



T.C.
İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ-CERRAHPAŞA
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

**KALMAN FİLTRELEME YAKLAŞIMI KULLANILARAK
YAĞIŞÖLÇER VERİSİ İLE METEOROLOJİ RADARI
YAĞIŞ TAHMİNİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ**

Ali Kemal BAKIR

**DANIŞMAN
Doç. Dr. Pınar KIRCI**

Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı

Mühendislik Bilimleri Programı

İSTANBUL-2018

Bu çalışma, Tarih girmek için burayı tıkladın. tarihinde aşağıdaki jüri tarafından,
.....nda olarak kabul edilmiştir.

Tez Jürisi

Doç. Dr. Pınar KIRCI(Danışman)
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Tolga ENSARİ
İstanbul Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Dr. Öğr. Üyesi Uğur YILDIRAN
Yeditepe Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte

Unvan Adı SOYADI
Üniversite
Fakülte



20.04.2016 tarihli Resmi Gazete’de yayımlanan Lisansüstü Eğitim ve Öğretim Yönetmeliğinin 9/2 ve 22/2 maddeleri gereğince; Bu Lisansüstü teze, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa’nın aboneli olduğu intihal yazılım programı kullanılarak Lisansüstü Eğitim Enstitüsü’nün belirlemiş olduğu ölçütlere uygun rapor alınmıştır.

Bu tez, İstanbul Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yürütücü Sekreterliğinin numaralı projesi ile desteklenmiştir.

Bu tez, numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Tez çalışması süresince bilgilerini benimle paylaşan, değerli vakitlerini bana ayıran, destek ve katkılarını esirgemeyen, tecrübeleri ve bilgileriyle beni zenginleştiren danışman hocalarım sayın Doç. Dr. Pınar KIRCI'ya ve sayın Doç. Dr. Engin MAŞAZADE 'ye teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca her seferinde özveride bulunarak destek olan, eski çalışma arkadaşlarım Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden Dr. Kurtuluş ÖZTÜRK, Mustafa SERT, Erdem ERDİ, Selami YILDIRIM, Hanifi GÖKTAŞ, Kemal DOKUYUCU ve Hüseyin Gökhan AKDAĞ 'a da çok teşekkür ederim.

Bu çalışmayla, 1989 yılından beri çalıştığım Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde yürütülen araştırmalara akademik katkı sağlayabilmeyi hedefliyorum. Tez çalışmasında kullanılan her tür meteorolojik veriyi temin eden Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne teşekkürü bir borç bilirim.

Öğrenim süresi boyunca beni destekleyen, tezin düzenlenmesi aşamasında yardımcı olan ve manevi desteğini hiç esirgemeyen eşim Saliha A. BAKIR 'a da sonsuz teşekkürler.

Aralık 2018

Ali Kemal BAKIR

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

ÖNSÖZ	iv
İÇİNDEKİLER.....	v
ŞEKİL LİSTESİ	viii
TABLO LİSTESİ.....	x
SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ.....	xii
ÖZET	xiv
SUMMARY	xvi
1. GİRİŞ	1
2. GENEL KISIMLAR	6
2.1. METEOROLOJİ RADARI.....	6
2.1.1. Elektromanyetik Dalga Spektrumu ve Radar Çeşitleri	7
2.1.1.1. Faz.....	9
2.1.1.2. Polarizasyon.....	10
2.1.2. Elektromanyetik Dalga Hareketleri	10
2.1.2.1 Yansıma (Reflection).....	10
2.1.2.2 Kırılma (Refraction)	11
2.1.2.3 Kırınım (Differaction)	12
2.1.2.4 Saçılma (Scattering)	12
2.1.3. Radar Donanımı.....	13
2.1.4. Doppler Radarlar ve Radyal Hız	17
2.1.5. Radar Denklemi	17
2.2. REFLEKTİVİTE FAKTÖRÜ (Z).....	19
2.3. RADAR VERİSİNDEKİ SAPMALAR	20
2.3.1. Z-R Bağıntısından Kaynaklı Sapma	20
2.3.2. Işın Engellemesi (Beam Blockage)	21
2.3.3. Yerkürenin Şekli (Earth curvative).....	21
2.3.4. Yağışın Düşey Dağılım Profili	21
2.3.5. Soğurma (Attenuation)	21
2.3.6. Elektromanyetik Girişim	22
2.3.7. Zemin Dağınıklığı (Ground Clutter).....	22

2.3.8.	Anormal Yayılım (Anomalous Propagation)	23
2.3.9.	Menzil Belirsizliği (Range Ambiguity).....	23
2.3.10.	Parlak Bant Etkisi (Bright Band Effect).....	23
2.3.11.	Radar Denkleminden Kaynaklı Sapma.....	24
2.3.12.	Radar Donanımından Kaynaklı Sapma	24
2.4.	YAĞIŞ MİKTAR TAHMİNİ	25
2.4.1.	Yağış ve Reflektivite İlişkisi	25
2.4.2.	Yağış Tahmini ve Z-R Bağıntısı.....	26
2.5.	OTOMATİK METEOROLOJİ GÖZLEM İSTASYONU (OMGİ).....	28
2.6.	YAĞIŞÖLÇER (RAIN GAUGE).....	29
2.7.	RADAR ÜRÜNLERİ	31
2.7.1	PPI (Plan Position Indicator)	31
2.7.2	RHI (Range Height Indicator).....	32
2.7.3	CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator)	32
3.	MALZEME VE YÖNTEM.....	33
3.1.	STRATIFORM VE KONVEKTİF YAĞIŞLAR	33
3.2.	ÇALIŞILAN PERİYODUN METEOROLOJİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ.....	34
3.3.	CAPPI RADAR VERİSİ VE OMGİ KONUMLARININ BULUNMASI	38
3.4.	RADAR KAPSAMA ALANI İÇİNDEKİ OMGİ'LER VE SAATLİK YAĞIŞ TOPLAMLARI	42
3.5.	CAPPI RADAR VERİSİ DÜZELTMELERİ	44
3.6.	SAATLİK RADAR YAĞIŞ VERİLERİNİN HAZIRLANMASI.....	47
3.7.	KALMAN FİLTRESİ	49
3.7.1.	Çok Değişkenli En Küçük Kareler Yöntemi (Multivariate Least Square Method).....	49
3.7.2.	Kalman Filtre Modeli	50
3.7.3.	Kalman Filtresi Süreç ve Ölçüm Modellerinin Kestirimi	51
3.7.4.	Kalman Filtresinin Çalıştırılması	53
4.	BULGULAR.....	55
4.1.	ORTALAMA KARESEL HATA	55
4.2.	ARAŞTIRMA BULGULARI	55
5.	TARTIŞMA VE SONUÇ	61
KAYNAKLAR	66
EKLER	70

EK 1. OMGİ KONUMLARINA DENK GELEN CAPPI RADAR PİKSELİ COĞRAFI KOORDİNATLARI	70
EK 1.1. Şişli, Ümraniye, Sancaktepe, Kadıköy, Darıca, Florya Üsküdar Konumlarına Denk Gelen CAPPI Radar Pikseli Coğrafi Koordinatları	70
EK 1.2. Kartal, Tuzla, Büyükçekmece, Vefa, Sarıyer, Davutpaşa, Eyüp Konumlarına Denk Gelen CAPPI Radar Pikseli Coğrafi Koordinatları	71
EK 2. KALMAN FİLTRESİ TAHMİN MODELİ İLE ZR1 VE ZR2 BAĞINTILARI YAĞIŞ TAHMİNLERİNİN GERÇEKLEŞEN OMGİ YAĞIŞ MİKTARLARIYLA KARŞILAŞTIRMA GRAFİKLERİ	72
EK 2.1. Şişli Karşılaştırma Grafikleri	72
EK 2.2. Kadıköy Karşılaştırma Grafikleri.....	73
EK 2.3. Ümraniye Karşılaştırma Grafikleri	74
EK 2.4. Sancaktepe Karşılaştırma Grafikleri	75
EK 2.5. Darıca Karşılaştırma Grafikleri.....	76
EK 2.6. Florya, Üsküdar Karşılaştırma Grafikleri	77
EK 2.7. Samandıra, Kartal Karşılaştırma Grafikleri	78
EK 2.8. Tuzla Karşılaştırma Grafikleri	79
EK 2.9. Sarıyer, Büyükçekmece, Vefa, Davutpaşa, Eyüp Karşılaştırma Grafikleri	80
EK 3. CAPPI ÜRÜN DOSYASI BAŞLIK(HEADER) BİLGİLERİ.....	81
EK 4. RAVINSONDE YÜKSEK ATMOSFER GÖZLEMİ TEMP DİYAGRAMLARI	85
EK 5. İSTANBUL ÇATALCA RADARINA GÖRE KAPSAMA ALANINDAKİ OMGİLER İÇİN KISMİ IŞIN ENGELLEME ve GÖRÜNÜRLÜK ANALİZİ DİYAGRAMLARI	86
EK 5.1. Şişli, Kadıköy, Ümraniye, Sancaktepe, Darıca, Florya Diyagramları	86
EK 5.2. Üsküdar,Samandıra,İstanbul Bölge,Tuzla, B.çekmece,Fatih Diyagramları	87
EK 5.3. Sarıyer, Davutpaşa, Eyüp Diyagramları.....	88
EK 6. METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ İLE YAPILAN YAZIŞMALAR....	89
EK 6.1. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Veri Talep Yazısı.....	89
EK 6.2. Meteoroloji Genel Müdürlüğü İzin Yazısı.....	90
ÖZGEÇMİŞ	91

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa No

Şekil 2.1: Elektromanyetik dalgalarda elektrik ve manyetik alanlar ile yayılma yönündeki sinüzoidal dalga hareketi.....	8
Şekil 2.2: Elektromanyetik Dalga Spektrumu, IEEE adlandırması [20]......	8
Şekil 2.3: Elektromanyetik Dalgalarda (a) Yatay Polarizasyon (b) Dikey Polarizasyon.....	10
Şekil 2.4: Elektromanyetik Dalgalarda (a) Yansıma (Reflection) (b) Kırılma (Refraction).	11
Şekil 2.5: Elektromanyetik dalgalarda görülen kırılma (Refraction).	12
Şekil 2.6: Elektromanyetik dalgalarda görülen kırınım (diffraction).	12
Şekil 2.7: Radar şeması; elektromanyetik radar dalgasının yerden belli bir yükseklik (elevation) açısıyla gönderilmesi, ışının genişliğinin mesafeyle artması, mesafeyle ışının yerden yükselmesi, R mesafe kadar uzaktaki hacimsel hedeften reflektivite elde edilmesi [36].	13
Şekil 2.8: Tek antenli Meteoroloji radarı blok diyagramı [11].	14
Şekil 2.9: Radar anten sistemi; (a) parabolik reflektör anten, (b) ana lop doğrultusunda hareket eden elektromanyetik dalga ile yan ve arka loplar [11].	15
Şekil 2.10: Gönderilen elektromanyetik dalga sinyalinde darbe tekrar aralığı (PRI) ve darbe genişliği.	15
Şekil 2.11: Radyal hız gösterimi; bulutun gerçek hızı (kırmızı vektör) ile teğetsel hızın (mavi vektör) farkı radyal hızı verir(yeşil vektör).	17
Şekil 2.13: Parlak bant etkisinin görüldüğü 0°C 'nin görüldüğü yükseklik seviyesinde reflektivite eğrisindeki değişim.....	24
Şekil 2.14: (a) OMGİ şeması (b) Kefeli (Tipping Bucket) tip yağışölçer c) Ağırlıklı (Weighing) tip yağışölçer.....	29
Şekil 2.15: 1mm'lik yağışın yüksekliği, 1 m ² ye düşen 1kg yağışa denktir.....	30
Şekil 2.16: Radar (a) PPI ve (b) RHI taraması ("University of Illinois WW2010 Project" sayfası http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/rs/rad/basics/cnmod.rxml adresinden alınmıştır).....	31
Şekil 2.17: Çok seviyeli (a) PPI taramaları ve (b) CAPPI ürünü [11,12].....	32

Şekil 3.1: 28 Kasım 2016 tarihi 00GMT tarihine ait (a) Yer Kartı (b) 500mb Yüksek Seviye Kartı (www.mgm.gov.tr adresinden alınmıştır).....	34
Şekil 3.2: 28 Kasım 2016 tarihi 00GMT tarihine ait (a) 07:37GMT Radar PPI Görüntüsü (b) 06:00GMT MSG Infrared Uydu Görüntüsü (Meteoroloji Genel Müdürlüğünden sağlanan radar verileri www.mgm.gov.tr adresinden sağlanan veriler kullanılmıştır).	36
Şekil 3.3: 28 Kasım 2016 00GMT tarihli İstanbul Ravinsonde Yüksek Atmosfer Gözlemi TEMP Diyagramı (University of Wyoming, http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html adresinden alınmıştır).	37
Şekil 3.4: 28 Kasım 2016 07:38 GMT İstanbul Radarı CAPPI Görüntüsü (Meteoroloji Genel Müdürlüğünden sağlanan dakikalık veriler kullanılmıştır).	37
Şekil 3.5: (a) Azimuthal Equidistant projeksiyon (https://proj4.org/_images/aeqd.png adresinden alınmıştır) ve (b) CAPPI radar verisi 720x720 piksel yerleşimi.	40
Şekil 3.6: İstanbul-Çatalca Radarı ile Bursa-İzmit Radarı 120 km'lik kapsama alanları içinde kalan OMGİ'ler.	42
Şekil 3.7: Çalışmada kullanılan İstanbul-Çatalca Radarı 120 km'lik kapsama alanı içerisinde kalan 15 OMGİ'nin konumları.....	43
Şekil 3.8: Yağışölçer yağış miktarı saçılım diyagramları; (a) Şişli (b) Ümraniye (c) Sancaktepe için.	43
Şekil 3.9: Üsküdar için radar reflektivite (Z) ve yağışölçer veri çifti arasındaki doğrusal ilişki.....	49
Şekil 4.1 OMGİ konumları (a) Şişli ve (b) Sancaktepe için Kalman Filtresi ve diğer Z-R bağıntıları ile elde edilen yağış miktarı tahmininin gerçekleşen yağış miktarı ile karşılaştırılması, N=5 adet OMGİ yağışölçer, saatlik radar reflektivite verisi kullanılarak.	57
Şekil 4.2: OMGİ konumları (a) Şişli ve (b) Sancaktepe için ZR1 ve ZR2 bağıntıları ile N=5 ve N=10 için Kalman Filtresi yağış tahminlerinin gerçekleşen yağış miktarı ile karşılaştırılması, saatlik radar reflektivite verisi kullanılarak.	58
Şekil 4.3: Farklı N sayıda OMGİ yağışölçer kullanımına göre (a) Şişli (b) Kadıköy (c) Ümraniye (d) Sancaktepe ve (e) Darıca OMGİ'leri için elde edilen minimum MSE değerleri.	59
Şekil 5.1: (a) Darıca için Kalman Filtresi, ZR1 ve ZR2 yağış tahminlerinin gerçekleşen yağış miktarı ile karşılaştırılması (b) Darıca üzerindeki CAPPI radar verisine ait 4 yükseklik seviyesi reflektivite ölçüm verileri.	63
Şekil 5.2: (a) Şişli ve (b) Büyükçekmece üzerindeki CAPPI radar verisine ait 4 ayrı yükseklik seviyesi reflektivite ölçüm verileri.	63

TABLO LİSTESİ

Sayfa No

Tablo 2.1: IEEE 521-2002 standardına göre meteoroloji radarlarında kullanılan radar frekans bandı harf kısaltmaları [20].	9
Tablo 2.2: Radar reflektivite değerlerine karşılık gelen yağış tipleri [11].	26
Tablo 2.3: Yağış tipine göre kullanılan Z-R bağıntıları [1].	27
Tablo 3.1: 28-30 Kasım 2016 tarihleri arasında ölçülen günlük toplam yağışlar (Meteoroloji Genel Müdürlüğünden sağlanan dakikalık veriler kullanılmıştır).	35
Tablo 3.2: İstanbul Ravinsonde Yüksek Atmosfer Gözlemi TEMP verileri ile yer ve yüksek seviye bilgileri kullanılmıştır(EK-4).	35
Tablo 3.3: İstanbul Çatalca radarı ve CAPPI ürün bilgileri.	38
Tablo 3.4: IRIS CAPPI ürünü binary dosya formatı, [33] 'te verilen bilgilerden derlenmiştir.	39
Tablo 3.5: Çatalca radar sahası kapsama alanındaki OMGİ'lerin CAPPI verisi piksel konumları.	41
Tablo 3.6: İstanbul-Çatalca radarı 120 km'lik kapsama alanı içinde kalan üçer ve birer adet yağışölçer bulunduran OMGİ 'ler ile 120 km'lik İstanbul-Bursa radarları kesişim bölgesinde kalan üçer ve birer adet yağışölçer bulunduran OMGİ 'ler.	42
Tablo 3.7: İstanbul-Kartal Ravinsonde TEMP Diyagramlarına göre 0°C sıcaklığının ilk görüldüğü seviye yükseklikleri ile yer ve yüksek seviye rüzgar bilgileri (EK-4 teki verilerden derlenmiştir).	45
Tablo 3.8: 0.2° 'lik tarama açısı ile radardan gönderilen ışının; OMGİ üzerinde görebileceği hedefin minimum yüksekliği, merkez yüksekliği, tepe yüksekliği ve çapı (EK-5 teki verilerden derlenmiştir).	46
Tablo 4.1: Her bir OMGİ için T adet eğitim örneği ile elde edilen MSE değerleri, Saatlik veri, N=5 adet OMGİ yağışölçer (S1: Şişli, S2: Kadıköy, S3: Ümraniye, S4: Sancaktepe, S5: Darıca).	56
Tablo 4.2: Her bir OMGİ için T adet eğitim örneği ile elde edilen MSE değerleri, Saatlik veri, N=10 adet OMGİ yağışölçer (S1: Şişli, S2: Kadıköy, S3: Ümraniye, S4: Sancaktepe, S5: Darıca, S6: Florya, S7: Üsküdar, S8: Samandıra, S9: Kartal, S10: Tuzla).	57

Tablo 4.3: Her bir OMGİ için T adet eğitim örneği ile elde edilen MSE değerleri, Saatlik veri, N=15 adet OMGİ yağışölçer (S₁: Şişli, S₂: Kadıköy, S₃: Ümraniye, S₄: Sancaktepe, S₅: Darıca, S₆: Florya, S₇: Üsküdar, S₈: Samandıra, S₉: Kartal, S₁₀: Tuzla, S₁₁: Büyükçekmece, S₁₂: Davutpaşa, S₁₃: Vefa, S₁₄: Eyüp, S₁₅: Sarıyer).....58



SİMGE VE KISALTMA LİSTESİ

Simgeler	Açıklama
ε	: Dielektrik sabiti
λ	: Dalga boyu
η	: Kırılma indisi
θ_b	: Işın genişliği
τ	: Darbe süresi
\vec{B}	: Manyetik Alan
\vec{E}	: Elektriksel Alan
$ K ^2$: Hedefin kırılma indisi faktörü
c	: Işık hızı (299.792.458 m/sn)
C	: Radar sabiti
G	: Anten kazancı
\bar{P}_r	: Radar tarafından alınan eko sinyalinin gücü (watt)
P_t	: Gönderilen radar elektromanyetik dalga sinyali tepe güç değeri (watt)
R	: Yağış Miktarı
R_{max}	: Radar ışını maksimum menzili
V_{max}	: Radar ışını maximum hız
Z	: Reflektivite Faktör Değeri

Kısaltmalar	Açıklama
AR(1)	: 1. mertebeden otoregresif model (Autoregressive of order one)
AWOS	: Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (Automatic Weather Observing Station)
CAPPI	: Sabit Yükseklik PPI radar ürünü (Constant Altitude Plan Position Indicator)
DSD	: Damlacık Boyut Dağılımı (Drop Size Distribution)
EUMETNET	: Avrupa Meteoroloji Ağı (European Meteorological Network)
GMT	: Greenwich Ortalama Zamanı (Greenwich Mean Time)
IEEE	: Elektrik Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
IR	: Kızılötesi (Infrared)

IRIS	: Vaisala firmasına ait radar veri işleme/görüntüleme yazılımı (Interactive Radar Information System)
MAX	: Radar ürünü (Maximum Display)
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MSE	: Ortalama Kareysel Hata (Mean Squared Error)
NWS	: ABD Meteoroloji Servisi (National Weather Service)
OMGİ	: Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu
OPERA	: Avrupa Birliği Meteoroloji Radarları Operasyonel Bilgi Radar Değişim Programı (Operational Programme for the Exchange of Weather Radar Information)
PRF	: Darbe Tekrarlama Frekansı (Pulse Repetition Frequency)
PPI	: Radar ürünü (Plan Position Indicator)
PRI	: Darbe Tekrar Aralığı (Pulse Repetition Interval)
QPE	: Nicel Yağış Tahmini (Quantitative Precipitation Estimation)
RAINN	: N saatlik RAIN radar ürünü (RAIN1 : 1 saatlik RAIN ürünü)
RHI	: Radar ürünü (Range Height Indicator)
SRI	: Radar ürünü (Surface Rainfall Intensity)
VAR(1)	: 1. mertebeden vektör otoregresif (vector autoregressive of order one)
VIL	: Radar ürünü (Vertical Integrated Liquid)
WMO	: Dünya Meteoroloji Teşkilatı (World Meteorology Organization)
wradlib	: Açık kaynak kodlu python kütüphanesi (weather radar data processing library)
WSR	: Hava gözleme radarı (Weather Surveillance Radar)
Z-R	: Reflektivite-Yağış Bağıntısı
ZR1	: Marshall-Palmer'a ait Reflektivite-Yağış Bağıntısı ($Z=200.R^{1.6}$)
ZR2	: Konvetif Yağışlar için belirlenmiş Reflektivite-Yağış Bağıntısı ($Z=300.R^{1.4}$)

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KALMAN FİLTRELEME YAKLAŞIMI KULLANILARAK YAĞIŞÖLÇER VERİSİ ile METEOROLOJİ RADARI YAĞIŞ TAHMİNİNİN İYİLEŞTİRİLMESİ

Ali Kemal BAKIR

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Mühendislik Bilimleri Anabilim Dalı

Danışman : Doç. Dr. Pınar KIRCI

II. Danışman : Doç. Dr. Engin MAŞAZADE

Bu tez çalışmasında; hacimsel radar reflektivite ölçümlerinden noktasal yağışölçer verisini kestirebilmek ve ilgili konum için radar yağış tahminini iyileştirmek hedeflenmiştir. İstanbul (Çatalca) Meteoroloji radarına ait 120 km yarıçaplı CAPPI ürünü 1km seviyesi reflektivite verileri ile sırasıyla 5, 10 ve 15 adet Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) yağışölçer verileri kullanılarak Kalman Filtresi yağış tahmin modeli eğitilerek model parametreleri elde edilmiş ve ölçüm olarak reflektivite faktörü Z değeri ile doğrudan yağış miktarı tahmini yapılmıştır.

Kalman Filtresi, sistem ve ölçüm hatalarının küçültülmesi, bozuntuların dikkate alınarak mevcut ölçüm değerinin de dâhil edilmesiyle sistemin bir sonraki durumunun tahmin edilebilmesini sağlayan stokastik ve lineer sistemlerde kullanılan özyineli (recursive) filtre temelli bir modeldir.

Vektör tabanlı Kalman Filtresinde bilinmeyen durum vektörü (unknown state vector), farklı OMGİ konumlarında ölçülen yağışölçer verilerinden oluşmaktadır. Modelin kullandığı ölçüm değerleri, her bir OMGİ konumuna denk düşen radar pikseli ile bu piksele komşu 24 pikselin (5 pikselx 5piksel) ortalaması alınarak oluşturulan alansal reflektivite ölçümleridir. Çok

değişkenli en küçük kareler yöntemi kullanılarak sırasıyla N=5, N=10 ve N=15 adet OMGİ yağışölçer verileri ile OMGİ konumlarına denk gelen alansal radar reflektivite değerleri kullanılarak süreç ve ölçüm modeli parametreleri elde edilir. Kalman Filtresi bu şekilde eğitildikten sonra; bir sonraki zaman adımı için bir yağış tahmini yapar. Reflektivite ölçüm değeri ile tahmin edilen değer arasındaki farkın Kalman kazancı oranında artırılması veya eksiltilmesi ile güncellenmiş yeni yağış tahmini elde edilir. Her adımda tahmin veya güncelleme ile birlikte kovaryans matrisleri de elde edilir. Güncellenmiş tahmin ve hata kovaryans matrisi bir sonraki zaman adımına giriş olarak verilir. Bu şekilde süreç tekrarlı (iterative) olarak devam eder. Tahmin aşamasında yağış tahmini yapılır, sonraki aşamada ölçüm değeri kullanılarak tahmin değeri güncellenerek düzeltilir.

Her N adet yağışölçer grubu için Kalman Filtresi tahmin performansı, gerçekleşen yağış değerleri ve Z-R bağıntıları ile kıyaslanmıştır. N=1 adet yağışölçer verisi ile yapılan tahminlerde sadece o noktaya ait yağış verisi ve yağışölçer konumuna denk gelen radar reflektivite verisi kullanılmaktadır. Tez çalışmasında; komşu OMGİ yağışölçer verileri ve yağışölçer konumlarına denk gelen radar reflektivite verileri de kullanılarak yağış tahmininde belirgin iyileşme yakalanmıştır. Sonuçlar şunu göstermiştir; modelde kullanılan OMGİ sayısı arttıkça Kalman Filtresi yağış tahmini hata oranları da belirgin bir şekilde azalmaktadır. Eğitim süresi, çalışmada kullanılan OMGİ sayısından bağımsız olarak 30 saat çıkmış olup bu süre sonraki 42 saatlik yağışı tahmin etmek için yeterli görünmektedir.

28-30 Kasım 2016 tarihleri arasında görülen yağışlar üzerinde çalışılmıştır. Kalman Filtresi yağış tahmin modeli ile Z-R (reflektivite-yağış) bağıntıları olan $Z=200.R^{1.6}$ ile $Z=300.R^{1.4}$ kullanılarak elde edilen yağış miktarı tahmin sonuçları, Ortalama Karesel Hata (Mean Squared Error, MSE) kullanılarak karşılaştırılmıştır. Kalman Filtresi yağış tahminleri ile gerçek yağışölçer verileri kıyaslandığında, Kalman Filtresinin Z-R bağıntılarıyla elde edilen tahminlerden daha küçük sapmalara sahip olduğu görülmüştür.

Aralık 2018, 91 sayfa.

