İlerleyen süreçte, bu çalışmayı ve bahsedilen algoritmayı kullanarak daha farklı parametrelerin tahmin edilmesi ile ilgili çalışmaların yapılabilme imkanı.

Yüksek seviye atmosfer gözlemleri için Türkiye’de günde 14 adet ravinsonde balonu ve verici cihaz kullanılmaktadır. Bir adet balon ve vericinin yaklaşık maliyeti 300 \$ olup, bu cihazlar tek kullanımlıdır. Yani, günde $14 \times 300 = 4200\$$ tutarında bir maliyet söz konusudur. Türkiye’nin Dünya Meteoroloji Teşkilatı’na üyeliğinden doğan yükümlülükleri ve yüksek seviye atmosfer gözlemlerinin sayısal hava tahmin modeline girdi teşkil etmesi nedenleriyle bu maliyete katlanılmaktadır. Ancak yapılmış olan bu çalışma ile, tamamen iptal edilmese bile, gelecekte, ravinsonde gözlem sayısının günde bir defaya düşürülmesi mümkün olabilecektir.

Önerilen çalışmaya girdi olarak radar ve uydu datalarının ilave edilmesi ile, daha kısa zaman için (30 dakika) daha hassas ve daha tutarlı buzlanma tahmini yapılabileceği önerilebilir. Daha geniş zamanlı ve daha tutarlı tahminler yapabilmek için ise, atmosferde mevcut su buharı miktarı, aşırı soğumuş sıvı su içeriği gibi parametreler tahmin edilerek buzlanma algoritmasına girdi olarak ilave edilebilir. Ayrıca, radar verileri kullanılarak, atmosferde mevcut sıvı partiküllerin boyutu tespit edilip buzlanma şiddeti de çıktı olarak sunulabilir.

Farklı bir yaklaşımla, buzlanma potansiyeli tahmin algoritması adımları, gerekli girdi parametreleri belirlenip, bulut tahmini için kullanılabilir. Bulut tahmininden sonra, sadece bulut beklenen alanlarda ilave işlemler uygulanarak daha spesifik ve daha tutarlı buzlanma potansiyeli tahmin sonuçlarına erişilebilir.

KAYNAKLAR

- Battan, L. J., “Fundamentals of Meteorology”, **Prentice Hall**, New Jersey, 157 – 161 (1984).
- Bernstein, B.C., McDonough, F., Politovich, M.K., Brown, B.G., “Current Icing Potential: Algorithm Description and Comparison with Aircraft Observations”, **Journal of Applied Meteorology**, 44: 969-986 (2005).
- Carr III, L.E., Chu, J.-H., Jeffries, R.A., and Sampson, C.R., “Tropical Cyclone Forecasters Reference Guide”, **Naval Research Laboratory**, Monterey, 5(1): 169-189 (1995).
- Chen, F., and Dudhia, J., “Coupling an advanced land-surface/hydrology model with the Penn State/NCAR MM5 modeling system”, **Monthly Weather Review**, 129: 569-585 (2001).
- Cober, Stewart G., Isaac G.A., and Strapp J.W., “Characterizations of Aircraft Icing Environmens that Include Supercooled Large Drops”, **Journal of Applied Meteorology**, 40: 1984-2002 (2001).
- Cober, Stewart G., Isaac G.A., and Strapp, J.W., “Aircraft icing measurements in east coast winter storms”, **Journal of Applied Meteorology**, 34: 88-100 (1995).
- Çimen, N., Aytaç, H., Yağan Y., Yağan, S., “Ravinsonde ve Pilot Balon El Kitabı”, **DMİ Genel Müdürlüğü Matbaası**, Ankara, 1-10 (2007).
- Dubois, D., Lang, J., Prade, H., “Fuzzy Sets and Systems”, Fuzzy Sets in Approximate Reasoning, Part 2 : Logical Approaches, **Prentice Hall**, NJ, 203-244 (1991).
- Klir, G.J. ve Yuan, B., “Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications”, **Prentice Hall**, Upper Saddle River, NJ, 50-88 (1995).
- Klir G. J., Yuan, B., “Fuzzy sets, fuzzy logic, and fuzzy systems: selected papers by Lotfi A. Zadeh”, **World Scientific Publishing Co.**, River Edge, NJ, 433-448 (1996)
- Giarratano, J.C., and Riley, G., “Expert Systems: Principles and Programming”, **PWS-Kent Publishing**, Devon-UK, 664 (1993).
- Hertl, S., Schaffar, G., “An autonomous approach to road temperature prediction”, **Meteorological Applications**, Reading Berkshire, UK. 5(3): 227-238 (1998).
- Hess, S.L., “Introduction to Theoretical Meteorology”, **Krieger Publishing Co.**, Malabar, FL, 364 (1979).

Holton, J.R., “An Introduction to Dynamic Meteorology”, *Academic Press Inc.*, San Diego, CA, 362 – 367 (1995).

Johnson, P.E., “A History of Set Theory”, *Prindle, Weber & Schmidt Inc*, Boston, 102-104 (1972).

Korolev, A.V. and Isaac, G.A., “Phase transformation of mixed phase clouds”, *Quart. J. Roy Meteorological Society*, 129: 19-38 (2003).

Kulkarni, A.D., “Fuzzy Logic Fundamentals”, Computer Vision and Fuzzy Neural Systems 1st ed., *Prentice Hall*, New Jersey, 61-98 (2001).

Mass, C., and Kuo, Y.-H., “Regional real-time numerical weather prediction: Current status and future potential”, *Bulletin of American Meteorological Society*, 79: 253-263 (1998).

McDonough, F., Bernstein B.C., Politovich, M.K, and Wolff, C.A., “The forecast icing potential algorithm”, *20th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology Oceanography, and Hydrology*, American Meteorological Society, Seattle, 231-238 (2004).

Mendel, J.M., "Fuzzy logic systems for engineering: A tutorial", *Proc. IEEE*, 83: 345 – 377 (1995).

Politovich, M.K., Bernstein, B.C., and McDonough, F., “Issues in forecasting icing severity”, *10th AMS Conference on Aviation, Range and Aerospace Meteorology*, Portland, American Meteorological Society, 85-89 (2002).

Politovich, M.K., McDonough, F., and Bernstein, B.C., “The CIP Inflight Icing Severity Algorithm”, *11th Conference on Aviation, Range and Aerospace*, Hyannis, MA, P6.3 (2004).

Rauber, R. M., Olthoff, L.S., Ramamurthy, M.K., and Kunkel, K.E., “The relative importance of warm rain and melting process in freezing precipitation events”, *Journal of Applied Meteorology*, 39: 1185-1195 (2000).

Rogers, R.R., Yau, M.K., “A Short Course in Cloud Physics”, *Permagon Press*, Oxford, 29-32 (1989).

Sand W. R., Cooper, W. A., Politovich, M. K., and Veal, D.L., “Icing conditions encountered by a research aircraft”, *Journal of Climate Applied Meteorology*, 23: 1427–1440 (1984).

Schultz, P., and Politovich, M.K.: “Toward the improvement of aircraft icing forecasts for the continental United States”, *Weather Forecasting*, 7: 492–500 (1992).

Shuman, F. G., "History of Numerical Weather Prediction at the National Meteorological Center", *American Meteorological Society*, 4: 286-296 (1989).

Wolff, C.A., "Comparing rawinsonde and model soundings to improve aircraft icing forecasts", *20th International Conference on Interactive Information and Processing Systems (IIPS) for Meteorology Oceanography, and Hydrology*, American Meteorological Society, Seattle, 282-288 (2004).

Yager, R.R., and Zadeh, L. A., "An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems", *Kluwer Academic Publishers*, New Jersey, 297-335 (1991).

Zadeh, L. A., "Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility", *Fuzzy Sets and Systems*, *John Wiley & Sons Inc.*, NJ, 3-28 (1978).

Zimmermann, H.J., "Fuzzy Set Theory and It's Applications 2nd ed.", *Kluwer Academic Publishers*, Norwell, MA, 11-27 (1991)