Anahtar kelimeler: Meteoroloji Radarı, Kalman Filtresi, Z-R Bağıntısı, Reflektivite, Yağış

SUMMARY

M.Sc. THESIS

IMPROVING of METEOROLOGICAL RADAR RAINFALL ESTIMATION with RAIN GAUGE DATA USING KALMAN FILTERING APPROACH

Ali Kemal BAKIR

Istanbul University-Cerrahpasa

Institute of Graduate Studies

Department of Engineering Sciences

Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Pınar KIRCI

Co-Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Engin MAŞAZADE

In this thesis; it is aimed to estimate rain gauge point rainfall data by using radar volumetric reflectivity data in order to improve radar rainfall estimates. Kalman Filter was first trained with rain gauge rainfall data of 5, 10 and 15 AWOSs and CAPPI product 1km reflectivity data of Istanbul (Çatalca) Meteorological Radar, which has a radius of 120 km. Then, Kalman Filter process and measurement model parameters were obtained by using these radar reflectivity and rain gauge rainfall data pairs. Finally, Kalman Filter rainfall estimation was directly performed by using radar reflectivity factor value Z .

By minimization of process and measurement errors and including current measurements, with taking into account of their noises, Kalman Filter allows to estimate the next time step of system. Kalman Filter is a recursive model that is used with stochastic and linear systems.

In the vector-based Kalman Filter, rain gauge data measured at different AWOS locations were elements of unknown state vector. Measurement values were the average of radar reflectivity data of corresponding AWOS location pixel and its neighboring 24 pixels. By using

multivariate least squares method, process and measurement model parameters were obtained by using spatial radar reflectivity values, corresponding to related AWOS locations, and the rain gauge rainfall data of the group of $N = 5$, $N = 10$ and $N = 15$ AWOSs. After Kalman Filter was trained by this way, rainfall estimation for the next time step is made. The difference between radar reflectivity measurement and estimated rainfall amount was increased or decreased according to the rate of Kalman Gain. And rainfall estimation was updated. At each time step, covariance matrices were also obtained at prediction and update stages of Kalman Filter. Then, updated estimation and its error covariance matrix were given as an input to the next time step. By this way, the process continued as iterative. Rainfall was estimated at prediction stage, and then, estimation value was updated at update stage, using measurement data.

Kalman Filter estimation performance was obtained by comparing Kalman Filter results for each N AWOSs with the actual rain gauge rainfall data and Z-R relationship estimations.

Only, point rain gauge data and corresponding radar reflectivity data were used for the estimation with $N=1$ number of rain gauge data. In this thesis; neighboring AWOS and corresponding radar reflectivity data were used, and a significant improvement on rainfall estimation was obtained. Numerical results show that; Kalman Filter rainfall estimation error rate decreases significantly as the number of AWOS used in the model increases. Training with 30 hours, which was independent of the number of AWOS used in the study, seems to be enough to predict for the next 42 hours of rainfall.

The rainy period of a consecutive 3 days between November 28, 2016 and November 30, 2016 was used in this thesis. Kalman Filter rainfall estimation model was compared by using mean squared error (MSE) method with the rainfall estimation results obtained by using $Z=200.R^{1.6}$ and $Z=300.R^{1.4}$. It is seen that Kalman Filter rainfall estimations, compared with actual rain gauge rainfall data, have smaller biases than the ones obtained with empirical Z-R relationships.

December 2018, 91 pages.

Keywords: Meteorology Radar, Kalman Filter, Z-R Relationship, Reflectivity, Rainfall

1. GİRİŞ

Yağış, meteorolojide ölçülen sıcaklık, nem, basınç ve rüzgâr gibi temel meteorolojik parametrelerden biridir. Tahmin edilen yağışın cinsi kadar yeryüzüne düşen yağışın miktarı da birçok sektör tarafından ya etkilerinden korunmak ya da faydalanmak için takip edilmektedir. Küresel iklim değişikliği ile birlikte sıklıkla görülmeye başlayan şiddetli yağışlar, özellikle şehirleşmenin arttığı günümüzde şehircilik altyapısında kayda değer zararlara neden olabilmektedir. Aynı şekilde tarım sektörü için kırsalda gerçekleşen şiddetli yağışın tarıma çok fazla etkisi de olamamaktadır. Bunun yanında bu tip şiddetli yağışların olması su toplama havzaları için gerekli olabilmektedir.

Yağışın ne zaman hangi miktarda gerçekleşeceği Sel Taşkın Modelleri ve nicel yağış tahmini (Quantitative Precipitation Estimation, QPE) gibi metotlar kullanılarak tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Bu algoritmaların birçoğunda Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) yağışölçer verileri, sayısal tahmin modeli çıktıları, uydu ve radar verileri kullanılmaktadır. Meteoroloji uyduları kullanılarak bulut hücrelerinin 6-9 saat içerisindeki hareketleri hakkında 50-100km gibi düşük çözünürlükte bilgi sahibi olunurken radar verileri 1-3 saatlik bir periyot için çalışmamızda 333m olduğu gibi çok daha yüksek çözünürlükte bilgi sunabilmektedir [32]. Sayısal hava tahmin modelleri ise çok sık güncellenemedikleri ve çalıştıklarında ise tüm verilerin toplanılmasına ve başlangıç sınır koşulu (boundary conditions) analizinin yapılmasına ihtiyaç duydukları için 0-6 saat için yapılan nowcasting [37] ile 0-12 saat için yapılan çok kısa süreli tahminlerde [37] tercih edilmemektedir.

Dünya Meteoroloji Teşkilatının (World Meteorological Organization, WMO) yağış ölçümü konusundaki standartlarına uygun olarak kurulan yağış ölçüm ağlarında, meteoroloji radarları kullanılarak ölçüm yapılamayan bölgeler için yüksek çözünürlükte alansal yağış ölçümü verisi sağlanabilmektedir. Bu yüzden meteoroloji radarları yağışın geniş alandaki dağılımını en iyi veren gözlem araçları kabul edilirler.

Meteoroloji Radarları, yağışlı bölgenin gözlenmesi, zaman içindeki hareketinin takip edilmesi ve gelecekte nerede bulunabileceğinin tahmin edilmesi için kullanılan aktif uzaktan algılama

cihazlarıdır. Radar tarafından gönderilen elektromanyetik dalga sinyali, havada asılı bulunan yağış parçacıklarına çarparak yansır. Eko sinyalinin gönderilen sinyale oranla çok küçük bir kısmı radara ulaşır. Radara ulaşan bu kısım radar donanımı tarafından yükseltilecek refleksivite faktörü olan Z değerinin hesaplanmasında kullanılır.

Meteoroloji Radarları hedeflerine gönderdikleri elektromanyetik dalganın frekans bandına göre adlandırılırlar. Meteoroloji Genel Müdürlüğü 17 adet C-Bant ve İstanbul Atatürk Havaalanında 1 adet X-Bant olmak üzere toplam 18 adet meteoroloji radarı işletmektedir. Bu çalışmada İstanbul Çatalca'da konumlanmış olan C-Bant Doppler Radarına ait CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator) radar verileri kullanılmıştır. Meteoroloji radarları gönderdikleri yüksek güçteki elektromanyetik dalgaların hedeften geri dönen eko sinyalinin gücüne göre yağışın tipini ve miktarını belirleyebilirler. Aynı zamanda doppler özellikli radarlarda elektromanyetik dalganın dönüş zamanı ile fazındaki değişimden hidrometeorların radara göre olan radyal hızı ile hareket yönü de belirlenebilmektedir.

Meteoroloji radarları elektromanyetik dalga sinyali gönderdikten sonra bir sonraki elektromanyetik dalga sinyalini gönderene kadar hedeften dönen eko sinyallerini dinlerler. Radarın dinlediği sinyaller, taranan hacim içinde bulunan su ve buz parçacıklarından oluşan farklı sayı, şekil ve boyutta saçıcı hidrometeorlardan dönmektedir. Taranan hacim içindeki her bir saçıcı parçacığın çapının altıncı kuvvetlerinin toplamı o hacim için geçerli refleksivite faktörü olan Z değerini vermektedir. Refleksivite faktörü, radar verilerinin yorumlanmasında kullanılan en temel veridir ve taranan hacim içerisindeki parçacıklar hakkında bilgi verir. Örneğin birim hacim içerisinde dielektrik sabiti yüksek (dolayısıyla yansıtıcılığı yüksek) olan su damlacıkları radar ışınını daha fazla yansıtırken kuru buz, kar vb. parçacıklar daha az yansıtırlar. Taranan hacim için ifade edilen refleksivite faktörü, radar tarafından darbe tekrarlama frekansında (Pulse Repetition Frequency, PRF) gönderilen sinyallerin ortalamasıdır ve Z olarak ifade edilir.

Yağışın tipine bağlı olarak yerden belirli bir yükseklikte yapılan hacimsel taramalardan elde edilen refleksivite ölçümleri yeryüzünde yağışölçer ile yapılan noktasal yağış miktarı ölçümlerini tam olarak temsil etmezler. Çünkü hava parseli içinde yatay (adveksiyon) ve dikine (konveksiyon) hareketler neticesinde yağışın mevcut konumunda değişiklik olabilmektedir. Nitekim ölçümler yeryüzünden belli bir yükseklikteki hacimden radara dönen eko sinyallerine göre yapılmaktadır. Tez çalışmasında bu yükseklik CAPPI verisi için en alt seviye olan 1km'

dir. Ölçülen yağış yeryüzüne inerken rüzgârın etkisiyle savrulabilir ya da yeryüzüne düşmeden buharlaşabilir. Öte yandan radar elektromanyetik dalga ışını yerkürenin eğriliği ve yuvarlak oluşundan dolayı menzilde ilerledikçe yüksekte kalır ve böylece radar dönen eko sinyali reflektivite ölçümleri sadece atmosferin daha üst seviyelerindeki aktiviteyi görebilir. Çalışmada kullanılan OMGİ 'lerin İstanbul Çatalca radarına göre görünürlük ve kısmi ışın engelleme diyagramları (vis.mgm.gov.tr) EK-5 'te verilmiştir. Radardan gönderilen elektromanyetik dalgalar atmosferde yayılırken içinden geçtikleri bölgenin oksijen, su buharı, gazlar ve bulut içi yağış parçacıklarının varlığına bağlı olarak soğrulmaya (attenuation) ve zayıflamaya başlarlar. Zayıflama, elektromanyetik dalganın emilimi (soğrulma) veya saçılımı ile gerçekleşir. Elektromanyetik dalga, parçacıklar ile karşılaştığında her yöne saçılırken oksijen ve su buharı ile karşılaştığında ise emilirler. C-Bant ve X-Bant gibi düşük dalga boylu radarlarda elektromanyetik dalgalarda zayıflama daha çok gerçekleşir. Radar verilerindeki sapmaların diğer bir sebebi ise radar ışınını kısmen veya tamamen kesen topoğrafya veya diğer yeryüzü engelleridir (Bkz. EK-5). Böyle bir durumda yağışlı bölge engeller tarafından perdelenir ve engellenen yağışlı bölge radar tarafından izlenemez.

Yağış miktarı yerde yağışölçer kullanılarak manuel veya OMGİ 'lerde elektronik tip yağışölçer ile otomatik olarak yapılmaktadır. Meteoroloji radarları, yeryüzüne düşen yağış miktarını, doğrudan ölçmeyip, kapsama alanları içerisindeki birim hacimli hava kütesinden dönen reflektivite değerine bağlı olarak deneysel yöntemlerle belirlenmiş reflektivite-yağış Z-R bağıntısını kullanarak hesap yoluyla bulurlar. Z-R reflektivite-yağış bağıntısı olan $Z = aR^b$, bölgeye, mevsime ve yeryüzüne düşen yağışın tipine göre değişiklik göstermektedir. a ve b katsayıları yağışın tipine bağlı olup [5] deneysel olarak elde edilmiş katsayılardır. En çok kullanılan ve kabul görmüş katsayılar ise Marshall ve Palmer tarafından 1948 yılında geliştirilmiş $a = 200$ ve $b = 1.6$ olduğu $Z = 200R^{1.6}$ bağıntısıdır [1,11]. İstanbul-Çatalca radarı için reflektivite değerinden yağış miktarı hesabı bu bağıntıya göre yapılmaktadır. Tez çalışmasında yağışölçer yağış miktarı verisi kullanılarak hacimsel reflektivite ölçümlerinden noktasal yağışölçer ölçümlerini kestirebilmek ve böylece radar yağış miktarı tahminini iyileştirmek hedeflenmiştir. Bu amaçla kullanılan Kalman Filtreleme yaklaşımı, Marshall ve Palmer 'a ait stratiform yağışlar için geçerli olan $Z = 200R^{1.6}$ ile üzerinde çalışılan periyodun daha çok ilk günü için geçerli olabilecek bir iki konumdaki konvektif yağışların varlığından dolayı $Z = 300R^{1.4}$ bağıntıları ile kıyaslanmıştır.

Gerçekleşen yağış ile tahmin edilen arasında her zaman bir sapma mevcuttur. OMGİ verisi kullanarak tahmindeki iyileştirme ve ölçümleme(calibration) ihtiyacı buradan doğmaktadır [5]. Logaritmik sapma (bias) düzeltilmesi [5,6] ile sapmanın belirlendiği ve Kalman Filtresi kullanarak sapmanın tahmin edilerek ve düzeltilmeye çalışıldığı çalışmalar [6,21,38,39] bulunmaktadır. Logaritmik sapma düzeltilmesinde kullanılabilen lineer ölçümleme (Linear Calibration), ortalama alan radar yağışı logaritmik sapma modellemesi (Mean Field Bias) ve Z-R bağıntılarında olduğu gibi kuvvet yasası (Power Law) modellemeleri de bulunmaktadır [7]. [39] 'da yazar mevcut yağış tipini temsil edecek en uygun Z-R parametrelerini bulup bu bağıntı ile yapılan yağış tahminini Kalman Filtresi tahmini ile kıyaslamıştır. Kalman Filtresi için öncelikle süreç ve ölçüm modeli parametrelerinin belirlenmesi gerekmektedir. [4,7] 'da yapılan çalışmada zamanla oluşan sapma değeri 1. mertebeden otoregresif (autoregressive of order one AR(1)) model olarak modellenmektedir. [4] 'te yağış tahminini sapma düzeltilmesi Kalman Filtresi [22] parametreleri deneme yanılma yöntemi ile belirlenmiştir. [7] nolu çalışmada; Kalman Filtresi parametreleri, hatalar için herhangi bir dağılımın öngörülmediği momentler yöntemi (method of moments) olan parametrik olmayan tahmin ediciler (non-parametric estimators) kullanılarak tahmin edilmiştir. Tez çalışmasında ise; elemanları farklı OMGİ konumlarında ölçülmüş bilinmeyen yağış verileri olan durum vektörü, 1. mertebeden vektör otoregresif (vector autoregresssive of order one, VAR(1)) modeli [14] oluşturulmuştur. Kalman Filtresi süreç ve ölçüm modeli parametreleri, bazı başlangıç öğretim verilerine ihtiyaç duyan çok değişkenli en küçük kareler yöntemi (multivariate least squares method) kullanılarak belirlenmiştir [27]. Öğretim verisi olarak ta radar reflektivite ve yağış miktarı veri çifti kullanılmıştır.

Ülkemizde Kalman Filtreleme yöntemi kullanılarak radar verileri üzerinden yağış miktarı tahmini üzerine ilk defa çalışma yapılmıştır. Bu yöntemle radar yağış tahmininin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Kalman Filtresi, bir OMGİ konumu için yağış tahmini yaparken sadece tahmini yapılan OMGİ 'ye ait yağış verileri ve radar reflektivite verileri ile eğitilmemektedir. Aynı zamanda komşu OMGİ 'lerin verileri de kullanılarak Kalman Filtresi yağış tahminindeki hata oranı düşürülerek iyileştirme sağlanmaktadır. Eğitim süresinde herhangi bir artış yaşanmadan, tahmin modeline ne kadar çok OMGİ verisi dâhil edilirse o kadar gerçek yağış değerlerine yaklaşılmakta ve bu değerlerinden olan sapma azalmaktadır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, meteoroloji radarı, elektromanyetik dalgalar ve hareketleri, radar donanımı, radar denklemi, reflektivite faktörü, radar verisi, radar verisindeki sapmalar, yağış miktarı tahmini, Z-R bağıntıları, OMGİ 'ler, ve radar ürünleri hakkında temel bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, tez çalışmasında kullanılan OMGİ yağışölçer verileri ile CAPPI radar verisi ve düzeltmeleri anlatılmış; saatlik yağış ve radar verilerinin nasıl hazırlandığı açıklanmıştır. Ayrıca Kalman Filtresi tahmin modeli ile süreç ve ölçüm modellerinin kestirimi ve Kalman Filtresi çalıştırılması anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, çalıştırılan Kalman Filtresi tahmin modeli sonuçları ile ZR1 ve ZR2 bağıntıları, gerçekleşen yağışölçer yağış miktarı verileriyle istatistiksel olarak karşılaştırılmış; sayısal sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

Son bölümde sonuç ve tartışmalara yer verilmiştir.

2. GENEL KISIMLAR

Meteoroloji radarı ölçümleri ile bu verilerdeki sapmalar, reflektivite değeri ve bu değer in yağışla olan ilişkisi, tez çalışmasında radar verisinden yağış tahminine nasıl geçildiğinin anlaşılması bakımından önem taşımaktadır.

2.1. METEOROLOJİ RADARI

Hava tahmininde en çok kullanılan uzaktan algılama cihazları meteoroloji radarları ve meteoroloji uydularıdır. Radar kelimesi, radyo dalgaları ile değişeni algılama anlamına gelebilen “RADio Detection And Ranging” kelimelerinden türetilmiştir. Radar donanımı, çok güçlü elektromanyetik dalgalar üreterek bu dalgaları bir anten vasıtasıyla hedef doğrultusunda gönderirler. Daha sonra hedef nesneden yansıyan veya yayılan sinyalleri toplayarak ve işlerler. Verinin toplanması ve işlenmesi prensibine bağlı olarak uzaktan algılama cihazları aktif veya pasif olarak ikiye ayrılırlar. Bu sınıflandırmaya göre üzerlerinde radyometre sensörleri bulunduran meteoroloji uyduları, cisimlerden yansıyan veya yayılan enerjiyi ölçen pasif cihazlardır. Meteoroloji radarları ise belirli bir frekansta elektromanyetik radyo dalgası (veya mikrodalga) gönderip dinleme yaptıkları için aktif cihaz olarak kabul edilirler. Aktif sensörler, gönderilen ve ışık hızında hareket eden sinyalin ne kadar süre sonra hedeften döndüğünü, ne kadar zayıflamış olduğunu, frekansında ve polarizasyonunda oluşan değişikliği algılayabilir. Elde edilen bu bilgiler doğrultusunda hedef nesnenin içeriği ve radar sahasına olan uzaklığı hesaplanabilir. Aktif radar sistemini algılayan gözler ile yorumlayan ve işleyen beynin çalışmasına benzetilebiliriz.

Dünya Meteoroloji Teşkilatının (World Meteorological Organization, WMO), meteorolojik ölçümler ve ölçümlerde kullanılan sensörler, insanlı/insansız gözlemler ve kısa süreli tahminler (nowcasting) gibi meteoroloji alanında yürütülen faaliyetler ile ilgili düzenleyici ve tavsiye edici bir görevi vardır. WMO ’nun düzenlemeleri bir standart olarak kabul görür. WMO’nun yağış ölçümü ile ilgili dokümanlarında “yağış istasyonları için yağışölçer konulacak noktanın sayısı ve yeri o bölgeye düşecek yağışı ne ölçüde temsil ettiğiyle doğrudan orantılıdır” denilmektedir [35]. Klasik gözlem ağlarında yeryüzü şekilleri, fiziki ve iletişim altyapılarının yetersizliği gibi nedenlerden dolayı her noktada yağışölçer konularak ölçüm yapılması güçtür. Yağışölçerler ile ölçüm yapılamayan bölgelerde meteoroloji radarları kullanılarak mevcut

yağışölçer ağından daha yüksek alansal çözünürlükte yağış miktarı ölçümü yapılabilir. Bu nedenle meteoroloji radarları, yağışın geniş alanlardaki alansal dağılımını en iyi veren gözlem araçları olarak kabul edilirler.

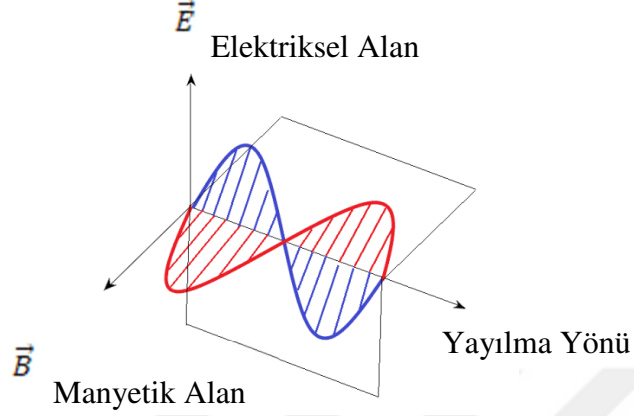
Meteoroloji radarı ile yağışlı bölgenin takibi yapılarak sel, su baskını, dolu ve benzeri meteorolojik afetler için uyarılar hazırlanabilir. Nowcasting, 12 saate kadar olan kısa süreli hava tahminleri için kullanılan bir tanımdır. Şimdi (now) ve tahmin (forecasting) kelimelerinin birleştirilmiş halidir. Sayısal Hava Tahmin Modelleri, günde birkaç kez çalıştırılırlar ve çalışırken tüm verilerin toplanmasına ve başlangıç koşulu (boundary conditions) analizinin yapılmasına ihtiyaç duyarlar. Çok sık güncellenmezler. Fakat meteoroloji radarları ile yağışlı sistemin geçmiş ve mevcut verilerine alansal olarak erişilebilir. Hava tahmincisi, görüntülerin hareket yönü ve hızını dikkate alarak ve aynı zamanda radar yazılımlarının sunduğu analizleri de kullanarak yağışlı sistemin nerelerde etkili olabileceği (precipitation forecasting) [1], yeni konumunun neresi olabileceği (trajectory forecasting) konusunda tahminde bulunabilir. Nowcasting, hava tahmincisi tarafından bu şekilde manuel olarak yapılabildiği gibi geliştirilen yazılımlar ile radar ürünleri otomatik olarak işlenip belirlenen birtakım eşik değerlerinin geçildiği veya koşulların sağlandığı durumlarda meteorolojik uyarıların otomatik olarak yapılması da sağlanabilmektedir.

Yeryüzünden buharlaşarak hidrolojik çevrime giren su, havada asılı bulunan yoğunlaşma çekirdekleri olan toz zerrecikleri üzerinde yoğunlaşarak belirli bir büyüklüğe ulaşır. İçinden geçtiği ortama ve sıcaklığına bağlı olarak yeryüzüne yağmur, çisenti, kar, sağanak yağış ve dolu olarak düşer. Meteoroloji radarı tarafından gönderilen elektromanyetik dalga sinyalini yansıtan bulut içi parçacıklar, yağışölçer ile miktarını ve radarla da reflektivite değerini ölçtüğümüz hidrometeorlardır. Hidrometeorların en çok görüleni çapı 0,5 mm'den büyük yağmur damlalarıdır. Yağmur; hafif (2,5mm/saat veya 0,2mm/5dk 'ye kadar), orta kuvvette (2,6 – 7,6 mm/saat veya 0,2 – 0,6 mm/5dk arası) ve kuvvetli (7,6mm/saat veya 0,6mm/5dk 'den büyük) olarak genelde bir saatte bıraktıkları yağışın miktarına göre sınıflandırılırlar.

2.1.1. Elektromanyetik Dalga Spektrumu ve Radar Çeşitleri

Enerji, elektromanyetik radyasyonla ışık hızında atmosferde dalga formunda yayılır. Güneşten gelen ışık, ateşten yayılan ısı, radyodan dinlediğimiz yayın, hastanede çektiğimiz Röntgen

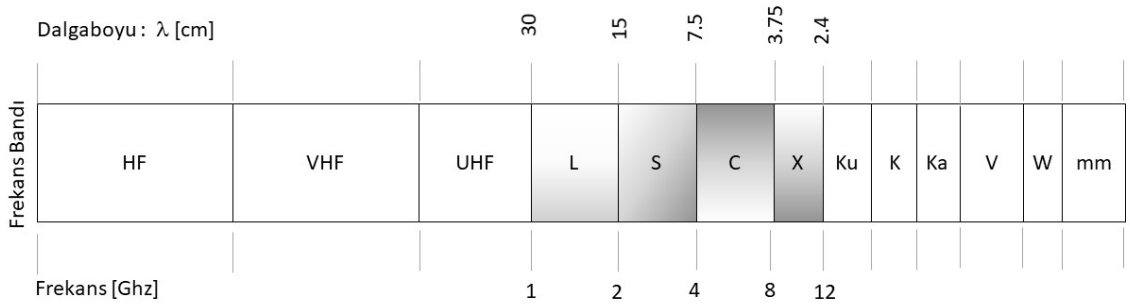
filminde kullanılan X-Ray ışınları, mikrodalga fırında yemeği pişiren enerji elektromanyetik radyasyondur. Elektromanyetik radyasyon, enerjinin uzayda geçtiği birçok yoldan biridir.



Şekil 2.1: Elektromanyetik dalgalarda elektrik ve manyetik alanlar ile yayılma yönündeki sinüzoidal dalga hareketi.

Elektromanyetik dalganın birbirine dik elektriksel ve manyetik alanı vardır (Şekil 2.1). Dalganın ilerleme doğrultusu bu alanların yönü ile belirlenir. Elektromanyetik dalganın yönünün belirlenmesinde en bilinen benzetme sağ el kuralıdır.

Meteoroloji Radarları, hedeflerine gönderdikleri elektromanyetik dalganın frekans bandına göre adlandırılırlar. İlk olarak 1976 yılında tanımlanan Radar Frekans Bantları, 2002 yılında son halini almıştır. Şekil 2.2 'de IEEE 'nin yapmış olduğu adlandırma görülmektedir. NATO ve ITU tarafından yapılan farklı adlandırmalar da mevcuttur.



Şekil 2.2: Elektromanyetik Dalga Spektrumu, IEEE adlandırması [20].

Tablo 2.1: IEEE 521-2002 standardına göre meteoroloji radarlarında kullanılan radar frekans bandı harf kısaltmaları [20].

Bant Adı	Frekans Aralığı	Dalga boyu	Nominal Dalga boyu	Açıklama
L	1 to 2 GHz	0.3 – 0.15 m	20 cm	Uzun Dalga(Long wave) L Bant, Elektromanyetik spektrumunun radyo frekansı kısmında bulunur. Uçak GPS-Konum-Gözetleme sistemlerinde, mobil/tele iletişim sistemlerinde, uydu navigasyon sistemlerinde,radyo yayıncılığında vb kullanılır.
S	2 to 4 GHz	15 – 7.5 cm	10 cm	Kısa Dalga (Short wave) S Bant, Elektromanyetik spektrumunun mikrodalga frekans kısmında bulunur. Uydu haberleşmesi, meteoroloji radarları, havaalanı gözetleme sistemleri, wifi - bluetooth vb kablosuz iletişim sistemlerinde vb. kullanılır.
C	4 to 8 GHz	7.5 – 3.75 cm	5 cm	C Bant, Elektromanyetik spektrumunun mikrodalga frekans kısmında bulunur. Çoğunlukla Meteoroloji radarlarında, uydu haberleşme sistemlerinde, wifi vb. kablosuz sistemlerde vb. kullanılır.
X	8 to 12 GHz	3.75 – 2.4 cm	3 cm	X Bant, Elektromanyetik spektrumunun mikrodalga frekans kısmında bulunur. Radar, uydu haberleşme sistemleri ve kablosuz bilgisayar ağlarında kullanılır.

Tablo 2.1’de görüldüğü gibi meteoroloji radarları, genelde elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde bulunur. Bu tip radarlar S, C ve X Bant radarlar olarak adlandırılırlar.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü, 17 adet C-Bant ve İstanbul Atatürk Havalimanında 1 adet X-Bant olmak üzere toplam 18 adet meteoroloji radarı işletmektedir. Daha uzun menzile ve kısa dalga boyuna sahip S-Band radarlar da tercih edilmektedir. Örneğin, ABD’nin NEXRAD (Next Generation Radar) meteoroloji radar ağında 159 adet S-Band radar bulunmaktadır. Avrupa Birliği EUMETNET meteoroloji radar ağı OPERA’da üye ülkelerin C-Band, S-Band ve X-Band radarları tek bir ağ altyapısı içinde birleştirilmiştir.

Hedefe gönderilen elektromanyetik dalganın genliği, sinyalin gücü ile doğru orantılıdır. Elektromanyetik dalganın atmosferde karşılaşmış olduğu parçacıklardan geri dönen eko sinyali, ilk gönderildiği halinden daha çok zayıflamış ve genliği azalmış durumdadır. Geri dönen eko sinyali, radar alıcı sistemi tarafından değerlendirilmek üzere yükseltilir. Elektromanyetik dalga sinyalindeki zayıflama oranına göre hesaplanan reflektivite faktörü değerine göre taranan atmosfer hacmi içerisindeki hidrometeorların tipi ve yoğunluğu (Bölüm 2.4.1) tespit edilir [11].

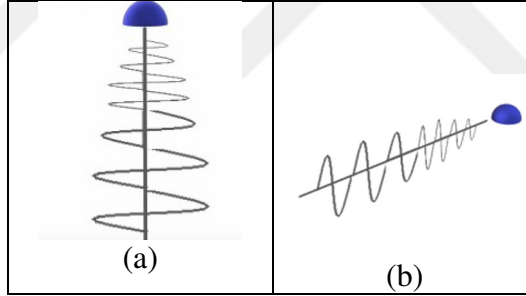
2.1.1.1. Faz

Frekans salınımdaki kayma faz olarak adlandırılır. Elektromanyetik dalga gönderilirken faz değeri gönderilirken bilinmektedir. Hedef nesneye çarpma anında sinyalin fazında bir değişim

olur. Gönderilen elektromanyetik dalganın frekansındaki bu faz değişimi, doppler radarlarda hedefin radara göre radyal olarak hızının ve hareket yönünün tespitinde kullanılmaktadır.

2.1.1.2. Polarizasyon

Elektromanyetik dalgalarda elektriksel alanın yönü polarizasyonun tipini belirler. Polarizasyon doğrusal, dairesel ya da eliptik olabilir. Meteoroloji radarlarında, doğrusal olarak enine veya boyuna hareket eden ve ilerleme doğrultusuna dik elektromanyetik dalgalar kullanılır. Elektromanyetik dalga Şekil 2.3 (a) da ki gibi yatayda ilerliyorsa enine (horizontal) polarizasyonlu, Şekil 2.3 (b) de ki gibi dikeyde ilerliyorsa boyuna polarizasyonlu olarak adlandırılır. Meteoroloji radarının tekil veya çift (hem enine hem de boyuna) polarize olması hidrometeor tipinin tespitinde kolaylık sağlar. Çalışmamızda kullanılan İstanbul-Çatalca Radarı yassı olan yağmur damlalarını yakalamaya daha uygun olan yatay polarizasyonlu tekil polarize meteoroloji radarıdır. Birbirinin ardı sıra hem enine hem de boyuna elektromanyetik dalga gönderilerek hidrometeorun hem enine hem de boyuna kesiti de alınabilir. Bu özellik sayesinde dikey şekilde gelişmiş olan dolu benzeri hidrometeorların tespiti daha kolaylaşmış olur.



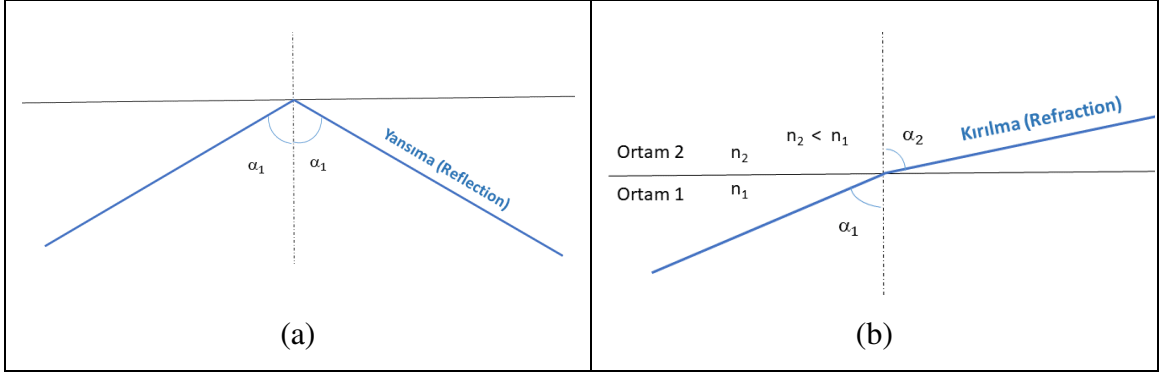
Şekil 2.3: Elektromanyetik Dalgalarda (a) Yatay Polarizasyon (b) Dikey Polarizasyon.

2.1.2. Elektromanyetik Dalga Hareketleri

Elektromanyetik dalgalar, hareketleri esnasında geçtikleri ortamlar ile karşılaştıkları engellere verdikleri tepkiler bakımından dört ana grupta incelenebilir.

2.1.2.1 Yansıma (Reflection)

Yansıma, Şekil 2.4 (a) 'da görüldüğü gibi elektromanyetik dalganın yansıtıcı yüzeye çarptığında geldiği yönün yansıtıcı yüzeyin dik normali ile yaptığı açı kadar bir açıyla yön değiştirmesidir.



Şekil 2.4: Elektromanyetik Dalgalarda (a) Yansıma (Reflection) (b) Kırılma (Refraction).

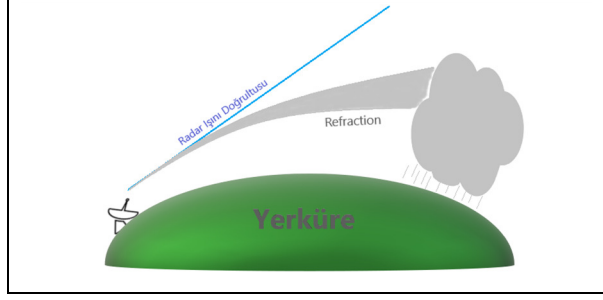
2.1.2.2 Kırılma (Refraction)

(2.1) 'de η_1 gelen ışının içinde olduğu ortamın kırılma indisi ve v_1 ortam 1 içindeki bu ışının hızıdır. Kırılma, elektromanyetik dalgaların farklı alanlar arasında ilerlerken geldiği yönün yüzeyine dik olan normal ile yaptığı açıdan farklı (büyük veya küçük) bir açı ile ilerleyerek ortam değiştirmesine denir (Bkz. Şekil 2.4).

Meteoroloji radarları, atmosferde ilerlerken atmosferin kırılma indisine göre davranır. Atmosferin kırılma indisi, atmosfer basıncı, buhar basıncı ve sıcaklığa göre değişiklik gösterir. Elektromanyetik dalga, Snell Kanununa (2.1) göre davranır;

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_1}{v_2} \quad (2.1)$$

Kırılma indisi atmosferde yükseldikçe değişir. Elektromanyetik dalgaların atmosferde kırılması sonucu radardan gönderilen mikrodalga ışını atmosferin kırılma indisine bağlı olarak doğrusal ilerleyemez ve dünya yüzeyine doğru Şekil 2.5 'teki gibi bükülür.

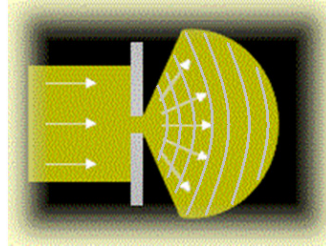


Şekil 2.5: Elektromanyetik dalgalarda görülen kırılma (Refraction).

Bükülme durumuna kırılma (refraction) denir. Kırılmanın aşırı olması durumunda elektromanyetik dalga, yeryüzüne çarpar ve yer ekosu olarak radara doğru yayılabilir. Bu duruma oluk (ducting) efekti denir. Radar, gerçekte olmayan bu ekoları yağışlı bölgeden gelmiş gibi değerlendirebilir. Zemin dağınıklığını (ground clutter) artırıcı etkisi olan ve anormal yayılım (Anomalous Propagation) olarak adlandırılan bu durum reflektivite ölçümlerinde sapma oluşturarak reflektivite değerlerinin olduğundan fazla ölçülmesine neden olur.

2.1.2.3 Kırınım (Diffraction)

Elektromanyetik dalganın yörüngesi üzerinde bir engelle çarpıp kırılması durumudur. Kırılan ışınlar demet halinde saçılarak yayılır. Şekil 2.6 'da görüldüğü gibi bir delikten veya köşeden geçen ışın doğrusal ilerlemez, ışın da su kaynağı gibi dalgalar halinde kırınıma uğrar.



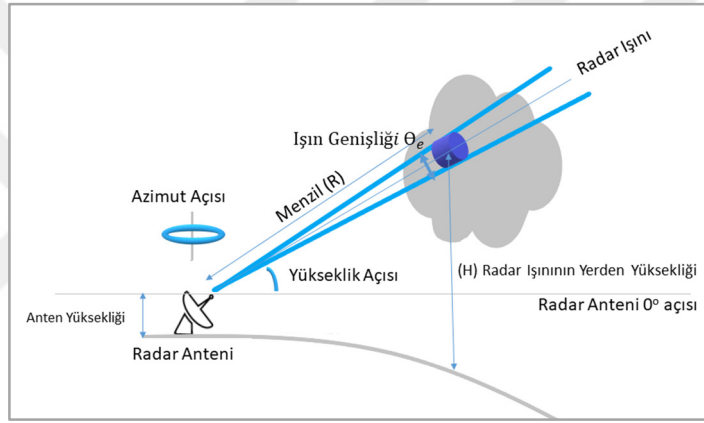
Şekil 2.6: Elektromanyetik dalgalarda görülen kırınım (diffraction).

2.1.2.4 Saçılma (Scattering)

Elektromanyetik dalga atmosferde bir parçacıkla karşılaştığında çarpışma oluşur. Çarpışma sonucunda elektromanyetik dalganın doğrultusu ve enerjisindeki değişime saçılma adı verilir. Saçılma her yönde gerçekleşir. Saçılmanın olabilmesi için saçıcı parçacığın çapının elektromanyetik dalga sinyali dalgaboyundan küçük olması gereklidir (Rayleigh Saçılımı). Eğer parçacığın çapı elektromanyetik dalganın dalgaboyuna yakın ve/veya büyükse saçılma olmaz.

2.1.3. Radar Donanımı

Radar donanımı temelde; anten, gönderici (transmitter), alıcı (receiver), sinyal işleme ve görüntüleme sistemlerinden oluşur. Anten donanımı, yeryüzündeki engellerden kaçınmak için yaklaşık 30 m yüksekliğinde bir kule üzerindeki radome (radar dome-kubbe) olarak adlandırılan fiber-glass küre içinde kuruludur. Anten, enine ve boyuna olarak hareket ettirilebilir ve de bir doğrultuya yönlendirilebilir donanıma sahiptir. Radar sinyalinin yatayda yaptığı açığa azimut açısı ve dikeyde yaptığı açığa da yükseklik açısı (elevation angle) denir. Radar, yatayda 360° ye kadar dönerken bu dönme işlemi dikeydeki her bir açı için tekrar eder. Böylece radar donanımı merkezinde radar sahası olan hacimsel konik taramalar gerçekleştirir.



Şekil 2.7: Radar şeması; elektromanyetik radar dalgasının yerden belli bir yükseklik (elevation) açısıyla gönderilmesi, ışının genişliğinin mesafeyle artması, mesafeyle ışının yerden yükselmesi, R mesafe kadar uzaktaki hacimsel hedeften reflektivite elde edilmesi [36].

Radar elektromanyetik dalga ışınının bir genişliği (beamwidth) vardır. Açısal çözünürlük olarak da tanımlanan ışın genişliği radardan gönderilen sinyalin dalga boyu ve parabolik reflektör antenin çapına bağlıdır (2.2). Işın genişliği genelde 0.5° ile 1° arasında bir değerdedir [12,36]. 0.55° 'lik ışın genişliği -3 dB 'lik bir bant genişliğe karşılık gelmektedir (Bkz. EK-5).

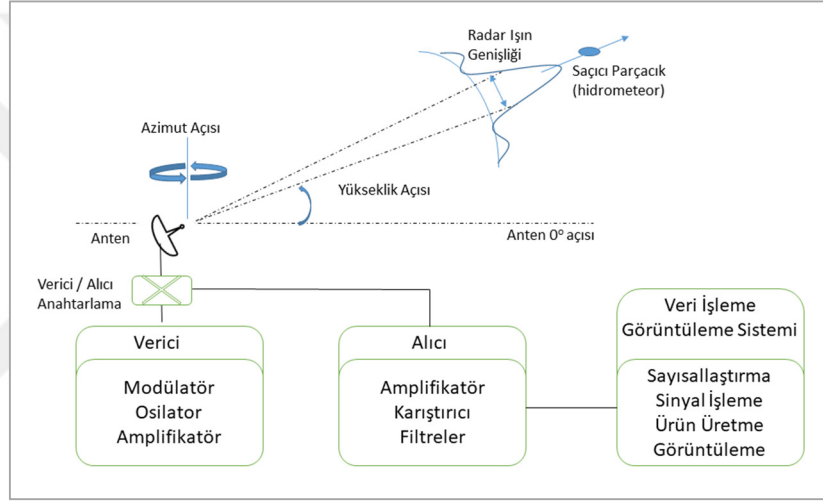
$$\theta_e = 70 \lambda / d \quad (2.2)$$

θ_e Işın genişliği (derece)

λ Dalga boyu (metre)

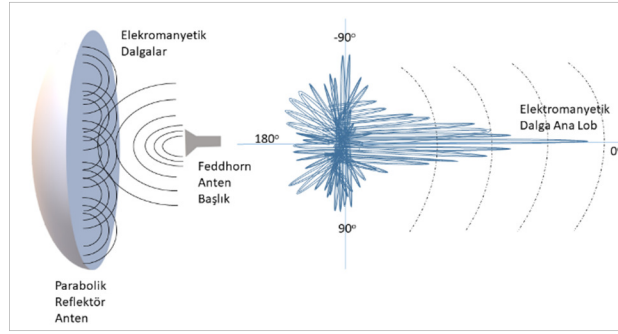
d Radar parabolik anten çapı (metre)

Radar ışını, antenden hedefe doğru ilerlerken açısal olarak da genişler ve atmosferde bir hacmi tarar. İlerleme doğrultusunda gücün yarıya düştüğü anda elektromanyetik dalga ışınının alt ve üst bandı arasındaki açı radar sinyalinin ışın genişliği olarak adlandırılır. Radar ışını dünyanın küre şeklinde oluşundan dolayı yeryüzüne göre mesafeyle birlikte yükselir. Anten çapı büyüdükçe ışın genişliği düşer. Küçük ışın genişliği daha yüksek çözünürlükte veri almamıza olanak verir. Yüksek dalga boyuna sahip elektromanyetik dalga kullandığımızda ise aynı açısal çözünürlüğü elde edebilmek için parabolik antenin çapını da büyütmemiz gerekir [12]. Küçük dalga boyuna sahip radarlar her zaman için küçük parçacıklara daha hassastır ve küçük hedeflerden yüksek çözünürlük alabilmemizi sağlar.



Şekil 2.8: Tek antenli Meteoroloji radarı blok diyagramı [11].

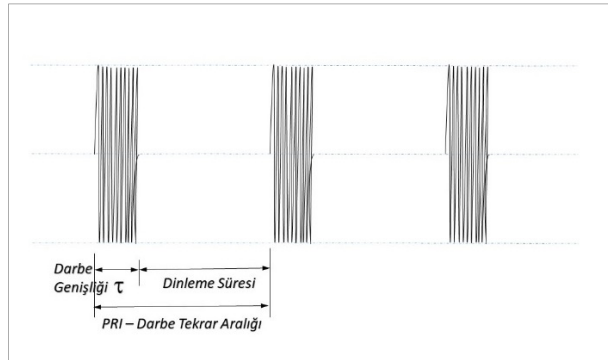
Şekil 2.8 'de blok diyagramı verilen tek antenli bir meteoroloji radarı sistemi görülmektedir. Radarda bir modülatör veya dalga formu jeneratörü ile oluşturulan çok güçlü darbe sinyali parabolik reflektör antenler ile elektromanyetik dalgalar halinde bir doğrultu boyunca gönderilirler. Şekil 2.9 'da görüldüğü gibi elektromanyetik dalga, uydu antenlerde de tercih edilen feedhorn tipinde başlık ile parabolik reflektör antene ve antenden yansıyan dalgalar da hedefe yönlendirilirler. Antenin gönderdiği elektromanyetik dalga darbeleri, yüksek-güç osilatörü veya düşük-güç frekans kaynağını yükselten amplifikatör ile oluşturulup antene gönderilir. Doppler özellikli radarlarda faz ölçümlerini çok daha iyi yapabildikleri için özellikle amplifikatör-temelli jeneratörler tercih edilmektedir.



Şekil 2.9: Radar anten sistemi; parabolik reflektör anten ve ana lop doğrultusunda hareket eden elektromanyetik dalga ile yan ve arka loplar [11].

Parabolik reflektör antenlerde feedhorn başlık ile parabolik anten yüzeyine belirli bir frekansta elektromanyetik dalga sinyali gönderilir. Elektromanyetik dalgalar, parabolik anten yüzeyine çarptıktan sonra doğrultulan hedefe doğru konik şekilli ışın formunu alarak gönderilirler. [12]

Üretilen ve antenle gönderilen elektromanyetik dalga darbe sinyalleri, mikro saniyeler mertebesinde kısa sürelidirler (τ). Elektromanyetik dalga, ışık hızında ($c = 299.792.458$ m/sn) hareket etmektedir. Elektromanyetik dalganın darbe süresi (τ), darbe genişliğini kontrol eder. Darbe genişliği de radarın menziline belirlemektedir.



Şekil 2.10: Gönderilen elektromanyetik dalga sinyalinde darbe tekrar aralığı (PRI) ve darbe genişliği.

Sinyal Tekrarlama Frekansı (Pulse Repetition Frequency, PRF), saniyedeki darbe sayısını ifade etmektedir. Darbe Tekrar Aralığı (Pulse Repetition Interval, PRI), ardışık iki darbe sinyali arasındaki zamandır. Şekil 2.10'da da görüldüğü gibi PRI, darbe genişliği süresi ve bekleme sürelerinden oluşur. Dalga boyu (λ), radar donanımına bağlıdır. Fakat dinleme zamanı (dolayısıyla PRI) değiştirilebilir. PRI artırılarak veya azaltılarak radar sinyalinin ulaşabileceği menzil belirlenebilir.

Bekleme süresi yeterince uzun olmazsa; darbe sinyalinden sonra uzak mesafelerden gelen ekolar tam dinlenilmeden ikinci darbe gönderilirse ikinci darbe dinleme süresi içinde ilk darbeden dönen ekolarda dinlenmiş olur. Bu ekolar çok uzak mesafelere ait olmalarına rağmen ikinci darbeden hemen sonra alındıkları için yakın mesafeye ait ekolar gibi değerlendirilirler. Menzil belirsizliği (Range ambiguity) olarak adlandırılan bu durum istenmez ve bekleme süresinin kısa tutulması ile meydana gelir.

Kısa bekleme(dinleme) süresi yüksek PRF değeri demektir (Şekil 2.10). Yüksek PRF ile daha yüksek çözünürlük elde edilmesine rağmen radar menzili kısaltır.

$$R_{max} = \frac{c}{2 PRF} \quad (2.3)$$

$$V_{max} = \frac{\lambda PRF}{4} \quad (2.4)$$

Diğer bir deyişle; radarın daha büyük menzile ulaşması isteniyorsa (2.3) daha düşük PRF veya yüksek PRI değerlerine ve daha yüksek hızların görülebilmesi için de (2.5) uzun dalga boyu ile birlikte daha yüksek PRF veya daha düşük PRI değerlerine ihtiyaç duyulmaktadır.

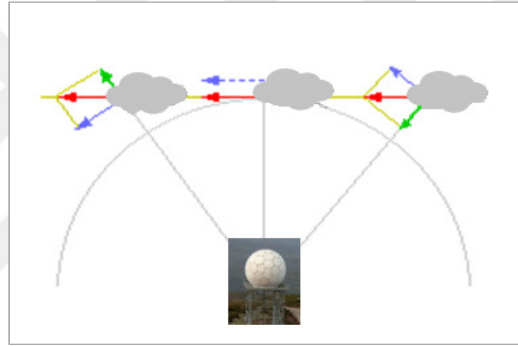
$$R_{max}V_{max} = c \lambda / 8 \quad (2.5)$$

Maksimum hız ile erişilebilen maksimum menzil arasında (2.5) 'da görüldüğü gibi ters orantı mevcuttur. Bu istenmeyen bir durumdur ve Doppler çıkmazı (dilemma) olarak adlandırılır. Eğer büyük hız istiyorsak küçük menzile sahip olmalıyız. Ya da tersine, uzak mesafelerden eko sinyali elde etmek istiyorsak sinyal hızını düşürmeliyiz. Hem sinyal hızı artsın hem de uzak mesafelere erişilsin isteniyorsa dalga boyunu arttırmalıyız.

Radar, sinyal gönderme işleminden sonra dinlemeye geçer ve hedef nesneden yansıyan zayıf ekoları yakalar. Gönderilen elektromanyetik dalganın gücü megawatt büyüklüğüne yakınken hedef nesneden yansıyan/yayılan eko yaklaşık 10-15 watt büyüklüğündedir. Alınan eko sinyalinin bu haliyle yükseltilmesi gereklidir. Sonraki aşamalarda Şekil 2.8'deki görüldüğü gibi alınan eko sinyali filtrelerden geçilir, genliği yükseltilir ve sayısallaştırılarak sonra son kullanıcının anlayabileceği ve yorumlayabileceği ürün ve resimler elde edilir.

2.1.4. Doppler Radarlar ve Radyal Hız

Radar tarafından gönderilen yüksek güçlü elektromanyetik dalganın dönüş zamanına göre yağışlı bölgenin konumu ve yansıttığı sinyalin gücüne bağlı olarak yağışın tipi belirlenmektedir. Doppler özellikli radarlar ile konum ve büyüklüğe ek olarak hareket halindeki hedefin radyal hızı (radial velocity) ve hareket yönü de belirlenebilmektedir. Hedef radara yaklaşmakta, uzaklaşmakta ya da mesafesini korumaktadır. Sabit olan radara göre hedefin radarın gönderdiği sinyalin fazında oluşturduğu bu değişim, hedefin hareketi ve hızı hakkında bilgi vermektedir. Bu durum ‘‘Doppler Etkisi’’ olarak adlandırılır. Doppler radarlar, doppler etkisini kullanarak yaklaşan veya uzaklaşan nesnelerin radyal hızını ve radara göre hareketlerini belirlemek için kullanılırlar.



Şekil 2.11: Radyal hız gösterimi; bulutun gerçek hızı (kırmızı vektör) ile teğetsel hızın (mavi vektör) farkı radyal hızı verir(yeşil vektör).

Alınan sinyalin fazında $\pm 180^\circ$ den fazla bir değişim mevcutsa; iki sinyal darbe süresi arasında hedef hacim dalga boyunun (λ) çeyreğinden fazla mesafe hareket etmiştir. Bu hız, maksimum Doppler hızı (Maximum Unambiguous Doppler Velocity) olarak bilinir ve (2.4) ‘te ifade edildiği gibi dalga boyu (λ) ve PRF değerine bağlıdır. Yüksek PRF veya dalga boyu değerleri maksimum Doppler hızını artırır. Örneğin, PRF= 1000 Hz için S-Band radarlarda maksimum doppler hızı $V_{max} = \pm 25 \text{ msn}^{-1}$ iken daha düşük dalga boyuna sahip C-Band radarlarda $V_{max} = \pm 12.5 \text{ msn}^{-1}$ ve X-Band radarlarda $V_{max} = \pm 8 \text{ msn}^{-1}$ ‘dir. Maksimum doppler hızını aşan durumlarda ikincil bir işlemle hız değeri düzeltilir.

2.1.5. Radar Denklemi

Radarın atmosferde taradığı hedef hacim içerisinde şekil, yoğunluk ve bileşim bakımından farklı yapıda su ve/veya buz parçacıkları bulunur. Taranan hacim içerisinde geri dönen eko

sinyali hacim içerisindeki her bir parçacığın yansıttığı eko sinyallerinin toplamıdır. Bu da radarın taradığı hacimden yansıyan toplam güçtür [36]. Probert-Jones, 1962 yılında bir takım kabullere dayanarak hedef nesneden dönen reflektivite değerinin hesaplanmasında; radarın hedefe olan menziline, hedef saçıcı hidrometeorların kırılma indislerine, alınan sinyalin gücüne ve (2.7) 'de C radar sabitine indirgenen dalga boyu, darbe genişliği, anten kazancı ve ışın genişliği parametrelere bağlı bir eşitlik (2.6) ortaya koymuştur [36].

$$\bar{P}_r = \frac{\pi^3}{1024 \ln 2} \frac{P_t h G^2 \theta_b \phi_b}{\lambda^2} \frac{|K|^2 10^{-18} Z}{r^2} \quad (2.6)$$

- \bar{P}_r Radar tarafından alınan eko sinyalinin gücü (gönderilen sinyal darbelerine göre ortalama değer) (watt)
- P_t Radar tarafından gönderilen elektromanyetik dalga sinyalinin tepe güç değeri (watt)
- $|K|^2$ Hedefin Kırılma indisi faktörü
- h Darbe genişliği (metre) ($h = c\tau$; c ışık hızı, τ darbe süresi)
- G Anten kazancı
- θ_b Enine ışın genişliği (radyan) tek yönlü iletişimde -3dB seviyesinde (3 dB ~0.56°)
- ϕ_b Boyuna ışın genişliği (radyan) tek yönlü iletişimde -3dB seviyesinde
- λ Dalga boyu (metre)
- r Menzil, radarla hedef arasındaki mesafe (metre)
- Z Radar reflektivite faktörü (mm^6m^{-3})

Elektromanyetik dalganın gücü dışındaki parametreler sabit kabul edilir ve C olarak adlandırılırsa denklem şu şekli alır;

$$\bar{P}_r = \frac{C |K|^2 Z}{r^2} \quad (2.7)$$

C Radar sabiti

Radar tarafından alınan eko sinyalinin gücü hedefin radara uzaklığının karesi ile ters orantılıdır (2.7). Hedef farklı farklı dielektrik katsayılarına sahip su, kar buz parçacıklarından oluşabilir. Farklılığın sonucu hacim içerisindeki parçacıklar farklı reflektivite değerlerine sahiptir.