EKLER

EK-1. Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

//C++ Header Dosyası

```

#ifndef fuzzy1H
#define fuzzy1H
#include <Classes.hpp>
#include <Controls.hpp>
#include <StdCtrls.hpp>
#include <Forms.hpp>

struct Girdiler
{
    float T;    //Sicaklik (Temperature)
    float CTT; //Bulut Tepe Sicakligi (Cloud Top Temperature)
    float RH;   //Nispi Nem (relative Humidity)
    float VV;   //Dikey Hiz (Vertical Velocity)
    float Td[3]; //T'nin uyelik derecesi
    float CTTd[3]; //CTT'nin uyelik derecesi
    float RHd[3]; //RH'in uyelik derecesi
    float VVd[3]; //VV'nin uyelik derecesi
    int TL[3];    //Td'nin linguistik ifadesi
                /* TL=1 DUSUK   TL=2 UYGUN   TL=3 YUKSEK */
    int CTTL[3];  //CTTd'nin linguistik ifadesi
                /* CTTL=1 COK DUSUK CTTL=2 DUSUK   CTTL=3 UYGUN */
    int RHL[3];   //RHd'nin linguistik ifadesi
                /* RHL=1 DUSUK   RHL=2 ORTA   RHL=3 UYGUN */
    int VVL[3];   //VVd'nin linguistik ifadesi
    /* VVL=1 YUKARI GUCLU VVL=2 YUKARI ZAYIF VVL=3 ASAGI */
    float mv[4][3]; //membership value
    int mvL[4][3];  //Girdi linguistik ifadeleri
    int inputSet[81][4]; //Kurallar için girdi seti, TL,CTTL,RHL,VVL degerlerinin 0
    olmayan degerleri
    float inputSetMV[81][4];
};

```

Girdiler input;

```

struct ciktilar {
    int buzlanmaP; //buzlanma probability
    int bPNonZero[16]; //
    float ruleKuvv[16];
    float ruleOutLim[5];
    float BuzlanmaOlasiligi;
};

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

ciktilar output;

```

class TForm1 : public TForm
{
__published: // IDE-managed Components
    TButton *Button1;
    TMemo *Memo1;
    TListBox *ListBox1;
    TButton *Button2;
    TButton *Button3;
    TButton *Button4;
    TButton *Button5;
    TButton *Button6;
    TGroupBox *GroupBox1;
    TCheckBox *CB1;
    TCheckBox *CB2;
    TCheckBox *CB3;
    TCheckBox *CB4;
    TCheckBox *CB5;
    TCheckBox *CB6;
    TCheckBox *CB7;
    TCheckBox *CB8;
    TCheckBox *CB9;
    TCheckBox *CB10;
    TCheckBox *CB11;
    TCheckBox *CB12;
    TCheckBox *CB13;
    TCheckBox *CB14;
    TCheckBox *CB15;
    void __fastcall Button1Click(TObject *Sender);
    void __fastcall Button2Click(TObject *Sender);
    void __fastcall Button3Click(TObject *Sender);
    void __fastcall Button4Click(TObject *Sender);
    void __fastcall Button5Click(TObject *Sender);
    void __fastcall Button6Click(TObject *Sender);
private: // User declarations
public: // User declarations
    __fastcall TForm1(TComponent* Owner);
    void fuzzification(float,float,float,float); //bulaniklastirma
    int rules(int,int,int,int); //fuzzy kuralları 3x3x3x3=81 tane kural
    void rulesNonZero();
    float ruleKuvvet(float,float,float,float); //kural kuvveti, kuralların MIN degeri
    float buzlanmaPotHes(float x1,float x2,float x3,float x4,float x5);
    void dosyaOku(AnsiString DosyaAdi);

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```
void dosyaOkuMMOUT(AnsiString DosyaAdi);
void dosyayaYaz(float icerik,int column, char FileN[]);  };

//-----
extern PACKAGE TForm1 *Form1;
//-----
#endif
```

C++ Kaynak Kodu

```
//-----
#include <vcl.h>
#pragma hdrstop
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <fstream.h>
#include <strstream.h>
#include "fuzzy1.h"
//-----
#pragma package(smart_init)
#pragma resource "*.dfm"
TForm1 *Form1;
int i=0;
int isaat=0;

//-----
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner)
: TForm(Owner)
{
}
//-----