Örneğin; sıvı suyun ($\epsilon = 0.93$) dielektrik katsayısı, katı buzun ($\epsilon = 0.19$) dielektrik katsayısının yaklaşık beş kat fazladır. Buna göre; sıvı su, kuru buza göre radara beş kat daha fazla enerji yansıtır. Hedef hacim içerisindeki parçacıkların farklı sayı, şekil, biçim ve bileşimde olmaları radar denkleminde bir takım belirsizliklere neden olur. Bu belirsizliklerle radar verilerini yorumlamak zordur. Bu yüzden radar denklemi, birim hacim içerisindeki parçacıklar için aşağıdaki kabuller altında geçerlidir [11,36];

- Birim hacim içerisindeki farklı tipte hidrometeorlar (yağmur damlası, dolu, kar tanesi, buz kristali vb.) bulunsada dahi tüm parçacıklar aynı dielektrik katsayısına ve kırılma indisi faktörüne $|K|^2$ sahiptir,
- Birim hacim içerisindeki parçacıkların çapı gönderilen elektromanyetik dalga sinyalinin dalga boyundan küçük olduğu için Rayleigh saçıcısı gibi davranır.
- Parçacıklar küçük yapıda, rasgele ve homojen dağılımlı kürelerdir,
- Reflektivite Faktörü Z, birim hacmin her bir örnekleme süresi için değişmez ve sabittir,
- Anten parabolik reflektör tiptir ve anten kazancı doğru hesaplanmış ve bilinmektedir,
- Antenden hedefe gönderilen elektromanyetik dalga sinyalin ana lobu (main lobe) Gaussian dağılım fonksiyonu gösterir,
- Yan lobların etkisi ihmal edilebilir,
- Mikrodalga zayıflaması ve parçacıklar üzerinden çoklu saçılım ihmal edilebilir,
- Hedefe gönderilen ve alınan sinyaller lineer (doğrusal) polarizedir.

2.2. REFLEKTİVİTE FAKTÖRÜ (Z)

Radar, her bir yükseklik açısı için yatayda azimuth açısı kadar hacimsel tarama yapar ve azimuth açısının her bir derecesi için PRF frekansında elektromanyetik dalga sinyali gönderir. Bir sonraki elektromanyetik dalga sinyaline kadar dönüş sinyallerini dinler. Tarama yapılan her bir hacim içerisinde, su ve buz parçacıklarından oluşan farklı sayı, şekil ve boyutta saçıcı hidrometeor parçacıkları bulunur. Radar ürünlerinin yorumlanmasında kullanılan reflektivite faktörü, (2.8) denkleminde görüldüğü gibi taranan bu hacim içerisindeki her bir saçıcı parçacığın çapının altıncı kuvvetinin toplamıdır [11,36]. Reflektivite faktörü Rayleigh saçılım modelinden türetilmiştir. Birimi mm^6m^{-3} 'tür.

$$Z = \sum_{vol} D^6 \quad (2.8)$$

D Hacim içerisindeki parçacık çapı

1mm çapında 729 adet parçacıktan yayılan reflektivite faktörü = $729 \times 1^6 = 729 \text{ mm}^6 \text{m}^{-3}$

3 mm çapında 1 adet parçacıktan yayılan reflektivite faktörü = $1 \times 3^6 = 729 \text{ mm}^6 \text{m}^{-3}$

1 m³ hacim içerisinde 1 adet 3mm yağmur damlası ile 729 adet 1mm yağmur damlası aynı reflektivite faktörü değerine sahiptir.

Bir hacim için ifade edilen reflektivite faktörü, PRF frekansında gönderilen darbe sinyallerine karşılık radarda ölçülen reflektivite faktörlerinin ortalamasıdır. Ne kadar çok darbe için ortalama değer alınır o kadar hassas reflektivite faktörü değeri elde edilmiş olur [11].

Reflektivite faktörü değeri, 10.000.000 ile 0.001 arası bir değer alabilmektedir. Kullanım kolaylığı sağlanması amacıyla onluk tabana göre logaritması alınıp ölçek değişikliği yapılarak (2.9) elde edilmiştir [11,36]. Yeni değer birimi dBZ 'tir ve 70 ile -30 arası değer alabilmektedir.

$$dBZ = 10 \log_{10} Z \quad (2.9)$$

2.3. RADAR VERİSİNDEKİ SAPMALAR

Bu bölümde; tez çalışmasında kullanılan radar reflektivite verilerinin yanlış ölçülmesine ve dolayısıyla yanlış yağış tahmini yapılmasına neden olabilecek etkenler irdelenecektir.

2.3.1. Z-R Bağıntısından Kaynaklı Sapma

Farklı yağış tipleri ve dolayısıyla bu yağışların görüldüğü periyotlar için farklı Z-R bağıntıları mevcuttur. Özellikle tekil polarize radarlarda bu ilişkilerin sayısı çok fazladır (Bölüm 2.4.2 Tablo 2.3). Bu durumundan kaynaklı bağıntısının kendisi yağış miktarı tahmini için bir sapma kaynağıdır [4,9,34,36].

2.3.2. Işın Engellemesi (Beam Blockage)

Radar ışını kısmen veya tamamen topoğrafya ve engeller tarafından kesilebilir. Radarla hedef arasındaki ışının bu şekilde kesilmesi reflektivite ölçümünde düşük değer ölçülmesine dolayısıyla düşük yağış tahminine neden olur. Ayrıca yağışlı bölge radar tarafından görülememesi durumu gerçekleşmektedir [5,11,34].

2.3.3. Yerkürenin Şekli (Earth curvative)

Radar ışını, doğrusal hareketi boyunca yayılırken yerkürenin düz olmaması (küresel eğriliğe sahip olması) nedeniyle yer seviyesine göre ilerlerken yüksekte kalır. Yükselirken aynı zamanda radar ışınının taradığı hacim de genişler. Küçük alanlarda değişebilen yağış yoğunluğu, bu şekilde yol alan radar ışınının mesafeyle yükselmesinde dolayı yağışlı bölgeyi ya kısmen görebilir ya da hiç göremeyebilir [34,36]. Örneğin, dünyanın yuvarlaklığı nedeniyle radar ışını 200km menzilde yerden 4km, 400km menzilde yerden 13 km yukarıdadır [37].

2.3.4. Yağışın Düşey Dağılım Profili

Yağışın tipine bağlı olarak radarla alınan reflektivite ölçümleri yerdeki yağış miktarını her zaman tam temsil etmeyebilir. Konvektif yağış tiplerinde yağış dikine ve homojen olmayan bir şekilde dağılım gösterir. Özellikle, yerden belirli yükseklik açılarında yapılan ölçümler, yağışın yükseklikle değişik yoğunluğa sahip olması, yatayda (adveksiyon) ve dikeyde (konveksiyon) hareket etmesinden dolayı her zaman istenilen doğruluğu yansıtmaz [5,34,36]. Diğer taraftan, Bölüm 2.3.3 anlatılan hareket ile menzilde ilerledikçe daha üst seviyelerden alınmaya başlayan reflektivite ölçümleri daha alt seviyelerdeki etkin yağışı yakalayamaz.

2.3.5. Soğurma (Attenuation)

Radar tarafından gönderilen elektromanyetik dalgalar, atmosferde yayılırken içinden geçtikleri bölgedeki oksijen, su buharı, gazlar ve bulut içi yağış parçacıklarının (yağmur, kar ve buz kristalleri) varlığına bağlı olarak soğurularak (attenuation) zayıflamaya uğrarlar [5,11,34,36]. Zayıflama elektromanyetik dalganın Emilimi veya saçılmasıyla gerçekleşir. Elektromanyetik dalga havadaki parçacıkla karşılaştığında her yöne saçılarak çok az bir kısmı radar yönünde geri yayılır.

Oksijen ve su buharı belirli banttaki mikrodalgaları emerler (1,3 cm'de H₂O ve 5 cm'de O₂). Bulut içi parçacıklar ve yağışın neden olduğu zayıflama ise saçılma yoluyla olur ve daha çok elektromanyetik dalganın frekansı ile ilgilidir. Frekansın 3 Ghz 'in altında olan (dalga boyu 10cm ve daha fazla olan S-Band) radarlarda zayıflama azdır. Fakat frekans arttıkça ve dalga boyu da azaldıkça özellikle C-Band radarlarla birlikte zayıflama da artmaya başlar. Örneğin, düşük dalga boylu X-Band radarlarda kuvvetli (yoğun) sağanak yağış ve oraj hadisesi arkasında ve oraj hadisesinin 5-10 km etrafında %95 'lik bir oranda zayıflama meydana gelir [11]. Kar yağışında daha düşük ve ancak uzun mesafelerde kayda değer zayıflama oluşur [36]. C-Band, X-Band gibi düşük dalga boylu radarlarda zayıflama daha çok iken, yüksek dalga boylu S-Band tipi radarlarda kıyasla çok daha azdır. En fazla zayıflama düşük dalga boyuna sahip X-Band radarlarda görülür [11,12]. Bu tip radarlarda kısa mesafelerde çok yüksek zayıflama bulunur ve yağış miktarı tahmini için uygun değildirler.

Radar anteni ile hareketli parçalarının yağış ve rüzgârdan korunmasını sağlayan fiberglass (cam elyaf) maddeden yapılmış radome, az da olsa mikrodalga sinyalinde zayıflamaya neden olabilmektedir. Fakat asıl zayıflama, kuvvetli yağışlarda radomun yüzeyini bir film gibi kaplayan ince su ve buz tabakasından kaynaklanmaktadır [34,36].

2.3.6. Elektromanyetik Girişim

Radarın kapsama alanı içinde başka bir radar, cihaz veya mikrodalga hatlarından alınan girişim (interference) bazı durumlarda ölçümlerde hatalara neden olabilir. Bu durumun farkına varılması ve çalışma frekansında değişiklik yapılarak çözüm bulunabilir [36].

2.3.7. Zemin Dağınıklığı (Ground Clutter)

Gönderilen elektromanyetik dalgalar yeryüzündeki dağ, tepe, bina vb. engellere çarpar ve radar doğrultusunda yayılabilir. Engellerden yansıyan/yayılan bu tip eko sinyalleri radar için yanıltıcı refleksivite değerleridir ve yağış miktarı tahmininde sapmalara neden olur. Zemin dağınıklığı ekoları, ortalama sıfır hız değerine sahiptirler. Radar verisine ait her bir piksel için hız-kazanç Gaussian dağılımı yapıldığında bu etkinin var olduğu piksele ait veriler ayıklanabilir[5,34,36].

Aynı zamanda yağışın olmadığı bulutsuz ve açık bir havada radar taraması yapılarak zemin dağınıklığı ekolarının hangi piksellerde bulunduğu tespit edilir. Elde edilen bu haritalar daha sonra radar ürünü ilgili piksellerindeki zemin dağınıklığı etkisini ortadan kaldırmak için ürünü

piksel piksel maskelemekte kullanılır [4,5,34]. Maskelenen pikselden veri alınmaz. Bu işlem sonucu veri kayıpları oluşmaktadır.

2.3.8. Anormal Yayılım (Anomalous Propagation)

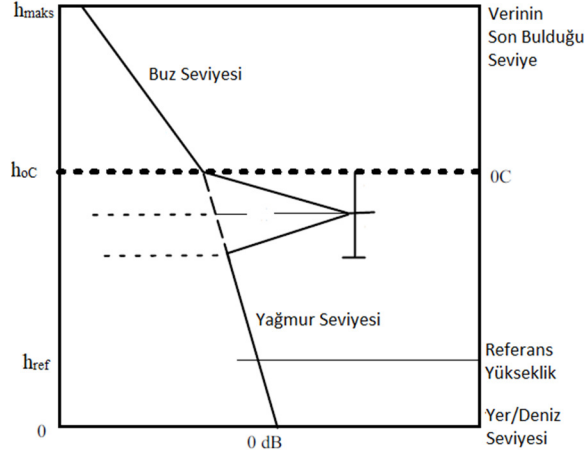
Gönderilen elektromanyetik dalga ışınındaki yayılma yönünde oluşan bozulmadır. Radar ışınının yeryüzüne doğru kırılması ile birlikte bükülmesi ve yeryüzüne çarparak radara doğru geri yansiyarak yayılması durumudur (Bölüm 2.1.2.2, Şekil 2.5). Herhangi bir yağış parçacığından kaynaklanmayan bu ekolar radar tarafından yağış gibi algılanır. Zemin dağınıklığını arttırıcı ve menzil dışından gelen ekolarla birlikte radarda menzil belirsizliğine neden olması söz konudur [36].

2.3.9. Menzil Belirsizliği (Range Ambiguity)

Gönderilen elektromanyetik dalganın tekrar aralığı PRI, darbe süresi ile bekleme sürelerinden oluşmaktadır. Aynı zamanda radarın menziline de belirleyen bekleme süresi yeterince uzun olmazsa; ikinci darbeye ait PRI süresi içinde hala birinci darbeye ait elektromanyetik dalgalar dinleniyor olabilir. Bu elektromanyetik dalgalar çok uzak mesafelere ait olmalarına rağmen ikinci darbe bekleme süresi içinde alındıkları için yakın mesafeye ait ekolar gibi değerlendirilirler [11,36]. Menzil belirsizliği (Range ambiguity) olarak adlandırılan bu durum istenmez ve bekleme süresinin kısa tutulması ile meydana gelir.

2.3.10. Parlak Bant Etkisi (Bright Band Effect)

Buz kristalleri, 0 °C sıcaklıkta hızla erimeye başlayarak sıvı su haline geçer. Sıvı su yüksek dielektrik katsayısından dolayı kuru buza göre radara beş kat daha fazla enerji yansıtmaktadır. Erime ile birlikte kuru kar taneleri içeriğinde su damlacıkları oluşmaya başlar, tam erime olmadığından boyutu da henüz büyüktür. İçerdiği sıvı su ve tam erimediği için çapının büyük olduğundan dolayı 0° sıcaklık seviyesinde reflektivite değerlerinde ani bir artış meydana getirir. Bu seviye parlak bant etkisinin görüldüğü seviyedir [11,12]. Erime ve parlak bant etkisi tamamen sıvı su (yağmur damlası) haline dönüşünceye kadar devam eder. Tam erime gerçekleştikten sonra küçülen yağmur damlası çok daha hızlı bir şekilde yeryüzüne düşmeye başlar.



Şekil 2.13: Parlak bant etkisinin görüldüğü 0°C 'nin görüldüğü yükseklik seviyesinde reflektivite eğrisindeki değişim.

Şekil 2.13 'te; 0 °C sıcaklığın karşılaşıldığı h_{oc} seviyesi parlak bant seviyesinin başlangıcıdır. h_{ref} , sıfır referans yüksekliği olarak ta adlandırılan yer veya deniz seviyesidir. Verinin son bulunduğu seviye h_{maks} seviyesidir. Yağmur seviyesi ile buz seviyesi arasında reflektivite eğrisinde değişimin yaşandığı bölgede su ve buz parçacıkları karışım halindedir. Yağmur seviyesinde reflektivite değeri normale dönmüş ve doğrusal olarak değişmeye başlamıştır.

2.3.11. Radar Denkleminden Kaynaklı Sapma

Radar denklemi için yapılan kabullerin oluşturduğu belirsizlikler radar reflektivite ölçümlerinde hatalara neden olabilir. Örneğin, birim hacim içerisinde farklı tipte hidrometeorlar (yağmur damlası, dolu, kar tanesi, buz kristali vb.) bulursa dahi tüm parçacıklar aynı dielektrik katsayısına ve kırılma indisi faktörüne $|K|^2$ sahip olduğu kabulü yapılmaktadır.

2.3.12. Radar Donanımından Kaynaklı Sapma

Elektromanyetik dalga sinyali üretme, gönderme, alma ve işleme sistemlerindeki doğruluk ve elektronik devre elemanlarındaki kararlı çalışma durumu önem taşımaktadır. Sinyallerdeki 1dB 'den düşük değişimler kabul edilebilir aralıkta olup üzeri değerleri algılayabilecek alarm sistemleri kullanılabilir.

2.4. YAĞIŞ MİKTAR TAHMİNİ

Bu bölümde, radar reflektivite ölçümleri ile yağış arasındaki nasıl bir ilişkinin bulunduğu ve Kalman Filtresi ile kıyaslanan geleneksel Z-R bağlantılarından bahsedilecektir.

2.4.1. Yağış ve Reflektivite İlişkisi

Meteoroloji radarı, azimuth açısı boyunca ve yerden belli bir açı yüksekliğinde menzile doğruğusunda atmosferde hacimsel taramalar yapar. Gönderilen elektromanyetik dalga sinyali havada asılı olan parçacıklar, kuş, böcek, uçak gibi nesnelere ile gazlar (oksijen vb.), su buharı, bulut içi parçacıklar, yağış damlaları, buz kristalleri, ıslak/kuru kar taneleri, dolu vb. hidrometeorlar ile çarpışır. Elektromanyetik dalganın çarpıldığı parçacıkta her yönde saçılma gerçekleşir. Gönderilen elektromanyetik dalganın ancak küçük bir kısmı radara geri döner. Geri yansıyan zayıflamış elektromanyetik dalganın bir oranı olan reflektivite faktörü elde edilir. Reflektivite faktörü Z, taranan hacim içerisindeki her bir saçıcı parçacığın çapının altıncı kuvvetlerinin toplamıdır (2.8).

Reflektivite faktör değeri taranan hacim içerisindeki parçacıklar hakkında bilgi verir. Birim hacim içerisinde dielektrik sabiti yüksek olan su damlacıklar çok daha fazla sinyal geri döndürürken içerisinde kuru buz bulunan kar vb. benzeri parçacıklar sinyal çok daha azını radara geri döndürür. Ancak Bölüm 2.1.5'te radar denkleminde de anlatıldığı gibi reflektivite faktörü bu hacim içindeki tüm farklı parçacıkları aynı büyüklükte, küresel ve gönderilen elektromanyetik dalganın dalga boyundan küçük çapa sahip olduğunu kabul eder. Bu kabul neticesinde birim hacim için tek bir eşit reflektivite faktörü Z kullanılır. Z aynı zamanda PRF frekansında gönderilen elektromanyetik dalga darbelerinden elde edilen reflektivite faktörü değerlerinin ortalamasıdır.

Bu bilgiler ışığında; radar reflektivite faktörü değerlerine karşılık gelen yağış çeşitleri aşağıdaki Tablo 2.2.'de verilmiştir [11].

Tablo 2.2: Radar reflektivite değerlerine karşılık gelen yağış tipleri [11].

Yağış Tipi	Z (dBZ)
Hafif çisenti ve böcekler	0
Çisenti, birkaç yağmur damlası, hafif kar ve göçebe kuşlar	10
Hafif yağmur veya orta şiddette kar, yaygın yağış (1 mm/saat)	25
Orta şiddette yağmur, kuvvetli yaygın yağış (5 mm/saat)	35
Konvektif yağışlardan kaynaklanan kuvvetli yağış (20 mm/saat)	45
Dolu veya çok kuvvetli (şiddetli) yağmur; gökgürültülü sağanak yağış (100 mm/saat ve üzeri)	55
Orta kuvvette veya şiddetli dolu	>60

2.4.2. Yağış Tahmini ve Z-R Bağıntısı

Meteoroloji radarları, yeryüzüne düşen yağışı doğrudan ölçmeyip yerden belirli yüksekliklerde gerçekleştirdikleri bir takım ölçümler ile yeryüzüne düşebilecek yağışı Z-R bağıntısı ile hesaplarlar [28]. Gerçekleştirdikleri reflektivite ölçümleri ile bulut içi yağış damlacıklarının çapı ve yeryüzüne bırakabilecekleri yağış miktarını belirlemeye çalışırlar. Aslında gerçek yağış miktarı ise metrekareye düşen yağış miktarı olan kg/m^2 (veya mm) cinsinden yağışölçerler ile ölçülür. İçeriğinde su veya buz bulunan yağış damlacıkları yeryüzüne inerken rüzgârın etkisiyle savrulabilir, buharlaşabilir veya faz değiştirebilirler ve sonucunda hiçbir zaman yağışölçerin çeperine düşmeyebilirler. Bu gibi sapmalar Bölüm 2.3'te anlatılmıştır. Reflektivite ölçümlerindeki bu sapmalar, yağış miktarını doğru şekilde belirlenmesine engel teşkil ederler.

Radar reflektivite faktörü ile yeryüzüne düşen yağış miktarı arasında geçerli tek bir ilişki yoktur[1]. Her iki parametre yığın arasında istatistikteki Kuvvet Yasası Modellemesi (Power Law Model) temel alınmış [7] bir ilişki (2.10) geçerlidir. Z-R (Reflektivite-Yağış) bağıntısı olarak adlandırılan bu ilişki [1,11,12,35], ilk olarak 1948 yılında Marshall ve Palmer tarafından kullanılmıştır.

$$Z = aR^b \quad (2.10)$$

Z-R bağıntısında; yağış miktarı yoğunluğu R (mm.saat^{-1}) ve reflektivite değeri Z ($\text{mm}^6.\text{m}^{-3}$) olup saçıcı parçacığın damlacık boyut dağılımına (2.8) bağlıdır [11,17]. Damlacık boyut dağılımı (Drop Size Distribution, DSD), yağışa bağlıdır ve yağış da coğrafi olarak değişiklik gösterir.

Z-R bağıntısındaki a ve b katsayıları, zamana/mekâna göre değişiklik gösterebilen rasgele parametreler olup aralarında üstel bir ilişki vardır. a ve b katsayıları, bir bölgede yapılan uzun

sürekli DSD ölçümleri sonucunda elde edilmiş yağış miktarı ile reflektivite değer çifti arasında yapılan lineer regresyon analizi sonucu bulunabilmektedir. DSD ölçümleri için kullanılan distrometreler, yağmur damlasının boyutu, çapı ve hızını ölçerek reflektivite faktörü değeri ile yağış miktarını hesaplayabilen optik cihazlardır. Tüm bu bilgiler ışığında, Z-R bağıntılarının ölçüme dayalı deneysel bağıntılar(empirical) olduğunu söylenebilir.

Z-R bağıntıları, çok farklı bölgelerde yapılan gözlemlere dayandığı için kısmen coğrafi alanlara göre fakat daha çok yağışın tipine, yoğunluğuna, karakterine (stratiform, konvektif), zamanına (yaz, kış, bahar gibi) ve oluşumuna bağlı olarak farklılıklar göstermektedir. Bu farklılıklar, her bir yağış oluşumunu etkileyen dinamik ve mikro fiziksel süreçlere bağlıdır. Bu yüzden Z-R bağıntıları bölgeden bölgeye az değişiklik gösterir [11].

a katsayısı, stratiform tipi geniş tabaka yağışlarında düşük değer alırken konvektif yağışlarda büyük değerler alır. b katsayısı ise tam tersi olarak konvektif yağışlarda düşük değer alırken stratiform tipi yağışlarda büyük değerler alır [34]. Küçük damlacıklara sahip çisenti gibi yağışları üreten sıcak hava süreçleri klimatolojik Marshall ve Palmer Z-R bağıntısına sahiptir. Z-R bağıntısındaki a katsayısı küçük değerler alır ve yağmur damlasının küçük oluşundan dolayı zayıf reflektivite faktörü değer ölçülür.

Tablo 2.3: Yağış tipine göre kullanılan Z-R bağıntıları [1].

Z-R arasındaki deneysel bağıntı	Yağış Tipi	Referans
$Z=140 R^{1.5}$	İnce yağmur(çisenti)	Joss (1970)
$Z=200 R^{1.6}$	Stratiform tipi yağış (geniş tabaka bulutlardan)	Marshall ve Palmer (1948)
$Z=250 R^{1.5}$	Geniş yayımlı yağmur	Joss (1970)
$Z=250 R^{1.2}$	Harikeyn ve tropikal fırtınalar	Rosenfeld et al. (1993)
$Z=300 R^{1.4}$	Konvektif yağış	NEXRAD WSR-88D radar ağı, ABD
$Z=500 R^{1.5}$	Gök gürültülü sağanak yağış, oraj	Joss (1970)
$Z=485 R^{1.37}$	Fırtınalı yağmur	Jones (1970)
$Z=31 R^{1.7}$	Oroğrafik yağmur	Blanchard (1948)
$Z=2000 R^{2.0}$	Kar	Gunn ve Marshall (1958)

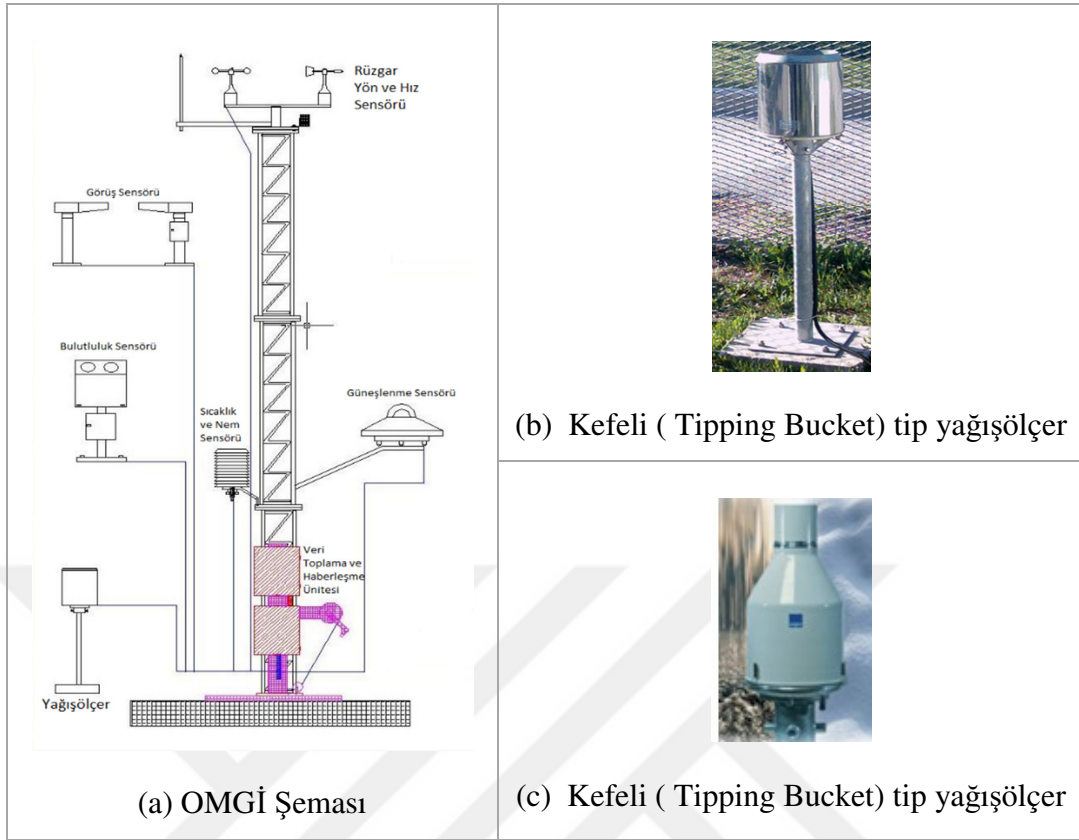
Tablo 2.3 'te görülen Z-R bağıntılarından Marshall-Palmer'a ait $Z=200.R^{1.6}$ bağıntısı stratiform tipi geniş tabaka yağışlarında tercih edilirken [11,27] konvektif karakterli yağışlarda ABD Ulusal Meteoroloji Servisi (National Weather Service, NWS) Gelecek Nesil Meteoroloji Radar (Next Generation Weather Radar, NEXRAD) ağı ölçümlerinde standart olarak kabul gören $Z=300R^{1.4}$ ilişkisi kullanılmaktadır [1,5,34,37]. Stratiform yağış tipi ile konvektif yağış tipinden ayıran birçok ölçüt mevcuttur [11,19,25]. Öncelikle kümülüs tipi bulutluluk, konvektif havayı

ve bu havaya bağlı konvektif yağışı karakterize etmektedir. Konvektif hava kütlesi hızlı ve etkilidir. Stratiform tipi yağışlar ile kıyaslandığında konvektif yağışlar kararsızdır, bulut içinde dikey hareketler mevcuttur. Stratiform tipi yağışlarda yağmur damlacıkları çoğunlukla aşağı yönlü iken konvektif yağışlarda damlacıklar hem yukarı hem de aşağı yönlüdür [19]. Diğer taraftan stratiform tipi yağışlar küçük konveksiyon hücreleri içerebilir [11]. Olağan radar dalga boylarında, 40 dBZ üzeri güçlü ekolar konvektif yağışlarda görülür; 60 dBZ üzeri ekolar da genellikle dolu hadisesi ile ilişkilendirilir. Stratiform tipi yağışlarda genellikle 40 dBZ üzeri reflektivite değerlerine rastlanmaz.