/*****
/* 1. Adim : Bulaniklastirma, girdiler alinip uyelik dereceleri bulunuyor*/
*****/

void TForm1::fuzzification(float T, float CTT, float RH, float VV)
{

/* T Sicaklik degeri icin bulaniklastirma ve uyelik derecesi bulma*/
/*****
/* Td : T'nin uyelik derecesi    TL : T'nin Linguistik karsiligi */
```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

if (T<=-25)
{
    input.Td[0]=1;
    input.Td[1]=0;
    input.Td[2]=0;

    input.TL[0]=1;
    input.TL[1]=0;
    input.TL[2]=0;

    i++;
}
else if(T<-10 && T>-25)
{
    input.Td[0]=((-10)-T)/15;
    input.TL[0]=1;
    input.Td[1]=(25+T)/15;
    input.TL[1]=1;
    input.Td[2]=0;
    input.TL[2]=0;

    i++;
}
else if (T<=(-5) && T>=-10)
{
    input.Td[0]=0;
    input.TL[0]=0;
    input.Td[1]=1;
    input.TL[1]=1;
    input.Td[2]=0;
    input.TL[2]=0;
    i++;
}

else if (T>(-5) && T<0)
{
    input.Td[0]=0;
    input.TL[0]=0;
    input.Td[1]=-T/5;
    input.TL[1]=1;
    input.Td[2]=(5+T)/5;
    input.TL[2]=1;
    i++;
}

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

else
{
    input.Td[0]=0;
    input.TL[0]=0;
    input.Td[1]=0;
    input.TL[1]=0;
    input.Td[2]=1;
    input.TL[2]=1;
    i++;
}

/*****
/* CTT Bulut Tepe Sicaklik degeri icin bulaniklastirma ve uyelik derecesi bulma*/
*****/

if (CTT<=-50)
{
    input.CTTd[0]=1;
    input.CTTL[0]=1;
    input.CTTd[1]=0;
    input.CTTL[1]=0;
    input.CTTd[2]=0;
    input.CTTL[2]=0;
    i++;
}
else if(CTT<-35 && CTT>-50)
{
    input.CTTd[0]=((-CTT)-35)/15;
    input.CTTL[0]=1;
    input.CTTd[1]=(50+CTT)/15;
    input.CTTL[1]=1;
    input.CTTd[2]=0;
    input.CTTL[2]=0;
    i++;
}
else if (CTT>=(-35) && CTT<-20)
{
    input.CTTd[0]=0;
    input.CTTL[0]=0;
    input.CTTd[1]=1;
    input.CTTL[1]=1;
    input.CTTd[2]=0;
    input.CTTL[2]=0;
    i++; }

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

else if (CTT>=(-20) && CTT<=-12)
{
    input.CTTd[0]=0;
    input.CTTL[0]=0;
    input.CTTd[1]=((-12)-CTT)/8;
    input.CTTL[1]=1;
    input.CTTd[2]=(20+CTT)/8;
    input.CTTL[2]=1;
    i++;
}
else
{
    input.CTTd[0]=0;
    input.CTTL[0]=0;
    input.CTTd[1]=0;
    input.CTTL[1]=0;
    input.CTTd[2]=1;
    input.CTTL[2]=1;
    i++;
}

/*****
/* RH Nispi Nem degeri icin bulaniklastirma ve uyelik derecesi bulma*/
*****/

if (RH<=30)
{
    input.RHd[0]=1;
    input.RHL[0]=1;
    input.RHd[1]=0;
    input.RHL[1]=0;
    input.RHd[2]=0;
    input.RHL[2]=0;
    i++;
}
else if(RH>30 && RH<60)
{
    input.RHd[0]=(60-RH)/30;
    input.RHL[0]=1;
    input.RHd[1]=(RH-30)/30;
    input.RHL[1]=1;
    input.RHd[2]=0;
    input.RHL[2]=0;
    i++; }

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

else if (RH<80 && RH>=60)
{
    input.RHd[0]=0;
    input.RHL[0]=0;
    input.RHd[1]=1;
    input.RHL[1]=1;
    input.RHd[2]=0;
    input.RHL[2]=0;
    i++;
}

else if (RH>=80 && RH<90)
{
    input.RHd[0]=0;
    input.RHL[0]=0;
    input.RHd[1]=(90-RH)/10;
    input.RHL[1]=1;
    input.RHd[2]=(RH-80)/10;
    input.RHL[2]=1;
    i++;
}
else
{
    input.RHd[0]=0;
    input.RHL[0]=0;
    input.RHd[1]=0;
    input.RHL[1]=0;
    input.RHd[2]=1;
    input.RHL[2]=1;
    i++;
}

/*****
/* VV Dikey Hiz degeri icin bulaniklastirma ve uyelik derecesi bulma*/
*****/

if (VV<=-1.0)
{
    input.VVd[0]=1;
    input.VVL[0]=1;
    input.VVd[1]=0;
    input.VVL[1]=0;
    input.VVd[2]=0;
    input.VVL[2]=0;

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

        i++;
    }
    else if(VV>-1.0 && VV<=-0.5)
    {
        input.VVd[0]=(-VV-0.5)/0.5;
        input.VVL[0]=1;
        input.VVd[1]=(1.0+VV)/0.5;
        input.VVL[1]=1;
        input.VVd[2]=0;
        input.VVL[2]=0;
        i++;
    }