2.5. OTOMATİK METEOROLOJİ GÖZLEM İSTASYONU (OMGİ)

OMGİ, sıcaklık, nem, yağış, rüzgâr, güneşlenme, hava basıncı, görüş ve bulutluluk gibi temel meteorolojik parametrelerin otomatik olarak ölçüldüğü ve haberleşme hatları ile merkezi bir sisteme gönderildiği yer ölçüm istasyonlarıdır. Aynı zamanda Otomatik Hava İstasyonu (Automatic Weather Station, AWS) veya içerdigi haberleşme sistemi dâhil edilerek Otomatik Hava Gözlem Sistemi (Automated Weather Observing System, AWOS) olarak da adlandırılmaktadır. Tez çalışmasında Otomatik Meteoroloji Gözlem İstasyonu (OMGİ) adlandırması kullanılacaktır. OMGİ, tam otomatik olarak çalışabilmesinin yanı sıra yürütülen hizmetin içeriğine bağlı olarak havacılık ve askeri vb. birtakım faaliyetlerde kullanılan kodların oluşturulması için de veri sağlayan yarı otomatik sistem olarak ta çalışabilmektedir. OMGİ'ler dakikalık olarak ölçtüğü meteorolojik parametreleri, kablolu (DSL), kablosuz (GSM/GPRS) hatlarla veya VSAT uydu haberleşme sistemleri ile merkezi mesaj anahtarlama sistemine iletirler. OMGİ kullanılarak;

- Yer gözlemi yapılan nokta sayısını arttırarak ölçüm yapılamayacak konumlarda dahi ölçüm yapmak,
- Sayısal ölçüm ve değerlendirme sistemleri kullanarak insan hatalarını azalmak ve ölçümün güvenilirliği yükseltmek,
- Dakikalık ölçümler yaparak zamansal çözünürlüğü arttırmak,
- WMO'nun istediği standartlara uygun yer gözlem ağı kurmak ve işletim masraflarını azaltmak amaçlanmaktadır.

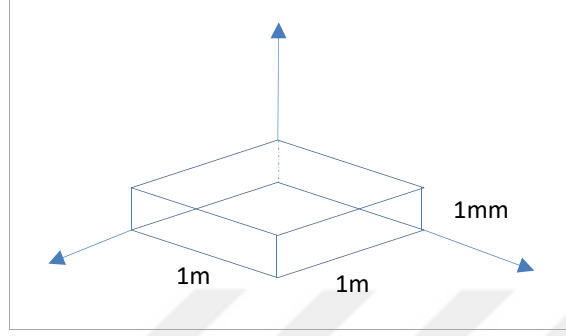


Şekil 2.14: (a) OMGİ şeması (b) Kefeli (Tipping Bucket) tip yağışölçer (c) Ağırlıklı (Weighing) tip yağışölçer.

2.6. YAĞIŞÖLÇER (RAIN GAUGE)

Yağışölçer, yağış miktarını ölçmekte kullanılan en temel cihaz olup ölçüm tipine göre manuel veya otomatik olabilirler. Otomatik ölçümlerde kullanılan yağışölçerler elektronik tiptir. OMGİ'lerde kefeli (tipping bucket rain gauge) veya ağırlıklı tip (weighing rain gauge) elektronik yağışölçer kullanılmaktadır. Kefeli tip yağışölçerlerde yağış damlaları iki kepçeli sistemde birinin içinde toplanır, belirli bir ağırlığı geçince kepçedeki su boşalır ve pozisyon değişerek diğer kepçeye su dolmaya başlar. Kepçedeki pozisyon değişimi birer darbe üretir. Elektronik sistem bu darbeleri sayarak ölçümü gerçekleştirir. Ölçüm hassasiyeti 0.1 mm veya 0.2 mm 'dir. Üretilen darbelerin sayısı ölçüm hassasiyeti ile çarpılarak yağışın miktarı hesaplanır. Ağırlıklı tip yağışölçerlerde yağışın özgül ağırlığından yola çıkılarak m^2 ye düşen yağış kg cinsinden ölçülür.

Düz bir yüzeye düşen yağışın yerde birikerek oluşturduğu yükseklik, yağış miktarı olarak adlandırılır. Toplama alanına düşen yağış miktarı, lineer bir yüksekliktir. Kütleli (kg.m⁻²) veya hacimsel (mm) olarak ifade edilebilir. 1 m² ye düşen 1 kg yağış miktarı, 1 m² 'lik alanda 1mm 'lik yükseklik oluşturur (Şekil 2.15).



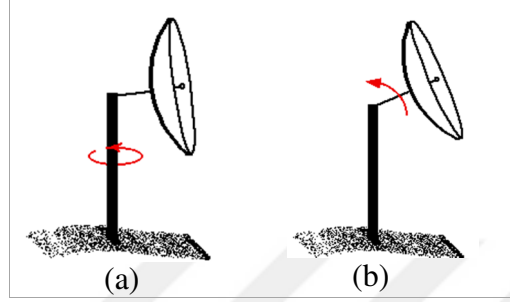
Şekil 2.15: 1mm'lik yağışın yüksekliği, 1 m² ye düşen 1kg yağışa denktir.

Yağış yoğunluğu veya düşen yağışın birim zamandaki oranı lineer yağış ölçümüdür ve birimi mm.saat⁻¹ 'tir.

WMO'nun yağış ölçümü hakkındaki standartlarını incelendiğinde; “yağış istasyonları için yağışölçer konulacak noktanın sayısı ve yeri o bölgeye düşecek yağışı ne ölçüde temsil ettiğiyle doğrudan orantılıdır” denilmektedir [35]. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün kurup işlettiği OMGİ 'ler bu standartlara uygun kurulmuş ve kurulduğu bölgenin ortalamasını temsil etmektedir.

2.7. RADAR ÜRÜNLERİ

Meteoroloji Radarı, PPI (Plan position Indicator) ve RHI (Range Height Indicator) olmak üzere 2 tür tarama gerçekleştirir. Radarın yatayda kendi etrafında yaptığı tarama PPI ve sabit bir azimuth açısında dikeyde bir aralıkta yaptığı tarama ise RHI tarama olarak adlandırılır.



Şekil 2.16: Radar (a) PPI ve (b) RHI taraması (“University of Illinois WW2010 Project” sayfası [http://ww2010.atmos.uiuc.edu/\(Gh\)/guides/rs/rad/basics/cnmod.rxml](http://ww2010.atmos.uiuc.edu/(Gh)/guides/rs/rad/basics/cnmod.rxml) adresinden alınmıştır).

Radar ağının operasyonel olarak işletilmesi; tarama sonrası sinyallerin işlenmesi; ham veri dosyalarının oluşturulması; ham verilerden ürünlerin elde edilmesi ve görüntülenmesi gibi işlemler merkezi veya dağıtık yapıda bir bilgi işlem gücü gerektirir. Bu bilgi işlem yapısının ortasında bir uygulama vardır. Bu uygulama ile önce ham veri oluşturulur, sonra ham veri işlenerek diğer ürünler elde edilir.

Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün işlettiği radar ağında Vaisala firmasının IRIS (Interactive Radar Information System) Radar yazılımı kullanılmaktadır. Bu uygulama ile elde edilebilen ürünlerden bazıları şunlardır; PPI (Plan Position Indicator), RHI (Range Height Indicator), MAX (Maximum Display), CAPPI (Constant Altitude PPI), SRI (Surface Rainfall Intensity).

2.7.1 PPI (Plan Position Indicator)

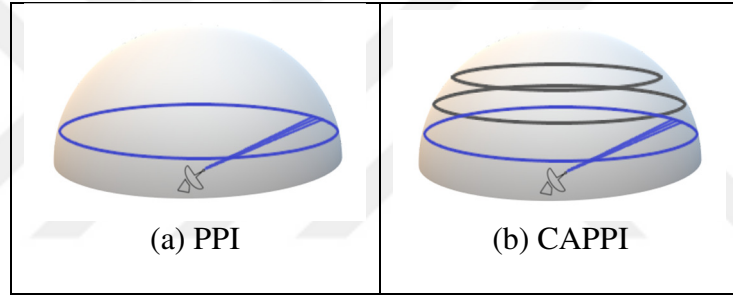
Havanın genel durumu hakkında bilgi veren temel bir üründür. Surveillance (gözetleme) ürünü olarak ta adlandırılır. Radarın sabit azimuth açısında yatayda yaptığı 360° lik açılal taramalardan oluşur. C-Band Doppler radarlarda dalga boyuna bağlı olarak menzilde 300km mesafelere kadar ulaşılabilir. Hacimsel RHI taramasından daha kısa sürede elde edilir. Hızlı gelişim gösteren fırtınaların tespitinde kullanılan bir üründür.

2.7.2 RHI (Range Height Indicator)

Özellikle dikine bulutluluk gelişimi gösteren konvektif karakterli yağışlarda ve fırtınalarda atmosferin dikine kesitinin alınması amacıyla hava tahmincileri tarafından yağışın etkisinin ve gelişiminin rahatlıkla takip edebildiği bir üründür. Azimut açısı sabit iken dikeyde belirlenen bir açı aralığında (örneğin 1° ile 15° arası gibi) yapılan taramalardan elde edilir.

2.7.3 CAPPI (Constant Altitude Plan Position Indicator)

Belirli yükseklik (elevation) açılarında ve bu açılara denk gelen her bir yükseklik seviyesi için yatayda radarın yaptığı PPI taramalarının oluşturulan hacimsel PPI ürünüdür. Yine havanın genel durumu hakkında bilgi veren temel bir üründür. Atmosferin belirli yükseklikleri için yatay kesiti verebildiği için havacılıkta için önem taşır.



Şekil 2.17: Çok seviyeli (a) PPI taramaları ve (b) CAPPI ürünü [11,12].

Hacimsel taramadan dolayı radara yakın bölgelerde yüksek seviyelerin taranması güçleşir, yüksek seviyelerden sağlıklı veri alınamaz. Radardan uzaklaşıldıkça da taranan hacim genişler; örneğin 1° lik açısal çözünürlüğe sahip radar ışını 180 km mesafeye ulaştığında 3 km'lik bir alanı kapsayacak kadar genişlemektedir.

CAPPI ürünü, birçok seviyeden veri sağlaması, atmosferin dikey kesitini alarak incelenebilmesine olanak vermesi, yine dikey olarak yağışa dönüşebilir su miktarını içeren VIL (vertical integrated liquid) ve N saatlik yere düşen toplam yağışı veren RAINN benzeri ürünlerin elde edilmesinde kullanılabilmesi açısından tercih edilen temel bir üründür.

3. MALZEME VE YÖNTEM

Radar verilerinin Bölüm 2.3 'de anlatılan sapmaların varlığı irdelenerek ön işlemden geçirilmesi özellikle anlık reflektivite değerlerine göre yağış tahmini yapılan Z-R bağlantıları için büyük önem taşımaktadır. Bu bölümde; OMGİ yağışölçer verileri ile CAPPI radar verisi ve düzeltmeleri anlatılmış; saatlik yağış ve radar verilerinin nasıl hazırlandığı açıklanmıştır. Ayrıca Kalman Filtresi tahmin modeli ile süreç ve ölçüm modellerinin kestirimi ve Kalman Filtresi çalıştırılması anlatılmıştır.

3.1. STRATIFORM VE KONVEKTİF YAĞIŞLAR

Stratiform tipi yağışla konvektif yağışı birbirinden ayırmak için birçok ölçüt mevcuttur [9,11,19]. Kümülüform tipi bulutluluğun varlığı konvektif havayı ve konvektif yağışı belirlemekte ilk ölçüt kabul edilebilir. Konvektif hava kütleleri hızlı ve etkilidir. Stratiform tipi yağışla kıyaslandığında konvektif yağışlar kararsızlık ve bulut içinde dikine hareketler bulunur. Stratiform tipi yağışlarda bulut içinde sadece aşağı yönlü hareket varken konvektif yağışlarda hem yukarı hem de aşağı yönlü hareketler vardır. Stratiform tipi yağışlar aynı zamanda küçük konvektif hücreler içerebilirler [11].

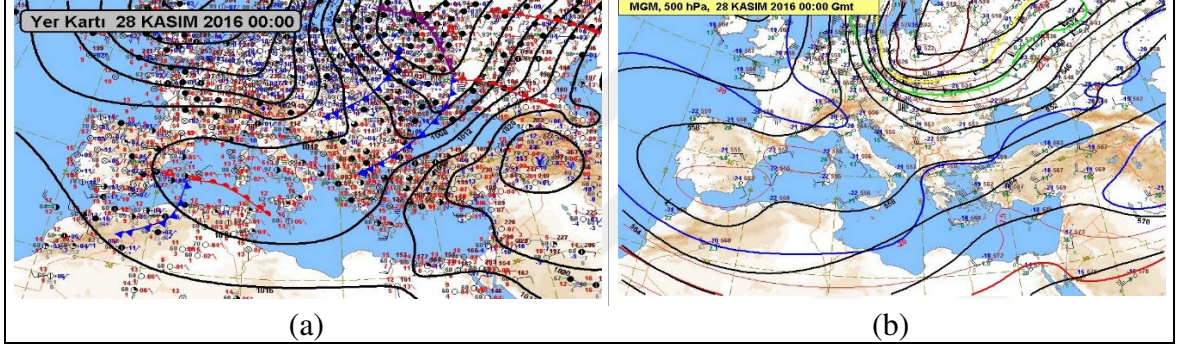
Diğer bir ölçüt te buzun erimeye başladığı seviye olan parlak bant seviyesinin varlığıdır. Parlak bant seviyesi genelde stratiform tipi yağışlarda 0°C (veya çok az sıcak) sıcaklığının görüldüğü seviyedir. Donmanın başladığı seviye olarak da adlandırılabilir. Bölüm 2.3.10 'da anlatıldığı gibi buzun erirken içerdiği su miktarının artması fakat tam erimediği için çapını da korumasından dolayı bu seviyedeki reflektivite değerlerinde ani artışlar meydana gelir.

Konvektif yağışlarda genellikle 40 dBZ ve üzeri reflektivite değerleriyle karşılaşılabılır. 53 dBZ ve üzeri reflektivite değerlerinde ise genelde dolu hadisesi beklenir.

Konvektif yağışlarda; orta kuvvette veya kuvvetli yağış olarak sınıflandırılabilmek için saatlik yağışların 10 mm.saat-1 ve üzerinde olması beklenir.

3.2. ÇALIŞILAN PERİYODUN METEOROLOJİK AÇIDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

28 ve 30 Kasım 2016 tarihleri arasındaki 3 günlük periyot üzerinde çalışılmıştır. 28 Kasım 2016 00GMT tarihine ait Şekil 3 (a) 'da görülen Yer Kartı ve Şekil 3 (b)'deki 500mb Yüksek Seviye Kartları incelenmiştir. Buna göre; bölgemizin yüksek basınç sisteminin etkisi altında iken batıdan yaklaşan, merkezi kuzeyimizde olan soğuk ve yağışlı alçak basınç sistemi ile buna bağlı soğuk cephe hattının etkisi altına girdiği görülmektedir. Sonraki iki gün içinde soğuk cephe hattı Marmara Bölgesi üzerinden geçerek kuzeydoğuya çekilmiştir. Alçak sistemin Güney Avrupa üzerine sarkan kısmı doğuya ilerleyerek ülkemizin batı ve güney kısımlarında etkili olmuştur.



Şekil 3.1: 28 Kasım 2016 tarihi 00GMT tarihine ait (a) Yer Kartı (b) 500mb Yüksek Seviye Kartı (www.mgm.gov.tr adresinden alınmıştır).

Bölgemizde 3 günlük süre boyunca; geniş soğuk cephe bandı önünde ve arkasında stratiform tipi geniş tabaka yağışları görülmüştür. Aşağıdaki tabloda görüldüğü gibi yağışın ilk gün içinde saatlik olarak yer yer 10 mm.saat-1 civarında oluşu (B.Çekmece 12.4mm, Samandıra 9,8mm, Şişli 9.6 mm, Vefa 9.0 mm, Sarıyer 8.8mm gibi) stratiform tipi yağış içerisinde kısa süreli lokal küçük konvektif hücrelerin bulunabileceğini göstermektedir. Bu yüzden ZR2 ($Z=300.R^{1.4}$) Kalman Filtresi ile karşılaştırılmak üzere çalışmaya dâhil edilmiştir.

Tablo 3.1: 28-30 Kasım 2016 tarihleri arasında ölçülen günlük toplam yağışlar (Meteoroloji Genel Müdürlüğünden sağlanan dakikalık veriler kullanılmıştır).

	28.11.2016*		29.11.2016	30.11.2016	3 günlük
Şişli	72,7	13:00 9,6	34,1	4,5	111,3
Ümraniye	62,5		29,6	9,1	101,2
Sancaktepe	54,1	14:00 8,1	36,1	17,8	108
Kadıköy	59,2		24,6	8	91,8
Darıca	46,7		20,7	0,8	68,2
Florya	63,4		21,8	1,6	86,8
Üsküdar	64,9		27,6	8,7	101,2
Samandıra	55,4	08:00 9,8	33,4	15,8	104,6
Tuzla	46,7		21,5	0,7	68,9
Kartal	14,6		6,8	0,8	22,2
B.Çekmece	71,4	12:00 12,4	20,4	0,6	92,4
Vefa	74	13:00 9,0	29,6	5,6	109,2
Sarıyer	56	12:00 8,8	35,4	2,5	93,9
Davutpaşa	63,2		42,6	1,8	107,6
Eyüp	58,2	13:00 8,3	30,9	5,8	94,9

*Saat GMT olup yerel saat için +3:00 saat eklenecektir.

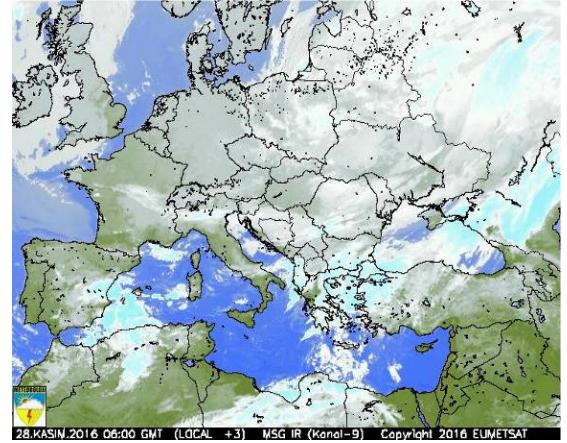
Tablo 3.2: İstanbul Ravinonde Yüksek Atmosfer Gözlemi TEMP verileri ile yer ve yüksek seviye bilgileri kullanılmıştır(EK-4).

Tarih ve TEMP Gözlem Saati (GMT)	Yer Seviyesi Sıcaklığı (°C)	0 °C Sıcaklığın ilk Görüldüğü Seviye (m)	Yer Seviyesi Rüzgar Yön(derece) ve Hızı (knot)	Yer – Üst Seviye (1km) arası Ortalama Rüzgar Yönü(derece) ve Hızı (knot)
27.11.2018 12	16.2	2777 m	260 ° / 3 knot	229 ° / 19 knot
28.11.2018 00	12.6	2417 m	060 ° / 4 knot	219 ° / 21 knot
28.11.2018 12	12.2	2466 m	080 ° / 4 knot	207 ° / 14 knot
29.11.2018 00	9.2	1977 m	040 ° / 4 knot	124 ° / 7 knot
29.11.2018 12	7.2	1167 m	050 ° / 6 knot	060 ° / 25 knot
30.11.2018 00	6.2	811 m	020 ° / 8 knot	034 ° / 31 knot
30.11.2018 12	4.4	611 m	005 ° / 20 knot	031 ° / 26 knot

Periyodunun başında yer seviyesi sıcaklığı 16.2 °C iken periyod sonuna doğru 4.4 °C 'lere kadar düşmüştür. Yerdeki rüzgâr hızı ortalama 4 knot'tan hafif kuvvette esmektedir. Yüksek seviyelerde ise rüzgâr önce güneybatı yönünden ortalama 20knot civarında ve sonrasında doğu yönünden ortalama 25-30knot hızında esmeye başlamıştır. Rüzgâr yönündeki değişim ve hızındaki artışı ile birlikte yer ve üst seviyelerdeki sıcaklık düşmüştür. 29.11.2016 12:00GMT'den itibaren üst seviyelerde 0°C 'ın yüksekliğinin düşmesi ile birlikte bölgede parlak bant etkisinin görülme riski oluşmuştur.



(a)

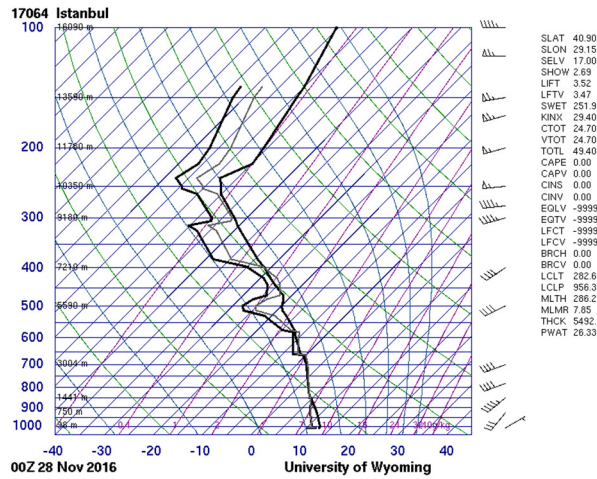


(b)

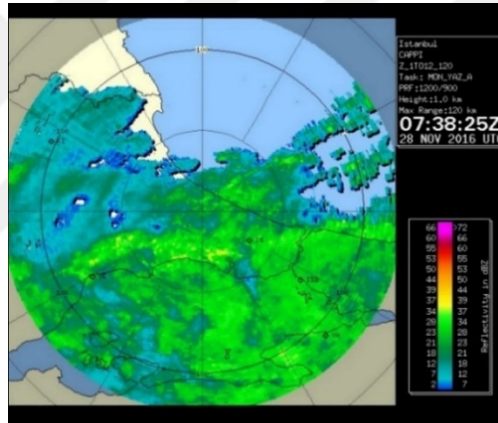
Şekil 3.2: 28 Kasım 2016 tarihi 00GMT tarihine ait (a) 07:37GMT Radar PPI Görüntüsü (b) 06:00GMT MSG Infrared Uydu Görüntüsü (Meteoroloji Genel Müdürlüğünden sağlanan radar verileri www.mgm.gov.tr adresinden sağlanan veriler kullanılmıştır).

Şekil 3.2 (a) 'da görülen radar ve Şekil 3.2 (b)'de görülen uydu görüntülerinden yağışlı sistemin geniş bir bölgede etkili olduğu görülmektedir. Kızılötesi (Infrared, IR) Uydu görüntüleri yüzeyden ve atmosferden yayılan kızılötesi radyasyonun ölçülmesi ile elde edilir. Kanal 9 IR görüntüsü genelde bulut tepe sıcaklıkları hakkında bilgi verir. Bölgemiz üzerinde görünen parlak renkler bulutluluğun üst seviyelere kadar mevcut olduğunu göstermektedir.

Benzer durum Şekil 6'daki TEMP diyagramında da görülmektedir. TEMP diyagramını incelediğimizde; sıcaklık ve işba (çiğ noktası) sıcaklığı eğrilerinin üst seviyelere çıkıldıkça birbirine yakın durmaya devam etmesi ve üst seviyelere çıkıldıkça bulutluluk ile nemli havanın var olduğunu göstermektedir. TEMP diyagramının hemen sağındaki CAPE, CINV gibi kararsızlık endeksleri sıfır değerinde olup konvektif aktivitenin bulunmadığına işaret etmektedir.



Şekil 3.3: 28 Kasım 2016 00GMT tarihli İstanbul Ravinsonde Yüksek Atmosfer Gözlemi TEMP Diyagramı (University of Wyoming, <http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html> adresinden alınmıştır).



Şekil 3.4: 28 Kasım 2016 07:38 GMT İstanbul Radarı CAPPI Görüntüsü (Meteoroloji Genel Müdürlüğünden sağlanan dakikalık veriler kullanılmıştır).