```

```

    else if(VV>-0.5 && VV<=0)
    {
        input.VVd[0]=0;
        input.VVL[0]=0;
        input.VVd[1]=1;
        input.VVL[1]=1;
        input.VVd[2]=0;
        input.VVL[2]=0;
        i++;
    }

```

```

    else if (VV<=1.0 && VV>0)
    {
        input.VVd[0]=0;
        input.VVL[0]=0;
        input.VVd[1]=0;
        input.VVL[1]=0;
        input.VVd[2]=VV;
        input.VVL[2]=1;
        i++;
    }

```

```

    else if (VV>1.0)
    {
        input.VVd[0]=0;
        input.VVL[0]=0;
        input.VVd[1]=0;
        input.VVL[1]=0;
        input.VVd[2]=1;
        input.VVL[2]=1;
        i++;    }

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

for (int x=0;x<3;x++)
{
    input.mv[0][x]=input.Td[x];
    input.mv[1][x]=input.CTTd[x];
    input.mv[2][x]=input.RHd[x];
    input.mv[3][x]=input.VVd[x];
}

for (int y=0;y<3;y++)
{
    input.mvL[0][y]=input.TL[y];
    input.mvL[1][y]=input.CTTL[y];
    input.mvL[2][y]=input.RHL[y];
    input.mvL[3][y]=input.VVL[y];
}
}

/*-----*/
/* 2. Adim : Kurallar olusturulup degeri "0" olmayan kurallardan cikti kumesi
bulunuyor*/
/*-----*/

int TForm1::rules(int tL,int cttL,int rhL,int vvL)
{
    /* 81 adet buzlanma olasigi kurali*/
    /*
    tL      : sicaklik Linguistik degeri
    cttL     : bulut tepe sicakligi Linguistik degeri
    rhL      : nispi nem Linguistik degeri
    vvL      : dikey hiz Linguistik degeri
    buzlanmaP : buzlanma olasilik Linguistik degeri
    */

    if(tL==1 && cttL==1 && rhL==1 && vvL==1)
    {
        output.buzlanmaP=1;
    }

    if (tL==1 && cttL==1 && rhL==1 && vvL==2)
    {
        output.buzlanmaP=1;
    }
    if (tL==1 && cttL==1 && rhL==1 && vvL==3)
    {

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==1 && cttL==1 && rhL==2 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==1 && cttL==1 && rhL==2 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==1 && cttL==1 && rhL==2 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==1 && cttL==1 && rhL==3 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==1 && cttL==1 && rhL==3 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==1 && cttL==1 && rhL==3 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==1 && cttL==2 && rhL==1 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==1 && cttL==2 && rhL==1 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==1 && cttL==2 && rhL==1 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==1 && cttL==2 && rhL==2 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==1 && cttL==2 && rhL==2 && vvL==2)
{

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==1 && cttL==2 && rhL==2 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==1 && cttL==2 && rhL==3 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=3;
}
if (tL==1 && cttL==2 && rhL==3 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==1 && cttL==2 && rhL==3 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==1 && cttL==3 && rhL==1 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==1 && cttL==3 && rhL==1 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==1 && cttL==3 && rhL==1 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==1 && cttL==3 && rhL==2 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==1 && cttL==3 && rhL==2 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==1 && cttL==3 && rhL==2 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==1 && cttL==3 && rhL==3 && vvL==1)
{

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

    output.buzlanmaP=3;
}
if (tL==1 && cttL==3 && rhL==3 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=3;
}
if (tL==1 && cttL==3 && rhL==3 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==1 && rhL==1 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==1 && rhL==1 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==1 && rhL==1 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==1 && rhL==2 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==2 && cttL==1 && rhL==2 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==1 && rhL==2 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==1 && rhL==3 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=3;
}
if (tL==2 && cttL==1 && rhL==3 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==2 && cttL==1 && rhL==3 && vvL==3)
{

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==2 && rhL==1 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==2 && rhL==1 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==2 && rhL==1 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==2 && rhL==2 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==2 && cttL==2 && rhL==2 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==2 && rhL==2 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==2 && rhL==3 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=3;
}
if (tL==2 && cttL==2 && rhL==3 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=3;
}
if (tL==2 && cttL==2 && rhL==3 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==3 && rhL==1 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==3 && rhL==1 && vvL==2)
{

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==3 && rhL==1 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==3 && rhL==2 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=4;
}
if (tL==2 && cttL==3 && rhL==2 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=3;
}
if (tL==2 && cttL==3 && rhL==2 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==2 && cttL==3 && rhL==3 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=5;
}
if (tL==2 && cttL==3 && rhL==3 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=4;
}
if (tL==2 && cttL==3 && rhL==3 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==1 && rhL==1 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==1 && rhL==1 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==1 && rhL==1 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==1 && rhL==2 && vvL==1)
{

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==3 && cttL==1 && rhL==2 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==1 && rhL==2 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==1 && rhL==3 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==3 && cttL==1 && rhL==3 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==1 && rhL==3 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==2 && rhL==1 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==2 && rhL==1 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==2 && rhL==1 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==2 && rhL==2 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==3 && cttL==2 && rhL==2 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==2 && rhL==2 && vvL==3)
{

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==2 && rhL==3 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=3;
}
if (tL==3 && cttL==2 && rhL==3 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==3 && cttL==2 && rhL==3 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==3 && rhL==1 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==3 && cttL==3 && rhL==1 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==3 && rhL==1 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==3 && rhL==2 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=3;
}
if (tL==3 && cttL==3 && rhL==2 && vvL==2)
{
    output.buzlanmaP=2;
}
if (tL==3 && cttL==3 && rhL==2 && vvL==3)
{
    output.buzlanmaP=1;
}
if (tL==3 && cttL==3 && rhL==3 && vvL==1)
{
    output.buzlanmaP=4;
}
if (tL==3 && cttL==3 && rhL==3 && vvL==2)
{

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

    output.buzlanmaP=3;
    }
    if (tL==3 && cttL==3 && rhL==3 && vvL==3)
    {
        output.buzlanmaP=1;
    }

    return output.buzlanmaP;

}

/*-.....*/
    /* 3. Adim : Degeri "0" olmayan kurallar matris formatinda hazirlaniyor*/
/*-.....*/

void TForm1::rulesNonZero()
{
    int idx=0;

    for (int y=0;y<3;y++)
    {
        if(input.mvL[0][y]==1)
        {
            input.TL[y]=y+1;
        }

        if(input.mvL[1][y]==1)
        {
            input.CTTL[y]=y+1;
        }

        if(input.mvL[2][y]==1)
        {
            input.RHL[y]=y+1;
        }

        if(input.mvL[3][y]==1)
        {
            input.VVL[y]=y+1;
        }
        idx++;
    }

    int a,b,c,d,x,y;

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

a=0; b=0; c=0; d=0; x=0; y=0;

while (1!=2)
{

if(y!=4)
{
input.inputSet[x][y]= input.TL[a];
input.inputSetMV[x][y]= input.Td[a];
y++;
input.inputSet[x][y]= input.CTTL[b];
input.inputSetMV[x][y]= input.CTTd[b];
y++;
input.inputSet[x][y]= input.RHL[c];
input.inputSetMV[x][y]= input.RHd[c];
y++;
input.inputSet[x][y]= input.VVL[d];
input.inputSetMV[x][y]= input.VVd[d];
y++;
x++;
d++;
if (d==3)
{
d=0;
c++;
if(c==3)
{
c=0;
b++;
if(b==3)
{
b=0;
a++;
if(a==3)
{
break;
} } } }
else
{ y=0; }
}

int id=0;
for (int q=0;q<81;q++)
{

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

        if(input.inputSet[q][0]!=0 && input.inputSet[q][1]!=0 &&
input.inputSet[q][2]!=0&& input.inputSet[q][3]!=0)
        {
            output.bPNonZero[id]=
rules(input.inputSet[q][0],input.inputSet[q][1],input.inputSet[q][2],input.inputSet[q][
3]);

output.ruleKuvv[id]=ruleKuvvet(input.inputSetMV[q][0],input.inputSetMV[q][1],in
put.inputSetMV[q][2],input.inputSetMV[q][3]);
            id++;
        }
    }