Şekil 3.4'te; Marmara Bölgesi üzerindeki yağışlı sistemin CAPPI görüntüsü görülmektedir. Periyod boyunca CAPPI radar ürünü ilk seviye (1-2km) ve ikinci seviye (2-3km) reflektivite değerleri, 30-40 dBZ arasında düzgün dağılım göstermiştir. Yağışlar saatlik olarak en fazla B.Çekmece'de 12.4mm, Samandıra'da 9,8mm, Şişli'de 9.6 mm ve Vefa'da 9.0 mm (Tablo 3.1) olarak gerçekleşmiştir. Stratiform tipi yağış içerisinde kısa süreli yerel küçük konvektif hücrelerin bulunabileceğini [11] de düşünerek; çalışma periyodumuz içinde görünen yağışlar stratiform tipi yağış olarak değerlendirilmiştir [11,19,25]. Fakat ilk gün içindeki Büyükçekmece, Şişli ve Samandıra 'da yerel olarak konvektif hücrelerin bulunduğu sonucuna varılmıştır. Bu sebeple çalışmamızda; Tablo 2.3'te verilen bağıntılardan hem stratiform hem de konvektif yağış tipine ait $ZR1 (Z=200.R^{1.6})$ ve $ZR2 (Z=300.R^{1.4})$ bağıntılarına ait yağış tahminleri Kalman Filtresi tahminleri ile kıyaslanmak üzere çalışmaya dâhil edilmiştir.

3.3. CAPPI RADAR VERİSİ VE OMGİ KONUMLARININ BULUNMASI

Çalışmada, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün işlettiği Çatalca-İstanbul meteoroloji radarı reflektivite (dBZ) verileri kullanılmıştır. EK-6 'da Meteoroloji Genel Müdürlüğünden alınan veri kullanım izin yazısı sunulmuştur. İstanbul Çatalca radarı ve CAPPI ürününe ait bilgiler Tablo 3.3'te verilmiştir.

Tablo 3.3: İstanbul Çatalca radarı ve CAPPI ürün bilgileri.

Parametre	Değer
Tip	C-Band Doppler
Enlem	41,34114837646484 Kuzey
Boylam	28,35663986206055 Doğu
Rakım	381 m
Radar sinyali dalga boyu	5.33 cm
Işın genişliği	0.56 °
Tarama Alanı yarıçapı	120 km
Radar ürünü	CAPPI
Ürün yerden yüksekliği	1 km
Grid çözünürlüğü	720x720 piksel
Grid alanı	~0.1111 km ²
Merkez grid (radar)	(360,360)
Zamansal çözünürlük (Örnekleme aralığı)	7.5 dakika

Çalışmada kullanılan CAPPI radar ürünü, ilk seviyesi (elevation level) yerden 1 km yukarıda olmak üzere toplam 12 seviye için reflektivite faktörü değerleri içermektedir. 120km yarıçaplı kapsama alanına sahiptir. Kapsama alanı 720x720 adet piksel için veri içermektedir. Her bir pikselin x ve y eksenleri boyunca uzunlukları eşit ve 33333 cm (~0,333 km) 'dir. Bir pikselin temsil ettiği alan yaklaşık 0,1111 km² (0,33333km x 0,33333 km) 'dir. CAPPI verisi için z eksenini boyunca (dikey eksen) çözünürlük 99.998 cm (~ 1 km) 'dir.

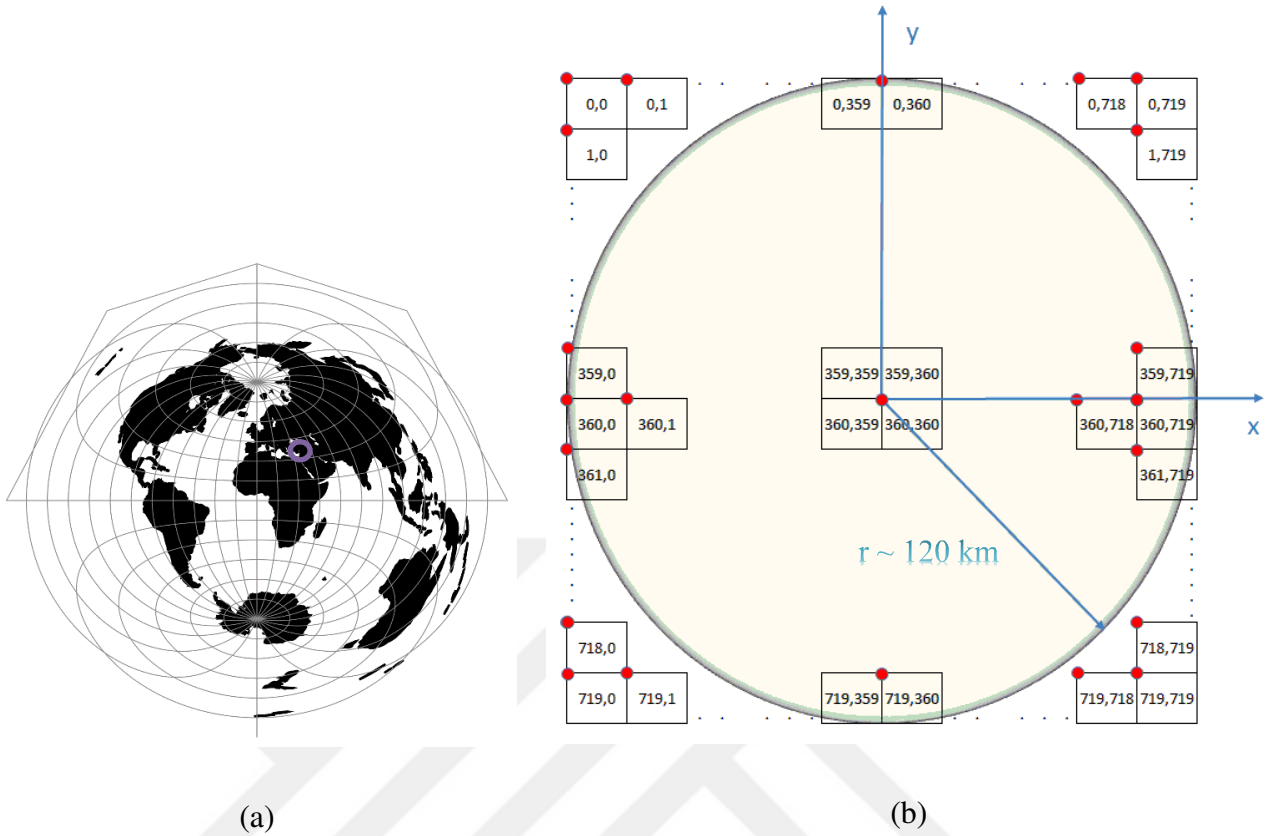
Tez çalışmasında kullanılan IRIS CAPPI Ürünü Binary Dosya Formatı Tablo 3.4'te verilmiştir. Örnek olarak 28 Kasım 2016 tarihine ait CAPPI ürün dosyası başlık (header) bilgileri EK-3 'te verilmiştir.

Tablo 3.4: IRIS CAPPI ürünü binary dosya formatı, [33] 'te verilen bilgilerden derlenmiştir.

Veri Alanı	Yapı	Boyut	Toplam Boyut
<product_hdr> *	structure_header	12 byte	640 byte
	product_configuraion	320 byte	
	product_end	308 byte	
Optional <protect_setup>			1024 byte
Binary Data Area			Değişken boyut
(Seçimlik) Extended Product Header	product_header_extensions	10 byte(CAPPI için) 20 byte(RAW veri için)	Değişken boyut
(Seçimlik) Additional Binary Data Area			Değişken boyut

* 28 Kasım 2016 tarihine ait CAPPI Ürün Dosyası Örnek Başlık (Header) Bilgileri EK-3'te verilmiştir.

CAPPI radar verisi, açık kaynak kodlu wradlib (weather radar data processing library) kütüphanesi kullanılarak Python 3.6 script tabanlı programlama dilinde geliştirilen bir programla okunmuştur. [13] 'de raster CAPPI radar verisi, ArcView GIS yazılımı ile işlenmiştir. Çalışmamızda, CAPPI radar verisi "Azimuthal Equidistant" projeksiyonuna sahip ve 720x720 pikselden oluşan raster veridir. Merkez noktası, (360,360) numaralı pikselin sol-üst köşesidir. Çatalca-İstanbul radarı, tam orta nokta olan 41,34114837646484 Kuzey enlemi ile 28,35663986206055 Doğu boylamında bulunur. CAPPI radar verisi; 2 byte uzunluğunda reflektivite faktörü değeri (DB_DBZ2 – 2 byte) ile bu değer merkez noktaya (radar) olan x ve y eksenleri (doğu-kuzey yönleri) boyunca uzaklıklarını içerir.



Şekil 3.5: (a) Azimuthal Equidistant projeksiyon (https://proj4.org/_images/aeqd.png adresinden alınmıştır) ve (b) CAPPI radar verisi 720x720 piksel yerleşimi.

Her bir pikselin x-y eksenleri doğrultusunda radara olan uzaklıkları kullanılarak Python 3.6 script tabanlı programlama dili ve pyproj 1.9.5.1 kütüphanesi ile geliştirilen bir program yardımıyla her bir pikselin enlem-boylam koordinat değerleri bulunmuştur. Çalışmada kullanılan OMGİ'lerin enlem-boylam değerleri, hesaplanan piksellerin enlem-boylam değerleri ile karşılaştırılarak her bir OMGİ'nin hangi piksel içinde kaldığı belirlenmiştir.

Çatalca Radarı ve kapsama alanındaki OMGİ'lere ait Enlem-Boylam ve rakım değerleri ile OMGİ'lerin CAPPI radar verisinin 720x720 piksel içinde hangi piksel konumunda bulunduğu hesaplanarak Tablo 3.5'de verilmiştir. OMGİ'lerin içinde buldukları ve komşu piksellerin radara olan uzaklıkları ile enlem-boylam değerleri EK-1 'de verilmiştir.

Tablo 3.5: Çatalca radar sahası kapsama alanındaki OMGİ'lerin CAPPI verisi piksel konumları.

	Enlem (derece)	Boylam (derece)	Rakım (m)	CAPPI Piksel Konumu (sıra/sütun)
Çatalca Radar	41.3412	28.3566	381	(360,360)
Şişli	41.0547	28.9683	60	(455,514)
Ümraniye	41.0294	29.1383	191	(463,556)
Sancaktepe	41.0086	29.2822	110	(470,593)
Kadıköy	40.9883	29.0190	5	(477,526)
Darıca	40.7736	29.3900	123	(547,621)
Florya	40.9758	28.7865	37	(481,468)
Üsküdar	41.0328	29.0464	75	(462,533)
Samandıra	40.9866	29.2135	123	(477,576)
Kartal	40.9113	29.1558	18	(502,561)
Tuzla	40.8278	29.2931	3	(530,596)
Büyükçekmece	41.0453	28.5900	20	(458,418)
Vefa	41.0155	28.9601	10	(468,512)
Sarıyer	41.1464	29.0502	59	(424,534)
Davutpaşa	41.0266	28.8853	68	(465,493)
Eyüp	41.1028	28.9242	54	(439,502)

Enlem ve Boylam değerlerini bilinen bir konumun Kartezyen Koordinatları (3.1,3.2,3.3,3.4) ile hesaplanıp her iki konum arasındaki mesafe (3.4) ile bulunabilmektedir. Bu yöntem kullanılarak enlem-boylam değerleri bilinen Çatalca radarı ile her bir OMGİ 'nin radara olan uzaklıkları hesaplanmıştır. Her bir OMGİ için hesaplanan mesafenin; OMGİ 'nin içinde bulunduğu piksel ile bir sonraki pikselin Çatalca radarına olan uzaklıkları arasında kaldığı görülmüştür.

$$X = \cos(\text{Enlem}) \cos(\text{Boylam}) R_{\text{dünya}} \quad (3.1)$$

$$Y = \cos(\text{Enlem}) \sin(\text{Boylam}) R_{\text{dünya}} \quad (3.2)$$

$$Z = \sin(\text{Enlem}) R_{\text{dünya}} \quad (3.3)$$

$$\begin{aligned} \text{Mesafe}_{\text{radar-omgi}} \\ = \sqrt{(X_{\text{Radar}} - X_{\text{Omgi}})^2 + (Y_{\text{Radar}} - Y_{\text{Omgi}})^2 + (Z_{\text{Radar}} - Z_{\text{Omgi}})^2} \end{aligned} \quad (3.4)$$

$$\text{Mesafe}_{\text{piksel-radar}} = \sqrt{X_{\text{piksel(doğu)}}^2 + Y_{\text{piksel(kuzey)}}^2} \quad (3.5)$$

3.4. RADAR KAPSAMA ALANI İÇİNDEKİ OMGİ'LER VE SAATLİK YAĞIŞ TOPLAMLARI

İstanbul-Çatalca radarı 120km'lik kapsama alanı içerisinde toplam 71 adet OMGİ bulunmaktadır. 2014 yılında Meteoroloji Genel Müdürlüğü, yağış miktarı ölçüm hatalarını en aza indirmek için Türkiye genelinde 50 adet OMGİ 'ye ikisi ağırlıklı ve biri de kefeli tip olmak üzere üçer adet yağışölçer yerleştirmiştir. Tablo 3.6 'da görüldüğü gibi İstanbul-Çatalca radarı kapsama alanında üçer yağışölçer içeren OMGİ sayısı 17'dir. Çalışmamızda kullanılan 15 OMGİ 'den 5'inde (Şişli, Sancaktepe, Üsküdar, Ümraniye ve Darıca) üçer adet yağışölçer bulunmaktadır.

Tablo 3.6: İstanbul-Çatalca radarı 120 km'lik kapsama alanı içinde kalan üçer ve birer adet yağışölçer bulunduran OMGİ 'ler ile 120 km'lik İstanbul-Bursa radarları kesişim bölgesinde kalan üçer ve birer adet yağışölçer bulunduran OMGİ 'ler.

	3'er Yağışölçer içeren OMGİ	TOPLAM OMGİ
İstanbul – Çatalca Radarı	17	71
İstanbul – Bursa Radarı Kesişim Bölgesi	9	37



Şekil 3.6: İstanbul-Çatalca Radarı ile Bursa-İznik Radarı 120 km'lik kapsama alanları içinde kalan OMGİ'ler.

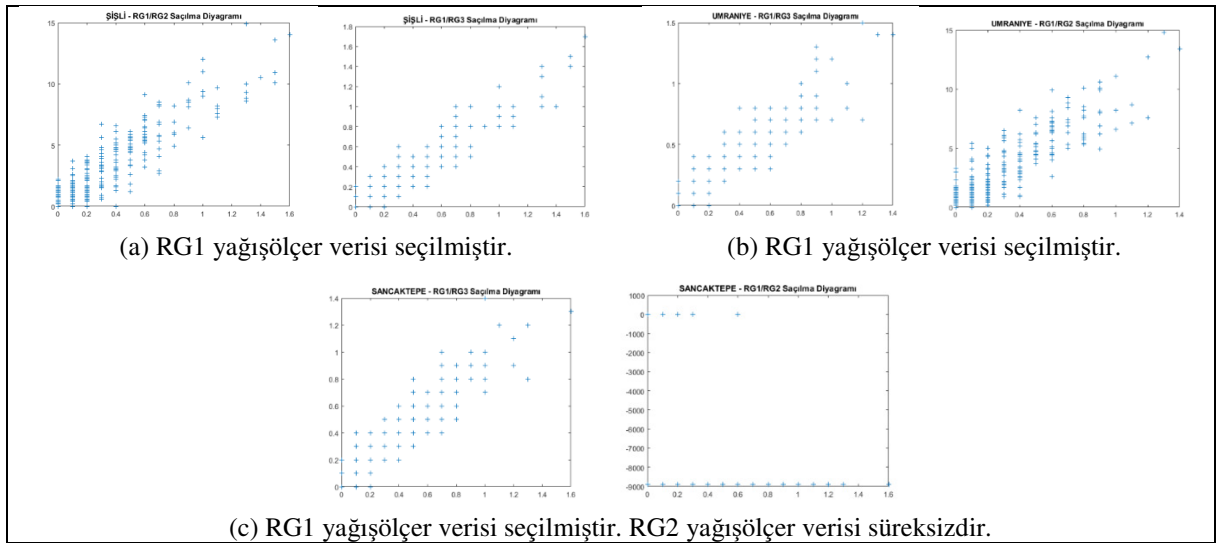
Şekil 3.6 'da İstanbul-Çatalca radarı kapsama alanında bulunan OMGİ 'ler ile aynı zamanda bu OMGİ 'lerden hangilerinin Bursa-İznik radarları kapsama alanı içinde de kaldığı görülmektedir.

Istanbul-Çatalca radarı kapsama alanı içinde kalan ve tez çalışmasında kullanılan dakikalık yağışölçer verisine sahip OMGI'ler Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.7: Çalışmada kullanılan İstanbul-Çatalca Radarı 120 km'lik kapsama alanı içerisinde kalan 15 OMGI'nin konumları.

Saatlik toplam yağış miktarı, ilgili saat için dakikalık OMGI yağışölçer verileri toplanarak elde edilmiştir. Üçer yağışölçer içeren Şişli, Sancaktepe, Üsküdar, Ümraniye ve Darıca OMGI'leri için hangi yağışölçer verisinin kullanılacağı seçimi, yağışölçerler arasındaki yağış miktarı saçılım diyagramları oluşturularak yapılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8: Yağışölçer yağış miktarı saçılım diyagramları; (a) Şişli (b) Ümraniye (c) Sancaktepe için.

3.5. CAPPI RADAR VERİSİ DÜZELTMELERİ

Minimum reflektivite (dBZ) verisi belirlenerek, bu değerin altındaki zayıf ekolar gürültü olarak değerlendirilmiştir. 15dBZ 'ten küçük reflektivite değerler çalışmaya dahil edilmemiştir. Dolu yağışında ölçülebilen 53dBZ ve üzeri reflektivite verileri de filtrelenerek kullanılmamıştır. Benzer çalışmalarda olduğu gibi [4,5,6,9,15] çalışmamızda 15 dBZ ile 53 dBZ arası radar reflektivite değerleri kullanılmıştır.

Deniz ve zemin dağınıklığı ekolarından kaçınmak ve bu ekoların yağış verisiymiş gibi değerlendirilmemesi için dağınıklık (clutter) haritaları kullanılmaktadır. Herhangi bir bulutluluk ve yağış aktivitesinin olmadığı açık havalarda meteoroloji radarı gözetleme modunda çalıştırılarak zemin dağınıklığını (ground clutter) algılaması sağlanarak maskeleye haritaları oluşturulur [4]. Zemin dağınıklık ekolarını içeren bu veri daha sonra yağışlı havadaki CAPPI verisi piksellerini maskelemek için kullanılır. Maskelenen pikseldeki reflektivite verisi değerlendirmeye alınmaz. Dağınıklık haritası kullanımında veri kaybı kaçınılmazdır. İstanbul-Çatalca radarı için kullanabileceğimiz bir dağınıklık haritası mevcut değildir.

1 km yüksekliğinde CAPPI radar ürünü için attenuation düzeltmesi yapılmamıştır [5].

İstanbul-Çatalca radarı doppler özellikli olup hedefin hareket durumuna (pozitif/negatif radyal hız) göre reflektivite değerindeki artış ve azalışları belirleyebilmektedir. Doppler filtresi kullanılarak veriden sabit eko değerleri temizlenmiştir. Kullanılan CAPPI verisi üzerinde Doppler Filtre düzeltmesi yapılmış haldedir.

Atmosferde sıcaklık kuru adyabatik çıkış hızına bağlı olarak sıcaklık her 100m de yaklaşık 1°C düşer. Yoğunlaşma seviyesinden sonra ise sıcaklık her 100m de bir 0.65°C azalmaya devam eder. Enverziyon (sıcaklık terselmesi) durumunda ise sıcaklık yükseldikçe artış gösterir. Atmosferde enverziyon seviyesi ile karşılaşılması durumunda, radar ışınında yeryüzüne doğru kırılma beklenir. Kırılmanın aşırı olması hatta yeryüzüne çarpıp dönmesi durumunda yaşanan oluk (ducting) efekti onucunda radara geri dönen eko sinyalleri radar tarafından ölçülen reflektivite değerlerinde sahte artışlar meydana getirir. 28-30 Kasım 2018 tarihleri arasındaki Ravinsonde Yüksek Atmosfer Gözlemi TEMP diyagramları (Bkz. EK-4) incelenmiş ve böyle bir duruma neden olabilecek enverziyona rastlanmamıştır.

Atmosferde buzun erimeye başladığı seviyeden itibaren radara dönen sinyalin reflektivite değerlerinde aşırı ve ani yükselişler oluşmaktadır (Bkz. Bölüm 2.3.10). Parlak bant etkisi olarak da adlandırılan bu durumun çalışma periyodumuzda var olup olmadığı araştırılmıştır. Bu amaçla; İstanbul Kartal'da günde iki kez gerçekleştirilen Ravinsonde Yüksek Atmosfer Gözlemi TEMP diyagramları incelenmiştir.

Ravinsonde Yüksek Atmosfer Gözlemleri ile meteorolojik amaçlı balon kullanılarak atmosfer dikine olarak gözlenmekte; sıcaklık, basınç, nem, rüzgar gibi meteorolojik parametreler her gün iki kere ölçülmekte; gözlem TEMP kodu olarak uluslararası yayına verilerek paylaşılmakta; sayısal hava tahmin modellerine girdi olarak verilmekte ve TEMP diyagramlarına işlenerek havacılıkta ve hava tahmininde kullanılmaktadır.

Tablo 3.7: İstanbul-Kartal Ravinsonde TEMP Diyagramlarına göre 0°C sıcaklığının ilk görüldüğü seviye yükseklikleri ile yer ve yüksek seviye rüzgar bilgileri (EK-4 teki verilerden derlenmiştir).

Tarih ve TEMP Gözlem Saati (GMT)	Yer Seviyesi Sıcaklığı (°C)	0 °C Sıcaklığın ilk Görüldüğü Seviye (m)	Yer Seviyesi Rüzgar Yön(derece) ve Hızı (knot)	Yer – Üst Seviye (0-1 km arası) Ortalama Rüzgar Yönü(derece) ve Hızı (knot)
27.11.2018 12	16.2	2777 m	260 ° / 3 knot	229 ° / 19 knot
28.11.2018 00	12.6	2417 m	060 ° / 4 knot	219 ° / 21 knot
28.11.2018 12	12.2	2466 m	080 ° / 4 knot	207 ° / 14 knot
29.11.2018 00	9.2	1977 m	040 ° / 4 knot	124 ° / 7 knot
29.11.2018 12	7.2	1167 m	050 ° / 6 knot	060 ° / 25 knot
30.11.2018 00	6.2	811 m	020 ° / 8 knot	034 ° / 31 knot
30.11.2018 12	4.4	611 m	005 ° / 20 knot	031 ° / 26 knot

Tablo 3.7 'de İstanbul Ravinsonde Yüksek Atmosfer Gözlemlerinden (Bkz. EK-4) elde edilen verilere göre;

- 0°C sıcaklığı, 29 Kasım 2018 tarihi 12.00 GMT saatine kadar; 2777m ile 1167m seviyeleri arasında bulunmaktadır. Bu saatin hemen öncesine kadar radar kapsama alanındaki OMGİ'lerin üzerlerindeki atmosfer hacminden yansıyan/yayılan radar ışına ait reflektivite değerlerinde parlak bant etkisi yoktur.
- 0°C sıcaklığı, 29 Kasım 2018 tarihi 12.00 GMT saatinde; 1977 m iken 12GMT'de OMGİ'ler için kritik seviye olan 1167m 'ye düşmüştür. 30 Kasım 2018 00GMT ve 12GMT ait TEMP diyagramlarında 0°C yüksekliği sırayla 811 m ve 611m 'dir. Bu yükseklikler, Tablo3.8 'de verilen yükseklikler dikkate alınarak incelendiğinde uzak mesafelerdeki Darıca ve Tuzla'nın 29 Kasım 2016 12GMT 'den sonra yüksek riskli olduğu; Sancaktepe,

Kartal ve Samandıra'nın 30 Kasım 2016 00GMT 'den sonra parlak bant etkisi riski taşıdığı tespit edilmiştir.

EK 5. 'te verilen İstanbul Radarına göre çalışılan OMGİ'lerin kısmi ışın engelleme ve görünürlük analizi diyagramları incelendiğinde;

- Radar ışını menzilde ilerlerken yerden olan yüksekliği artar.
- Radar ışını 3 dB (~0.55°) genişliği ve çapı olan bir ışın demetidir.
- Radar elektromanyetik dalgası ana ışını, ışın demetinin merkezinden geçer. Darıca OMGİ için; minimum görünür ışın yüksekliği olan 940m ile ışın demetinin yarıçapı olan ~526 m (1051m/2) ana ışının yerden yüksekliğini verir. (Bkz. Tablo 3.8, Darıca için 1466 m).

Tablo 3.8: 0.2° 'lik tarama açısı ile radardan gönderilen ışının; OMGİ üzerinde görebileceği hedefin minimum yüksekliği, merkez yüksekliği, tepe yüksekliği ve çapı (EK-5 teki verilerden derlenmiştir).

	Rakım (m)	Radara Olan Uzaklık (km)	Min. Görünür Işın Yüks. (m)	Görünür Işının Merkez Yüks (m)	Görünür Işının Tepe Yüks (m)	Görünür Işın Çapı (m)
Çatalca Radar	381	-	-	-	-	-
Şişli	60	60.7	540	836	1132	592
Ümraniye	191	74.4	629	992	1355	726
Sancaktepe	110	86.2	724	1145	1565	841
Kadıköy	5	68,4	587	921	1254	667
Darıca	123	107,7	940	1466	1991	1051
Florya	37	54,7	507	774	1040	533
Üsküdar	75	67.5	581	910	1239	658
Samandıra	123	82.3	691	1093	1494	803
Kartal	18	82.7	695	1099	1502	807
Tuzla	3	97.5	831	1307	1782	951
B.Çekmece	20	38.7	442	631	819	377
Vefa	10	62.6	551	856	1161	610
Sarıyer	59	62.2	548	851	1154	606
Davutpaşa	68	56.8	518	795	1072	554
Eyüp	54	54.8	508	775	1042	534

Tablo 3.8, radar ışını menzilde ilerledikçe genişliğinin nasıl arttığını göstermesi ve OMGİ üzerindeki hedeflerin radar tarafından görülebilecek olan minimum seviyeyi vermesi açısından önemlidir. Radardan uzaklaştıkça radar ışınının yükselmesiyle birlikte alçak seviyelerdeki yağış ve bulutluluk radar tarafından algılanamaz duruma gelir. İlk PPI tarama seviyesi olan 0.2° 'lik yükseklik açısında kullanılan radarın Darıca OMGİ'si üzerindeki yağış aktivitesini algıladığı minimum seviye 940m (~3.133 feet)'dir. Işın merkezi ise minimum görünür ışın yüksekliği olan 940m ile ışın demetinin yarıçapı olan 525,5 m (1051m/2) 'nin toplamı 1465,5

m (4885 feet) 'dir. Kuvvetli yağışlarda bulut tabanının çok daha alçak seviyelerde bulunabileceği düşünülürse bu yükseklik elimizde radar reflektivite verisinin Darıca gibi radara uzaklığı 100km üzerindeki olan OMGİ yağışölçer verilerini yansıtmayabilir [3,4]. Z-R ilişkisi ile uzak mesafelerde olandan daha düşük bir yağış miktarı tahmin edilmesi olasıdır.