```

/* Kuralin Sinir Degeri - Ayni sonucu veren kural kuvvetlerinin MAXIMUMU*/

```

output.ruleOutLim[0]=0;
output.ruleOutLim[1]=0;
output.ruleOutLim[2]=0;
output.ruleOutLim[3]=0;
output.ruleOutLim[4]=0;

for (int e=0;e<id;e++)
{
    float tmp;

    switch (output.bPNonZero[e])
    {
        case 1: tmp= output.ruleKuvv[e];
            if (tmp>output.ruleOutLim[0])
            {
                output.ruleOutLim[0]=tmp;
            }
            break;
        case 2: tmp= output.ruleKuvv[e];
            if (tmp>output.ruleOutLim[1])
            {
                output.ruleOutLim[1]=tmp;
            }
            break;
        case 3: tmp= output.ruleKuvv[e];
            if (tmp>output.ruleOutLim[2])
            {
                output.ruleOutLim[2]=tmp;
            }
    }
}

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

        break;
    case 4: tmp= output.ruleKuvv[e];
        if (tmp>output.ruleOutLim[3])
        {
            output.ruleOutLim[3]=tmp;
        }
        break;
    case 5: tmp= output.ruleKuvv[e];
        if (tmp>output.ruleOutLim[4])
        {
            output.ruleOutLim[4]=tmp;
        }
        break;
};
}
}

/*-----*/
/* Degeri 0 olmayan kuralların kuvvetlerinin bulunması, Kural kuvveti: MIN değerli
kural*/
/*-----*/
float TForm1::ruleKuvvet(float tmv,float cttmv,float rhmv,float vvmv)
{
    float kuvvet; //bir kuralın kuvveti, onun minimum değeridir
                //Uyelik derecelerinden minimumu alınır, girdiler=Td,CTd,RHd,VVd
    kuvvet=tmv;
    if (kuvvet>cttmv)
    {
        kuvvet=cttmv;
    }
    if (kuvvet>rhmv)
    {
        kuvvet=rhmv;
    }
    if (kuvvet>vvmv)
    {
        kuvvet=vvmv;
    }

    return kuvvet;
}

/*Kural Kuvvetleri ile, Alan hesabi + Centroid metodu ile son çıktının üretimi*/

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

/* DURULASTIRMA*/
float TForm1::buzlanmaPotHes(float x1,float x2,float x3,float x4,float x5)
{
    float alan1, alan2, alan3,alan4,alan5;
    /*
        centroid1  = 15
        centroid2  = 30
        centroid3  = 50
        centroid4  = 70
        centroid5  = 85
    */
    alan1 = (30*x1)-(15*(x1)*(x1));
    alan2 = (30*x2)-(15*(x2)*(x2));
    alan3 = (40*x3)-(15*(x3)*(x3));
    alan4 = (30*x4)-(15*(x4)*(x4));
    alan5 = (30*x5)-(15*(x5)*(x5));

    output.BuzlanmaOlasiligi =
((alan1*15)+(alan2*30)+(alan3*50)+(alan4*70)+(alan5*85))/(alan1+alan2+alan3+alan4+alan5);
    return output.BuzlanmaOlasiligi;
}

/*****
/*Elle veri girişi yapılan dosya satır satır okunup girdiler işleme tabi tutuluyor*/
*****/

void TForm1::dosyaOku(AnsiString DosyaAdi)
{
    char line[80], cc[10];
    int i=0;
    ifstream in("C:\\fuzzy.txt");
    while (!in.fail() && !in.eof() )
    {
        line[0]=0;
        in.getline(line, sizeof(line));
        if (strlen(line)<3)
            break;
        istrstream ss(line);
        ss >> cc;
        input.T = atof(cc);
        ss >> cc;
    }
}

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

    input.CTT = atof(cc);
    ss >> cc;
    input.RH = atof(cc);
    ss >> cc;
    input.VV = atof(cc);
    i++;

    fuzzification(input.T,input.CTT,input.RH,input.VV);
    rulesNonZero();

    buzlanmaPotHes(output.ruleOutLim[0],output.ruleOutLim[1],output.ruleOutLim[2],
    output.ruleOutLim[3],output.ruleOutLim[4]);
    dosyayaYaz(output.BuzlanmaOlasiligi,1, "C:\\buzlanmaP.txt");
}
}

/*****
    /*MM5 cikti dosyalari satir satir okunup girdiler isleme tabi tutuluyor*/
*****/
void TForm1::dosyaOkuMMOUT(AnsiString DosyaAdi)
{
    char lineT[3000],lineCTT[3000],lineRH[3000],lineVV[3000], cc[10];
    int i=0;
    int len=0;
    char fileN[35];
    AnsiString dosyaAdi;
    char SourceFile[50];
    /*
    Seviyeler :
    1000, 925, 850, 800, 750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300 hPa
    */

    ifstream inT("C:\\data\\T_0300.txt");
    ifstream inRH("C:\\data\\RH_0300.txt");
    ifstream inVV("C:\\data\\W_0300.txt");
    ifstream inCTT("C:\\data\\CTT_total.txt");

    while ( !inT.fail() && !inT.eof()&& !inRH.fail() && !inRH.eof() &&
        !inVV.fail() && !inVV.eof() && !inCTT.fail() && !inCTT.eof())
    {
        if (isaat%135 == 0)
        {
            strcpy (fileN,"C:\\FuzzyOut\\BuzlanmaP_");

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

    char saat[2];

    if((isaat/135)<10)
    {
        strcat(fileN,"0");
        itoa((isaat/135),saat,10);
        strcat(fileN,saat);
    }

    else
    {
        itoa((isaat/135),saat,10);
        strcat(fileN,saat);
    }
    strcat(fileN,".txt");
}

lineT[0]=0;
lineRH[0]=0;
lineVV[0]=0;
lineCTT[0]=0;

inT.getline(lineT, sizeof(lineT));
inRH.getline(lineRH, sizeof(lineRH));
inVV.getline(lineVV, sizeof(lineVV));
inCTT.getline(lineCTT, sizeof(lineCTT));

if (inCTT.fail() || inCTT.eof()) break;

istrstream ssT(lineT);
istrstream ssRH(lineRH);
istrstream ssVV(lineVV);
istrstream ssCTT(lineCTT);

for (int a=0;a<258;a++)
{
    ssT >> cc;
    input.T = atof(cc)-(273.15);

    ssRH >> cc;
    input.RH = atof(cc);
    ssVV >> cc;
    input.VV = atof(cc);