3.6. SAATLİK RADAR YAĞIŞ VERİLERİNİN HAZIRLANMASI

Saatlik radar yağış verisi, $Z=200.R^{1.6}$ (ZR1) ve $Z=300.R^{1.4}$ (ZR2) bağıntıları için hesaplanmaktadır. Reflektivite faktörü Z'nin birimi mm^6m^{-3} ve radar yağış yoğunluğu olan R'nin birimi $mm.saat^{-1}$ 'tir. Ölçülen radar reflektivite değerleri kullanılarak ZR1 ve ZR2 bağıntıları ile elde edilen yağış miktarı tahmini daha sonra gerçekleşen yağışölçer yağış miktarları ile kıyaslanmıştır.

Yağışölçer ile ölçülen yağış miktarı $100cm^2$ veya $200cm^2$ 'lik yüzeyde ölçülen temsili yağış miktarı olup noktasaldır. Fakat meteoroloji radarı, bu noktanın yaklaşık 1km üzerindeki bir hacim içerisinde ölçüm yapmaktadır. Ölçülen değer doğrudan yağış miktarı olmayıp ölçülen reflektivite değerine bağlı olarak taranan hacim içerisindeki yağış damlalarından yansıyan elektromanyetik sinyalin gücü oranında hesaplanan reflektivite faktörü değeridir. Radar reflektivite ölçümleri bu açıdan hacimseldir ve doğrudan yağışı ölçmezler. Tez çalışmasında hacimsel reflektivite faktörü değeri ölçümüyle olan yeryüzüne düşen noktasal yağış miktarı tahmin edilmeye çalışılmaktadır.

Reflektivite değeri, ölçülen bulut içi parçacıklar, yağışın tipi, bulut içi adveksiyonun varlığı, rüzgâr yönü ve hızı gibi faktörlerle etkileşim halindedir. Yeryüzüne ulaşılması için geçen süre öncelikle bu ve benzeri dinamik süreçlerin etkisi altındadır. Reflektivite faktörü ölçülen parçacık; örneğin yer seviyesi ile radarın ölçtüğü seviye arasındaki ortalama rüzgâr hızının $30km.saat^{-1}$ olduğu bir durumda 1,5 km yüksekten yere yaklaşık 4-5 dakikalık bir süre içinde ve ölçüldüğü noktadan yaklaşık 2,5 km uzağa düşebilmektedir [10]. Yeryüzüne düşen yağış ile radar ölçümü arasında uzaysal tutarsızlık bulunmakla birlikte yerdeki yağış miktarını tahmin edebilmek için bazı çalışmalarda; radarın taradığı 1-4 km^2 büyüklüğündeki bir alandan alınan reflektivite değeri ölçümlerinin ortalaması kullanılmaktadır [5,15,24,28,29]. Piksel tabanlı düşündüğümüzde 9 piksel (3piksel x 3piksel) veya 25 pikselin (5piksel x 5piksel) ortalaması alınarak yapılan çalışmalar mevcuttur [21,28,32]. Tez çalışmasında; alansal saatlik radar yağış verisini oluşturabilmek için 7.5 dakikalık örnekleme periyodu için üretilen her bir CAPPI ürün

dosyasının OMGİ koordinatlarına denk gelen piksel ile bu piksele komşu 24 pikselin reflektivite (dBZ) değerleri okutulmuştur.

Okunan reflektivite değerlerinden geçerli piksel değeri olan piksellerin ortalaması alınmıştır. Hesaplanan ortalama reflektivite (dBZ) değeri kullanılarak $dBZ = 10 \cdot \log_{10} Z$ ifadesindeki Z (mm^6m^{-3}) değeri (3.6) kullanılarak hesaplatılmıştır.

$$Z = 10^{dBZ/10} \quad (3.6)$$

$$R_{ZR1} = (Z/200)^{10/16} \quad (3.7)$$

$$R_{ZR2} = (Z/300)^{10/14} \quad (3.8)$$

$Z = 200 \cdot R^{1.6}$ (ZR1) ve $Z = 300 \cdot R^{1.4}$ (ZR2) bağıntılarındaki yağış miktarı yoğunluğu ($\text{mm} \cdot \text{saat}^{-1}$) değerleri R_{ZR1} (3.7) ve R_{ZR2} (3.8) kullanılarak hesaplanmıştır.

Saatlik radar yağış haritalarının hesaplanmasında radar örnekleme aralığı boyunca yağışlı bölgenin değişmediği kabulü yapılmıştır[10,13]. Çalışmamızda; örnekleme aralığı 7,5 dakikadır. Her bir örnekleme aralığında ölçülen reflektivite (dBZ) değerine karşılık Z-R bağıntılarından yağış yoğunluğu değeri hesaplatılmıştır. Yağış yoğunluğunun birimi ise $\text{mm} \cdot \text{saat}^{-1}$ olup hesaplanan yağış değeri 60 dakikayı temsil etmektedir. 7,5 dakika için geçerli olan yağış miktarını ZR1 ve ZR2 bağıntılarındaki R_{ZR1} ve R_{ZR2} değerleri hesaplanıp her bir örnekleme aralığı (her bir CAPPI dosyası) için önce 60 'a bölünüp sonra 7,5 ile çarpılarak bulunmuştur. Elde edilen yağış miktarı, ölçülen radar reflektivite değerine karşılık örnekleme aralığında düşmesi beklenen yağıştır.

Bir saatlik radar yağış verisini oluşturmak için; tıpkı yağışölçer yağış toplamında olduğu gibi her bir örnekleme aralığı için bulunan yağış miktarı verileri toplanarak [5,6,10,13,29] o saat içindeki toplam radar yağış miktarı $\text{mm} \cdot \text{saat}^{-1}$ cinsinden hesaplanmıştır. [16] 'te radar reflektivite verisine karşılık Z-R bağıntılarından hesaplanan ve bir saatlik dilimi temsil eden yağış yoğunluğu ($\text{mm} \cdot \text{saat}^{-1}$) verisinden örnekleme zamanında düşen miktarı bulabilmek için dakikalık yağışı hesaplanıp örnekleme zamanı ile çarpılmaktadır. Saatlik radar yağışını elde etmek için de bir saat içindeki her bir örnekleme zamanında elde edilen radar yağışı toplanmaktadır. "Accumulation method" olarak adlandırılan bu metotta, örnekleme zamanı boyunca yağış parçacıklarının yeri ve yoğunluğunun değişmedikleri kabulü yapılmıştır. Fakat

[10], yağış parçacıklarının adveksiyon hareketi ile yer değiştirdiği ve yoğunluğunun artış ve azalış durumlarını da göz önüne alındığı iki ayrı metotta bulunmaktadır.

3.7. KALMAN FİLTRESİ

3.7.1. Çok Değişkenli En Küçük Kareler Yöntemi (Multivariate Least Square Method)

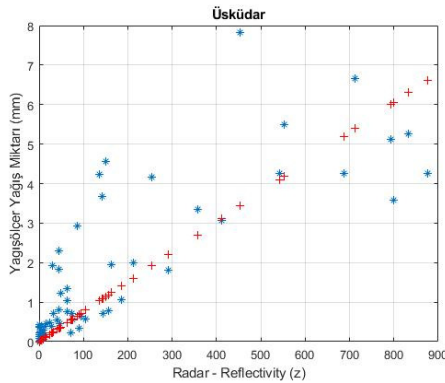
Radar reflektivite (dBZ) ölçümüne karşılık yağışölçerde ölçülen yağış miktarını (mm) kestirebilmek amacıyla iki değişken arasındaki ilişki, en küçük kareler regresyon yöntemi kullanılarak doğrusal bir denklem (3.9) şeklinde ifade edilmeye çalışılmıştır.

$$y = a + bx \quad (3.9)$$

Doğrusal denklemi verecek en uygun a ve b regresyon katsayılarını bulabilmek için reflektivite (dBZ) ve yağış miktarı örneklem veri çifti (x_i, y_i) değerleri kullanılmıştır. a ve b değerleri, her bir x_i değeri için ölçülen y_i değerinin beklenen \hat{y}_i değerinden olan farkının $(y_i - \hat{y}_i)$ veya başka bir deyişle tahmini doğruya olan uzaklığının kareleri toplamının en küçük olduğu durumdaki doğrusal denklemin katsayı değerleridir. a ve b katsayı değerleri aşağıdaki formüller [18,30] kullanılarak elde edilebilmektedir.

$$b = \frac{\sum(x - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum(x - \bar{x})^2} \quad (3.10)$$

$$a = (\bar{y} - b \cdot \bar{x}) \quad (3.11)$$



$$a = 0,6598$$

$$b = 0,0076$$

$$y = 0,6598 + 0,0076 \cdot x$$

Şekil 3.9: Üsküdar için radar reflektivite (Z) ve yağışölçer veri çifti arasındaki doğrusal ilişki.

Kalman Filtresi süreç ve ölçüm modeli parametreleri çok değişkenli en küçük kareler yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. T zaman adımı için N=5, 10 ve 15 adet OMGİ yağış verisi ile çalışıldığı için yöntem çok değişkenli olarak oluşturulmuştur [14,18].

3.7.2. Kalman Filtre Modeli

Bu bölümde öncelikle özyineli Kalman Filtresi [22] ele alınacak ve Kalman Filtresi tahmin ve güncelleme aşamalarıyla yağış miktarı tahmin problemi ilişkilendirilecektir.

Süreç (process) ve ölçüm (measurement) modelleri çok değişkenli en küçük kareler yöntemi [14,18] ile elde edilmiştir.

Süreç (Process) Modeli;

$$x_t = \mathbf{F}x_{t-1} + w_t \quad (3.12)$$

Ölçüm (Measurement) Modeli;

$$z_t = \mathbf{H}x_t + v_t \quad (3.13)$$

x_t N adet OMGİ konumunda ölçülmüş yağış miktarlarını içeren bilinmeyen durum vektörü (unknown state vector) (Nx1 boyutlu)

F Durum Geçiş Matrisi (State Transition Matrix) (NxN boyutlu)

w_t Süreç Gürültüsü (Process Noise) (Nx1 boyut) Sıfır ortalamalı çok değişkenli Gauss Dağılımına sahip NxN boyutundaki Kovaryans **Q** Matrisinden elde edilmiştir.

z_t Radar reflektivite ölçüm matrisi (Mx1 boyutlu)

H Ölçüm Matrisi (Measurement Matrix) (MxN boyutlu) Gerçek Durum Uzayı (True State Space) ile Ölçüm Uzayını (Measurement Space) eşleştirir.

v_t Ölçüm Gürültüsü (Measurement Noise) (Mx1 boyutlu) Sıfır ortalamalı çok değişkenli Gauss Dağılımına sahip MxM boyutundaki Kovaryans **R** Matrisinden elde edilmiştir.

Çalışmada; z_t radar reflektivite ölçümleri kullanılarak her bir t zamanı için sonsal (posteriori) yağış miktarı $\hat{x}_{t|t}$ tahmin edilmeye çalışılmıştır. N, gerçek yağış verilerinin ait olduğu ve Kalman Filtresi ile yağış miktarı tahmini yapılmaya çalışılan OMGİ sayıdır. Radar reflektivite

ölçüm vektörünün boyutu olan M ile bilinmeyen durum vektörünün boyutu N eşit tutulmuştur. Nedeni; radar reflektivite ölçümlerinin gerçek yağış verilerinin ait olduğu OMGİ konumları için de yapılmış olmasıdır.

3.7.3. Kalman Filtresi Süreç ve Ölçüm Modellerinin Kestirimi

Kalman Filtresinin model matrisleri \mathbf{F} , \mathbf{Q} ile ölçüm modeli matrisleri \mathbf{H} , \mathbf{R} 'nin elde edilebilmesi için öncelikle T zaman adımı için OMGİ yağış miktarı (x_t) ve radar reflektivite (z_t) veri çiftlerine (x_t, z_t) ihtiyaç duyulmaktadır. T adımda ölçülen güncel yağış verisi x_1, x_2, \dots, x_T iken t anında Nx1 boyutlu OMGİ 'lere düşen yağış vektörü $x_t = [x_{1,t}, x_{2,t}, \dots, x_{N,t}]^T$ olmaktadır.

Süreç Modelinin Belirlenmesi,

Süreç modeli $x_t = \mathbf{F} x_{t-1} + w_t$ aşağıdaki gibi $t \in \{2, 3, \dots, T\}$ adımları için yineli formda;

$$\underbrace{\begin{pmatrix} x_{1,t} \\ x_{2,t} \\ \vdots \\ x_{N,t} \end{pmatrix}}_{x_t} = \underbrace{\begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,N} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{N,1} & a_{N,2} & \dots & a_{N,N} \end{pmatrix}}_{\mathbf{F}} \underbrace{\begin{pmatrix} x_{1,t-1} \\ x_{2,t-1} \\ \vdots \\ x_{N,t-1} \end{pmatrix}}_{x_{t-1}} + \underbrace{\begin{pmatrix} w_{1,t} \\ w_{2,t} \\ \vdots \\ w_{N,t} \end{pmatrix}}_{w_t} \quad t \in \{2, 3, \dots, T\} \quad (3.14)$$

olarak gösterilir. T anına kadar OMGİ'lerde gözlenen yağış vektörleri $\mathbf{Y}_1 = \mathbf{B}_1 \mathbf{Z}_1 + \mathbf{U}_1$ formunda tek bir eşitlik içinde yığılırsa,

$$\underbrace{\begin{pmatrix} x_{1,2} & x_{1,3} & \dots & x_{1,T} \\ x_{2,2} & x_{2,3} & \dots & x_{2,T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N,2} & x_{N,3} & \dots & x_{N,T} \end{pmatrix}}_{\mathbf{Y}_1: N \times (T-1)} = \underbrace{\begin{pmatrix} a_{1,1} & a_{1,2} & \dots & a_{1,N} \\ a_{2,1} & a_{2,2} & \dots & a_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{N,1} & a_{N,2} & \dots & a_{N,N} \end{pmatrix}}_{\mathbf{B}_1: N \times N} \underbrace{\begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,T-1} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,T-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N,1} & x_{N,2} & \dots & x_{N,T-1} \end{pmatrix}}_{\mathbf{Z}_1: N \times (T-1)} + \underbrace{\begin{pmatrix} w_{1,2} & w_{1,3} & \dots & w_{1,T} \\ w_{2,2} & w_{2,3} & \dots & w_{2,T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_{N,2} & w_{N,3} & \dots & w_{N,T} \end{pmatrix}}_{\mathbf{U}_1: N \times (T-1)} \quad (3.15)$$

elde edilir. Burada bilinmeyen \mathbf{B}_1 'in kestirimi çok boyutlu en küçük kareler yöntemi ile [14].

$$\hat{\mathbf{B}}_1 = \mathbf{Y}_1 \mathbf{Z}_1^T (\mathbf{Z}_1 \mathbf{Z}_1^T)^{-1} \quad (3.16)$$

olmaktadır. $\hat{\mathbf{B}}_1$, NxN boyutlu Süreç Modeli Durum Geçiş Matrisi $\mathbf{F} = \hat{\mathbf{B}}_1$ 'ye denk gelir. Normalizasyon faktörü (T-1)-N-1 ile süreç gürültüsü kovaryans matrisi yansız kestirimi $\hat{\Sigma}_1$ ise

$$\hat{\Sigma}_1 = \frac{(\mathbf{Y}_1 - \hat{\mathbf{B}}_1 \mathbf{Z}_1)(\mathbf{Y}_1 - \hat{\mathbf{B}}_1 \mathbf{Z}_1)^T}{(T-1) - N - 1} \quad (3.17)$$

olarak elde edilir [18] ve $N \times N$ boyutlu $\mathbf{Q} = \hat{\Sigma}_1$ 'ya denk gelir.

Ölçüm Modelinin Belirlenmesi,

$(x_1, z_1), (x_2, z_2), \dots, (x_T, z_T)$ veri çiftleri ölçüm modeli $z_t = \mathbf{H}x_t + v_t$ formunda aşağıdaki gibi gösterilir.

$$\underbrace{\begin{pmatrix} z_{1,t} \\ z_{2,t} \\ \vdots \\ z_{N,t} \end{pmatrix}}_{z_t} = \underbrace{\begin{pmatrix} b_{1,1} & b_{1,2} & \dots & b_{1,N} \\ b_{2,1} & b_{2,2} & \dots & b_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{N,1} & b_{N,2} & \dots & b_{N,N} \end{pmatrix}}_{\mathbf{H}} \underbrace{\begin{pmatrix} x_{1,t} \\ x_{2,t} \\ \vdots \\ x_{N,t} \end{pmatrix}}_{x_t} + \underbrace{\begin{pmatrix} v_{1,t} \\ v_{2,t} \\ \vdots \\ v_{N,t} \end{pmatrix}}_{v_t} \quad t \in \{1, \dots, T\} \quad (3.18)$$

Her bir $1, 2, 3, \dots, T$ zaman adımlarındaki tüm çiftler tek bir eşitlikle $\mathbf{Y}_2 = \mathbf{B}_2 \mathbf{Z}_2 + \mathbf{U}_2$ biçimde yığılırsa,

$$\underbrace{\begin{pmatrix} z_{1,1} & z_{1,2} & \dots & z_{1,T} \\ z_{2,1} & z_{2,2} & \dots & z_{2,T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ z_{N,1} & z_{N,2} & \dots & z_{N,T} \end{pmatrix}}_{\mathbf{Y}_2: N \times T} = \underbrace{\begin{pmatrix} b_{1,1} & b_{1,2} & \dots & b_{1,N} \\ b_{2,1} & b_{2,2} & \dots & b_{2,N} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ b_{N,1} & b_{N,2} & \dots & b_{N,N} \end{pmatrix}}_{\mathbf{B}_2: N \times N} \underbrace{\begin{pmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,T} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{N,1} & x_{N,2} & \dots & x_{N,T} \end{pmatrix}}_{\mathbf{Z}_2: N \times T} + \underbrace{\begin{pmatrix} v_{1,1} & v_{1,2} & \dots & v_{1,T} \\ v_{2,1} & v_{2,2} & \dots & v_{2,T} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ v_{N,1} & v_{N,2} & \dots & v_{N,T} \end{pmatrix}}_{\mathbf{U}_2: N \times T} \quad (3.19)$$

elde edilir. Yukarıdaki ifadede bilinmeyen \mathbf{B}_2 , çok boyutlu en küçük kareler yöntemi ile kestirilse,

$$\hat{\mathbf{B}}_2 = \mathbf{Y}_2 \mathbf{Z}_2^T (\mathbf{Z}_2 \mathbf{Z}_2^T)^{-1} \quad (3.20)$$

elde edilir ve $N \times N$ boyutlu Ölçüm Modeli Matrisi $\mathbf{H} = \hat{\mathbf{B}}_2$ bulunmuş olur. Burada ölçüm gürültüsünün kovaryans matris yansız kestirimi ise

$$\hat{\Sigma}_2 = \frac{(\mathbf{Y}_2 - \hat{\mathbf{B}}_2 \mathbf{Z}_2)(\mathbf{Y}_2 - \hat{\mathbf{B}}_2 \mathbf{Z}_2)^T}{T - N - 1} \quad (3.21)$$

olmaktadır ve $N \times N$ boyutlu Ölçüm Gürültü Kovaryans Matrisi $\mathbf{R} = \hat{\Sigma}_2$ 'ye denk gelir.

3.7.4. Kalman Filtresinin Çalıştırılması

Kalman Filtresi özyineli bir kestirim yöntemidir. Şimdiki adımın tahmini için önceki adımda yapılan tahmin ($\hat{x}_{t|t-1}$) ile şimdiki ölçümün bilinmesi gerekir. $\hat{x}_{t|t}$, t anındaki sonraki durum tahmini (posteriori state estimate) ve $P_{t|t}$, t anındaki sonraki hata kovaryans matrisi (posteriori error covariance matrix) olsun. Kalman Filtresi tahmin (prediction) ve güncelleme (update) şeklinde iki aşamada uygulanır [22].

Tahmin (prediction) aşamasında t anı için;

$$\begin{aligned}\hat{x}_{t|t-1} &= \mathbf{F}\hat{x}_{t-1|t-1} \\ \mathbf{P}_{t|t-1} &= \mathbf{F}\mathbf{P}_{t-1|t-1}\mathbf{F}^T + \mathbf{Q}\end{aligned}\tag{3.22}$$

$\hat{x}_{t|t-1}$ t-1 anında t anı için ötelenmiş önsel durum tahmini (priori state estimate), $\mathbf{P}_{t|t-1}$ t-1 anında t anı için ötelenmiş önsel hata kovaryans matrisidir (priori error covariance matrix). Sırasıyla; $\hat{x}_{t-1|t-1}$ t-1 anındaki sonsal durum tahmini (posteriori state estimate), $\mathbf{P}_{t-1|t-1}$ ise t-1 anındaki sonsal hata kovaryans matrisi (posteriori error covariance matrix) kullanılarak tahmin yapılır. \mathbf{Q} , NxN boyutlu Süreç Gürültü Kovaryans Matrisidir. \mathbf{F} , NxN boyutlu Süreç Model Matrisidir (State Transition Matrix). (.)^T Matris Transpozisini gösterir.

t anı için z_t ölçümü elde edilir edilmez güncelleme (update) aşamasına geçilir;

$$\begin{aligned}\tilde{y}_t &= z_t - \mathbf{H}\hat{x}_{t|t-1} \\ \mathbf{S}_t &= \mathbf{H}\mathbf{P}_{t|t-1}\mathbf{H}^T + \mathbf{R} \\ \mathbf{K}_t &= \mathbf{P}_{t|t-1}\mathbf{H}^T\mathbf{S}_t^{-1} \\ \hat{x}_{t|t} &= \hat{x}_{t|t-1} + \mathbf{K}_t\tilde{y}_t \\ \mathbf{P}_{t|t} &= (\mathbf{I} - \mathbf{K}_t\mathbf{H})\mathbf{P}_{t|t-1}(\mathbf{I} - \mathbf{K}_t\mathbf{H})^T + \mathbf{K}_t\mathbf{R}\mathbf{K}_t^T\end{aligned}\tag{3.23}$$

Burada; z_t radar reflektivite ölçüm vektörünü, \tilde{y}_t inovasyon vektörünü, \mathbf{S}_t inovasyon kovaryans matrisini, \mathbf{K}_t Kalman kazancını ve \mathbf{I} NxN boyutlu birim matrisi gösterir. z_t kullanılarak önce \tilde{y}_t ve sonrasında sırayla \mathbf{S}_t ile \mathbf{K}_t hesaplanır. Ardından $\hat{x}_{t|t}$ ve $\mathbf{P}_{t|t}$ değerleri güncellenir. Bir

sonraki zaman adımı Kalman hesabında; $\hat{x}_{t|t} \rightarrow \hat{x}_{t-1|t-1}$ ve $\mathbf{P}_{t|t} \rightarrow \mathbf{P}_{t-1|t-1}$ olarak işleme girer.

Özyineli (recursive) Kalman Filtresi işlemi başlangıcında; $x_{0|0}$ μ_0 ortalama 0 değerine sahip Gaussian dağılımlı başlangıç yağış tahmini (initial rainfall estimate) ve $\mathbf{P}_{0|0}$ Hata Kovaryans Matrisidir. Tahmin (prediction) aşaması (3.22) ile hesaplanır. z_t radar reflektivite ölçümü kullanılarak güncelleme (update) aşaması (3.23) çalıştırılır.



4. BULGULAR

Bu bölümde; Kalman Filtresi tahmin modeli sonuçları ile ZR1 ve ZR2 bağıntıları, gerçekleşen yağışölçer yağış miktarı verileriyle istatistiksel olarak karşılaştırılmış ve sayısal sonuçlar tablo ve grafikler halinde sunulmuştur.

4.1. ORTALAMA KARESEL HATA

Tez çalışmasında; Kalman Filtresi ile kullanılan $Z=200.R^{1.6}$ ve $Z=300.R^{1.4}$ Z-R bağıntıları yağış tahminlerinin gerçekleşen yağışölçer yağış değerlerine göre hata oranları ortalama karesel hata (MSE) yöntemi kullanılarak elde edilmiştir. Buna göre MSE, (4.1) 'de verilmiştir.

$$MSE(n) = \frac{1}{T_s} \sum_{t=1}^{T_s} (x_t(n) - \hat{x}_t(n))^2 \quad n \in \{1,2, \dots, N\} \quad (4.1)$$

$MSE(n)$, n. OMGİ için yağış miktarı tahmininin Ortalama Karesel Hatası (Mean Squared Error) olup T_s , 3 günlük periyodu temsil eden zaman adıdır. $x_t(n)$, n. OMGİ 'de t anında ölçülmüş yağış miktarı iken $\hat{x}_t(n)$ n. OMGİ için t zamanında Z-R bağıntıları veya Kalman Filtresi ile tahmin edilen yağış miktarıdır.

4.2. ARAŞTIRMA BULGULARI

İstanbul – Çatalca radarı, bir saat içinde 8 adet (192 adet/gün ve 576/3gün adet) CAPPI radar ürün dosyası üretmektedir. Üretilen iki veri dosyası arasındaki süre yaklaşık 8 dakika olup bu süre saatlik örnekleme aralığı olarak kabul edilmiştir. Kalman Filtresi, bir saat içinde üretilen 8 adet CAPPI radar reflektivite değerleri ile her bir örnekleme aralığında yağışölçer dakikalık yağış verileri kullanılarak oluşturulan saatlik veriler ile çalıştırılmaktadır. Çalışılan OMGİ 'lerin CAPPI radar ürünü 720x720'lik piksel yerleşimi içinde buldukları piksel ile komşu piksellere ait coğrafi koordinatları hesaplanıp EK-1 'de verilmiştir. Çalışmada kullanılan OMGİ 'lerden 5 tanesinde 3'er adet yağışölçer bulunmaktadır. Üçer adet yağışölçer içeren OMGİ 'lerde hangi yağışölçer ile çalışılacağı, yağışölçerler arasında oluşturulan saçılım diyagramları aracılığıyla ayrık olan yağışölçer elenip ilişkili olan yağışölçer çiftinden biri seçilerek yapılmıştır.

Kalman Filtresi, 15 adet OMGİ içinden sırayla gruplanarak 5, 10 ve 15 adet OMGİ için saatlik olarak çalıştırılmıştır. İlk çalışma Şişli, Kadıköy, Ümraniye, Sancaktepe ve Darıca yerleşimlerinde kurulu N=5 adet OMGİ yağış verileri ile bu konumu kapsayan CAPPI ürünü reflektivite verileri kullanılmıştır. Bölüm 3.7.3 'te anlatıldığı gibi; Kalman Filtresi, süreç ve ölçüm matrisleri ile süreç gürültü ve ölçüm gürültü kovaryans matrisleri, periyodun ilk T zaman adımıdaki eğitim için radar reflektivite ve yağışölçer veri çiftleri kullanılarak bulunmuştur.