```

EK-1. (Devam) Buzlanma potansiyeli tahmin programı kaynak kodu

```

    ssCTT >> cc;
    input.CTT = atof(cc);

    fuzzification(input.T,input.CTT,input.RH,input.VV);
    rulesNonZero();

    buzlanmaPotHes(output.ruleOutLim[0],output.ruleOutLim[1],output.ruleOutLim[2],
    output.ruleOutLim[3],output.ruleOutLim[4]);
    dosyayaYaz(output.BuzlanmaOlasiligi,a, fileN);
    }
    isaat++;
    } }
/*****
    /*Bulunan cikti matris formatinda bir metin dosyasina yazdiriliyor*/
/*****/
void TForm1::dosyayaYaz(float icerik, int column, char DosyaAdi[])
{
    char icePot[20];
    char sonuc[20];

    ofstream buzlanmaP;
    buzlanmaP.open(DosyaAdi,ios::inlios::applios::out);

    sprintf(sonuc,"%10.2f",icerik);
    strcpy(icePot,sonuc);

    if (column==257)
    {
        strcat(icePot,"\n");
    }
    else
    {
        strcat(icePot," ");
    }

    buzlanmaP.write(icePot,strlen(icePot));
    buzlanmaP.close();
}

void __fastcall TForm1::Button6Click(TObject *Sender)
{
    dosyaOkuMMOUT("");
}
//-----

```

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : KARAHAHAN, Çetin
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 05.05.1978 Kırşehir
 Medeni hali : Bekar
 Telefon : 0 (312) 302 26 00
 Faks : 0 (312) 360 25 51
 e-mail : ckarahan@meteor.gov.tr.

Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet tarihi
Yüksek lisans	Gazi Üniversitesi /Endüstri Müh. Bölümü	2007
Lisans	Gazi Üniversitesi/ Endüstri Müh. Bölümü	2000
Lise	Anadolu Meteoroloji Meslek Lisesi	1996

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2000-2007	Meteoroloji Genel Müdürlüğü	Mühendis

Yabancı Dil

İngilizce

Hobiler

Bilgisayar teknolojileri, basketbol, tiyatro