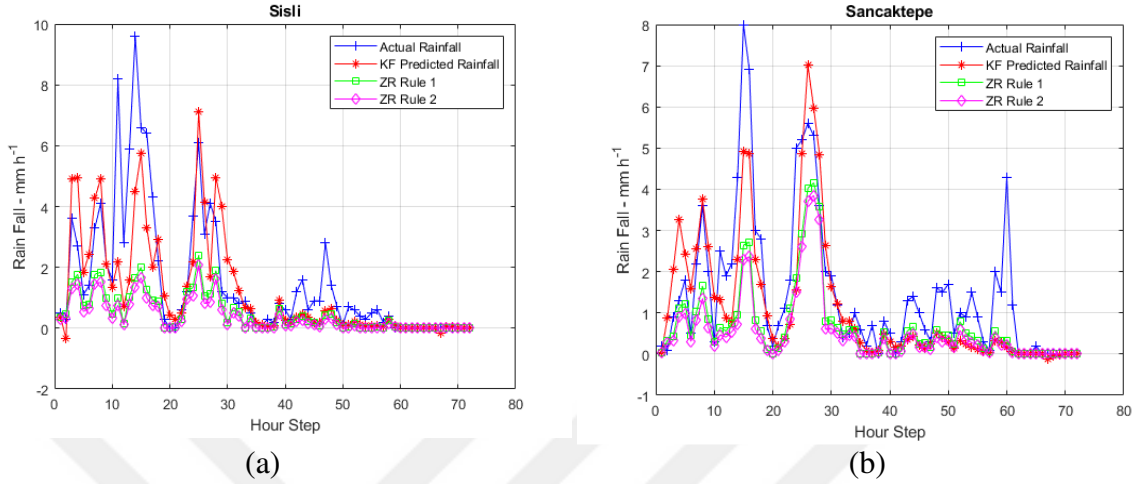
Tablo 4.1: Her bir OMGİ için T adet eğitim örneği ile elde edilen MSE değerleri, Saatlik veri, N=5 adet OMGİ yağışölçer (S1: Şişli, S2: Kadıköy, S3: Ümraniye, S4: Sancaktepe, S5: Darıca).

T	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅
24	7,15	1,96	1,45	4,96	2,53
30	2,00	0,68	0,63	1,19	0,40
36	1,99	0,68	0,64	1,18	0,40
42	1,99	0,68	0,64	1,18	0,40
48	2,01	0,67	0,64	1,16	0,40
54	2,02	0,68	0,64	1,18	0,40
60	2,03	0,67	0,65	1,21	0,40
66	1,99	0,67	0,64	1,20	0,39
72	2,00	0,67	0,64	1,20	0,39
ZR1	3,77	1,78	1,80	1,87	0,87
ZR2	4,26	2,13	2,18	2,25	1,11

Tablo 4.1 'de; Kalman Filtresi tahmin güncellemeleri saatlik olarak gerçekleştirilmiştir. Kalman Filtresi model parametreleri, minimum MSE'nin elde edilebildiği $T=T_s=72$ saat zaman adımı boyunca kullanılan reflektivite-yağış veri çifti ile belirlenmiştir. Saatlik yağış verileri her saat için gerçekleşen yağışölçer yağış miktarı toplamları alınarak; saatlik radar reflektivite ölçümleri de Bölüm 3.6 'da anlatıldığı gibi her saat için saatlik reflektivite (dBz) değerleri hesaplatılmaktadır. N=5 OMGİ yağışölçer verilerinin kullanıldığı ve saatlik veriler ile güncellenen Kalman Filtresi, 30 saatlik eğitim süresi sonunda sonraki 42 saatlik yağış tahmini için yeterli görünmektedir. Kalman Filtresi ile yapılan tahminler, Z-R bağıntıları ile yapılan yağış tahminleri ile kıyaslandığında Kalman Filtresi yağış tahminleri gerçekleşen yağışlara daha yakın sonuçlar vermiştir. Ayrıca, stratiform yağışın görüldüğü 3 günlük periyod için yağış tahmininde $Z = 200 \cdot R^{1.6}$ (ZR1) bağıntısının $Z = 300 \cdot R^{1.4}$ (ZR2) 'den daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir.

Şekil 4.1 'de Şişli ve Sancaktepe OMGİ'lerine ait yağışölçer yağış miktarları ile Kalman Filtresi, ZR1 ve ZR2 bağıntılarından elde edilen yağış miktarı tahminleri gösterilmiştir. Benzer

sonuçlar diğ er OMĐİ yağış miktarı tahminlerinde de görülmüştür. Diğ er OMĐİ'lere ait grafikler EK-2'de verilmiştir.

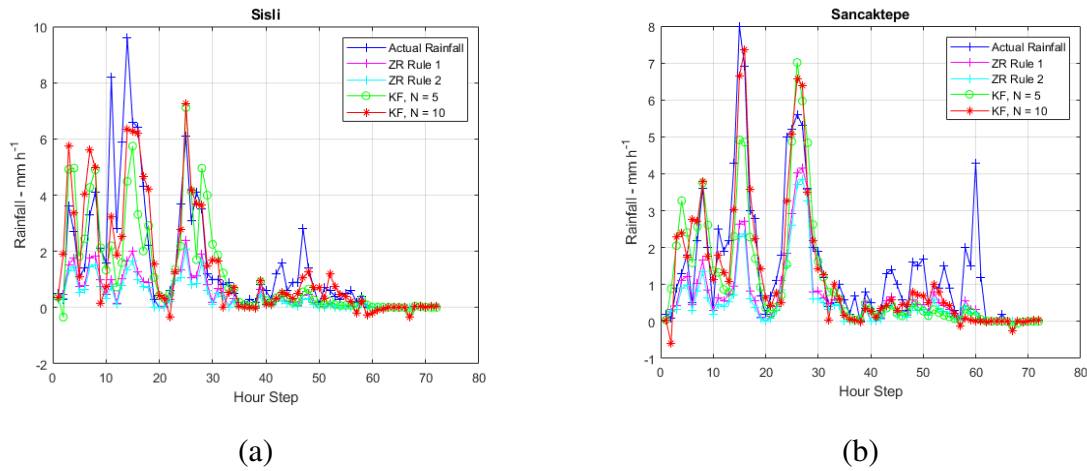


şekil 4.1 OMĐİ konumları (a) şişli ve (b) Sancaktepe için Kalman Filtresi ve diğ er Z-R bağıntıları ile elde edilen yağış miktarı tahmininin gerçekleşen yağış miktarı ile karşılaştırılması, N=5 adet OMĐİ yağışgler, saatlik radar reflektivite verisi kullanılarak.

Tablo 4.2: Her bir OMĐİ için T adet eğitim rneği ile elde edilen MSE değerleri, Saatlik veri, N=10 adet OMĐİ yağışgler (S₁: şişli, S₂: Kadıköy, S₃: Ümraniye, S₄: Sancaktepe, S₅: Darıca, S₆: Florya, S₇: skdar, S₈: Samandıra, S₉: Kartal, S₁₀: Tuzla).

T	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀
24	4,35	1,67	1,00	3,98	3,29	3,35	1,26	4,62	0,68	5,16
30	1,36	0,50	0,49	0,80	0,31	0,47	0,63	1,52	0,06	0,32
36	1,28	0,46	0,46	0,77	0,30	0,45	0,60	1,43	0,06	0,32
42	1,28	0,46	0,45	0,77	0,30	0,45	0,60	1,40	0,06	0,32
48	1,26	0,45	0,45	0,76	0,31	0,45	0,59	1,38	0,07	0,32
54	1,29	0,45	0,45	0,76	0,31	0,46	0,59	1,37	0,07	0,32
60	1,28	0,46	0,44	0,80	0,29	0,45	0,58	1,42	0,07	0,31
66	1,29	0,46	0,44	0,79	0,29	0,45	0,58	1,44	0,07	0,31
72	1,29	0,46	0,45	0,79	0,29	0,45	0,58	1,45	0,07	0,31
ZR1	3,77	1,78	1,80	1,87	0,87	2,04	2,49	2,36	0,30	0,96
ZR2	4,26	2,13	2,18	2,25	1,11	2,41	2,93	2,68	0,22	1,19

Tablo 4.2.'de; N=5 olan OMĐİ sayısı Florya, Üsküdar, Samandıra, Kartal ve Tuzla OMĐİ'leri de eklenerek N=10 'a çıkartılmıştır. Saatlik veriler ile yapılan çalışmada sonuçlar şunu göstermiştir; N =10 adet OMĐİ ile çalışıldığında, Kalman Filtresi yağış miktarı tahminleri ZR1 ve ZR2 tahminlerine, N=5 adet OMĐİ ile çalışıldığı gibi benzer şekilde 30 saatlik eğitim süresiyle ulaşabilmektedir. Bu süre Üsküdar ve Ümraniye için 24 saate kadar düşmektedir. Öte yandan Kalman Filtresi 30 saat süreyle N=10 adet OMĐİ kullanılarak eğitildiğinde aynı süre eğitilen N=5 adet OMĐİ kullanıldığında daha iyi sonuçlar vermektedir.



Şekil 4.2: OMGİ konumları (a) Şişli ve (b) Sancaktepe için ZR1 ve ZR2 bağıntıları ile N=5 ve N=10 için Kalman Filtresi yağış tahminlerinin gerçekleşen yağış miktarı ile karşılaştırılması, saatlik radar reflektivite verisi kullanılarak.

Kalman Filtresi model parametreleri, minimum MSE'nin elde edilebildiği $T=T_s=72$ zaman adımı boyunca kullanılan reflektivite-yağış veri çifti ile belirlenmiştir. Şekil 4.2 'de Şişli ve Sancaktepe OMGİ'lerine ait yağışölçer yağış miktarı ile N=5 ve N=10 OMGİ için yapılan Kalman Filtresi tahminleri ile ZR1 ve ZR2 bağıntılarından elde edilen yağış miktarı tahminleri gösterilmiştir.

Tablo 4.3: Her bir OMGİ için T adet eğitim örneği ile elde edilen MSE değerleri, Saatlik veri, N=15 adet OMGİ yağışölçer (S₁: Şişli, S₂: Kadıköy, S₃: Ümraniye, S₄: Sancaktepe, S₅: Darıca, S₆: Florya, S₇: Üsküdar, S₈: Samandıra, S₉: Kartal, S₁₀: Tuzla, S₁₁: Büyükçekmece, S₁₂: Davutpaşa, S₁₃: Vefa, S₁₄: Eyüp, S₁₅: Sarıyer).

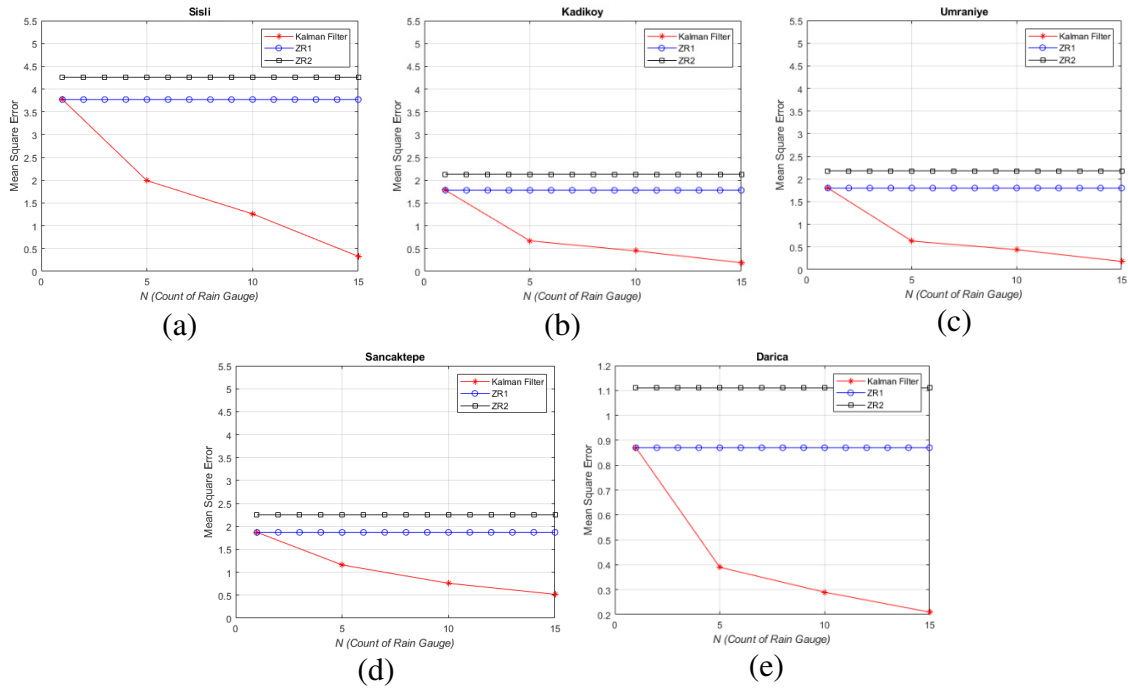
T	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉	S ₁₀	S ₁₁	S ₁₂	S ₁₃	S ₁₄	S ₁₅
24	20,29	11,95	4,21	2,24	1,44	3,62	13,52	12,20	0,91	2,69	6,96	8,38	16,83	3,21	4,84
30	0,57	0,29	0,22	0,59	0,41	0,24	0,28	1,09	0,09	0,50	1,14	0,24	0,45	0,74	0,50
36	0,50	0,25	0,21	0,55	0,32	0,23	0,27	0,97	0,08	0,42	0,81	0,23	0,42	0,58	0,37
42	0,43	0,23	0,20	0,52	0,27	0,19	0,24	0,86	0,07	0,34	0,72	0,20	0,34	0,48	0,35
48	0,36	0,21	0,19	0,52	0,22	0,15	0,22	0,84	0,07	0,24	0,56	0,19	0,29	0,37	0,27
54	0,33	0,19	0,18	0,56	0,21	0,14	0,20	0,82	0,07	0,22	0,57	0,18	0,27	0,35	0,25
60	0,34	0,19	0,19	0,74	0,21	0,14	0,19	0,92	0,06	0,22	0,57	0,19	0,27	0,36	0,26
66	0,33	0,19	0,19	0,74	0,21	0,14	0,19	0,90	0,06	0,22	0,57	0,19	0,27	0,36	0,26
72	0,33	0,19	0,19	0,74	0,21	0,14	0,19	0,90	0,06	0,22	0,57	0,19	0,27	0,36	0,26
ZR1	3,77	1,78	1,80	1,87	0,87	2,04	2,49	2,36	0,30	0,96	3,31	3,77	3,57	2,61	2,18
ZR2	4,26	2,13	2,18	2,25	1,11	2,41	2,93	2,68	0,22	1,19	3,76	4,27	4,06	3,00	2,56

N=10 adet OMGİ'ye Büyükçekmece, Davutpaşa, Vefa, Eyüp ve Sarıyer 'deki OMGİ'ler de dahil edilerek OMGİ sayısı N=15 'e çıkarılmıştır. Tablo 4.3'te görüldüğü gibi saatlik veriler ile

yapılan çalışmada sonuçlar şunu göstermiştir; $N = 15$ adet OMGİ ile çalışıldığında, Kalman Filtresi yağış miktarı tahminleri ZR1 ve ZR2 tahminlerine $N=10$ adet OMGİ ile çalışıldığı gibi benzer şekilde 30 saatlik eğitim süresiyle ulaşabilmektedir. Öte yandan Kalman Filtresi 30 saat süreyle $N=15$ adet OMGİ kullanılarak eğitildiğinde aynı süre eğitilen $N=10$ adet OMGİ kullanıldığından daha iyi sonuçlar vermektedir.

Kalman Filtresinde $N=5$, $N=10$ ve $N=15$ OMGİ verisi kullanıldığında 30 saat eğitim süresinin her zaman Z-R bağıntılarına göre daha az hatalı ve iyi sonuçlar verdiği, aynı zamanda OMGİ sayısının artırılması ile hata oranlarının düştüğü görülmektedir.

Şekil 4.3. 'te Kalman Filtresi yağış miktarı tahmini için farklı sayıda OMGİ yağışölçer kullanımına göre Şişli, Kadıköy, Ümraniye, Sancaktepe ve Darıca için elde edilen minimum MSE değerleri gösterilmiştir. Grafikler incelendiğinde; Kalman Filtresi yağış miktarı tahmini hata oranlarının OMGİ yağışölçer sayısındaki artışla birlikte belirgin bir şekilde düştüğü görülmektedir.



Şekil 4.3: Farklı N sayıda OMGİ yağışölçer kullanımına göre (a) Şişli (b) Kadıköy (c) Ümraniye (d) Sancaktepe ve (e) Darıca OMGİ'leri için elde edilen minimum MSE değerleri.

N=1 iken sadece ilgili OMGİ'nin konumuna denk düşen önceki ve şimdiki radar reflektivite değerine bağlı olarak tahmin yapılmaktadır. Bu şekilde yapılan yağış miktarı tahmini Şekil 4.3.'ten anlaşıldığı gibi $Z = 200 \cdot R^{1.6}$ (ZR1) bağıntısı ile elde edilen yağış miktarı tahminleriyle aynı MSE hata değerine sahiptir. Diğer taraftan bir OMGİ konumu için Kalman Filtresi ile tahmin yapılırken komşu OMGİ'lerin radar reflektivite değerlerini de Kalman Filtresine eklediğimizde; ilgilenilen OMGİ'ye ait yağış miktarı tahminleri MSE hata oranlarında belirgin bir şekilde azalma olmaktadır.

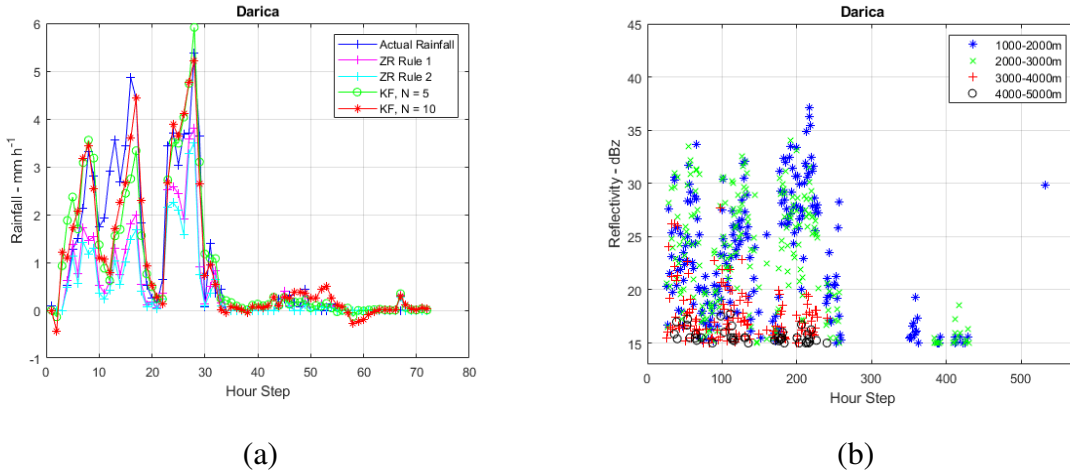


5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Z-R bağıntıları, ölçülen reflektivite değerine göre yağış değerini hesapladıkları için reflektivite değerlerindeki sapmalara karşı hassastırlar. Z-R bağıntıları bölgeden bölgeye, mevsimlere ve yağış tipine göre değişiklik göstermektedir (Bkz.Tablo 2.3). Z-R bağıntılarındaki bu değişkenlik yağış tahmini için bir hata kaynağı olarak kabul edilebilir. Kalman Filtresi tahmin sonuçlarını kıyaslarken kullandığımız $Z = 200.R^{1.6}$ (ZR1) ve $Z = 300.R^{1.4}$ (ZR2) bağıntıları, hatalı bir reflektivite ölçüm değerinde hatalı yağış tahmini gerçekleştirir. Kalman Filtresi özyineli bir tahmin edici oluşundan dolayı ölçüm değerini dikkate alarak tahminini güncellemektedir. Kalman Filtresi, yağış tahmininde çok sayıda OMGİ verisi kullanılarak reflektivite verisini alansal olarak değerlendirmektedir.

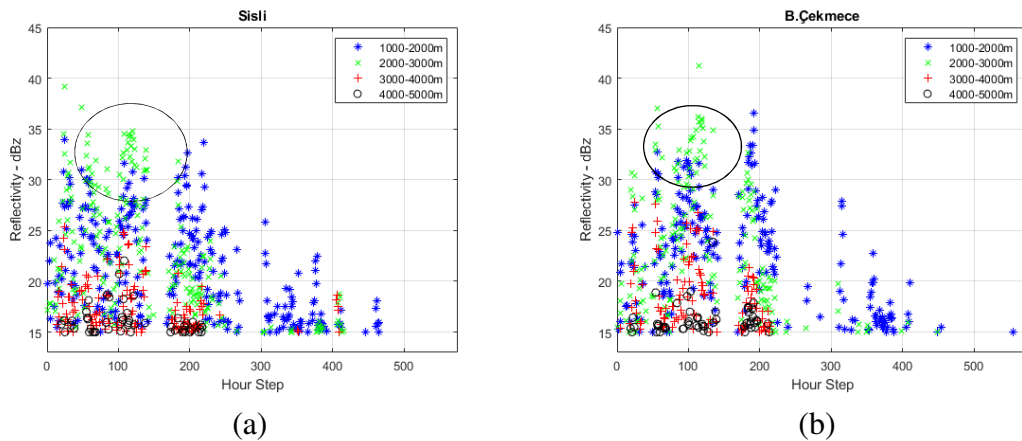
Tez çalışmasında; reflektivite ölçüm verileri kullanılmadan önce Bölüm 2.3 de belirtilen radar verisindeki sapmalar üzerinde durulmuş ve radar verisi üzerinde yapılabilecek düzeltmeler gerçekleştirilmiştir. Bu kapsamda; benzer çalışmalarda olduğu gibi minimum reflektivite verisi 15dBZ olarak belirlenmiş ve gürültülerden kaçınılmaya çalışılmıştır. Yüksek reflektivite değerlerini değerlendirmeye almamak için reflektivite değerinin üst sınırı 53dBZ olarak alınmıştır[15,34]. Zemin dağınıklığı (ground clutter) ekolarını engellemek için İstanbul-Çatalca radarı için mevcut bir maskeleyme haritası bulunmamaktadır ve kullanılmamıştır. Daha ziyade hava tahmincilerinin radar görsel ürünlerini inceleyerek, kesit alıp irdeleyerek vb. deneyim kazandıkları değerlendirmeler ile zemin dağınıklığı tespit edilmekte ve ne büyüklükte radar ekosunun ne kadar yağış bıraktığı gibi önceki değerlendirmelere bağlı olarak oluşan deneyimleri doğrultusunda mevcut radar ürünleri yorumlanmaktadır. Soğrulma (attenuation) düzeltmesi yapılmamıştır. Doppler özellikli İstanbul-Çatalca radarında Doppler Filtre düzeltmesi yapılmış haldedir. Bu özellik sayesinde hedefin radara göre radyal hızı hesaplanabilmekte, radara yaklaşmakta veya uzaklaşmakta olduğu tespit edilebilmekte ve hareketli bölgeler içinde sabit ekolar tespit edilerek temizlenmektedir. Çalışılan periyod içinde; anormal yayılıma neden olabilecek Enverziyon (sıcaklık terselmesi) tespit etmek amacıyla 28-30 Kasım 2016 tarihleri arasındaki Ravinsonde Yüksek Atmosfer Gözlemi TEMP Diyagramları (Bkz. EK-4) incelenmiş ve sıcaklığın yükseklikle birlikte artışının olduğu enverziyon seviyesine rastlanmamıştır. Çalışılan tarihlerdeki Ravinsonde TEMP diyagramlarına göre 0°C

sıcaklığının ilk görüldüğü seviye yükseklikleri Tablo 3.7 'de verilmiştir. Buna göre 29 Kasım 2018 00GMT'de 0°C yüksekliği 1977 m iken 12GMT'de OMGİ'ler için kritik seviye olan 1167m 'ye düşmüştür. 30 Kasım 2018 00GMT ve 12GMT ait TEMP diyagramlarında 0°C yüksekliği sırayla 811 m ve 611m 'dir. Bu yükseklikler, Tablo 3.8 'de verilen 0.2° ile gönderilen radar ışını ile ilgili yükseklikler de dikkate alınarak incelendiğinde uzak mesafelerdeki Darıca ve Tuzla'nın 29 Kasım 2016 12GMT 'den sonra parlak bant etkisi için yüksek riskli bölgede olduğu; Sancaktepe, Kartal ve Samandıra 'nın 30 Kasım 2016 00GMT 'den sonra parlak bant etkisi riski taşıdığı tespit edilmiştir. Fakat EK-2'de OMGİ'lere ait MSE hata oranı grafikleri incelendiğinde Darıca ve Tuzla'da parlak bant etkisinden kaynaklı reflektivite değerlerinde yükselişin olmadığı ve sonrasında yapılan ZR1 ve ZR2 tahminlerinin gerçekleşen yağışlardan kayda değer bir sapmanın oluşmadığı görülmüştür. EK 5.'te verilen İstanbul Çatalca Radarına göre çalışılan OMGİ'lere ait Işın Engelleme ve Görünürlük Analizi Diyagramları incelendiğinde radarla OMGİ'ler arasında ışın engellemesinin bulunmadığı görülmektedir. Yalnızca uzak OMGİ'lerde radar ışınının yer kürenin yuvarlaklığından dolayı yukarılarda kaldığı görülmüştür. Buna göre; 0.2° 'lik radar yükseklik açısıyla gönderilen radar ışını; radara 107.7km uzaklıktaki Darıca OMGİ 'sinde 940-1991m arası 1051m kalınlığındaki ve radara 97.5km uzaklıktaki Tuzla OMGİ 'sinde 831-1782m arası 951m kalınlığındaki hacimlerin tarandığı görülmektedir. Bu durum, radar ışınının radardan uzaklaştıkça yerden yüksekte kaldığı ve minimum görünürlük seviyesi olan ışınının alt seviyenin altındaki yağışlı bölgeden hiç ölçüm alınamamasına neden olduğu için önem taşımaktadır [34]. En düşük minimum radar ışını yüksekliğine sahip Darıca OMGİ 'sinde radar ışınının merkezi 1466m 'dir. Şekil 5.1 (b) 'de verilen Darıca'nın düşey reflektivite profilinde 1000m-2000m ile 2000m-3000m CAPPI yüksekliklerinde 20-35 dBZ arası reflektivite değerleri görülmektedir. Bu değerlere göre Z-R bağıntıları ile hesaplanan yağış değerleri beklenildiği gibi gerçekleşen yağışların altında kalmıştır. Dolayısıyla en uzak mesafede bulunan Darıca'da radar ışını yüksekte kalmasına rağmen taranan hacim yağış miktarını temsil edebilecek yağış parçacık yoğunluğuna sahiptir. Bu durumu düşey reflektivite profili de desteklemiştir.



Şekil 5.1: (a) Darica için Kalman Filtresi, ZR1 ve ZR2 yağış tahminlerinin gerçekleşen yağış miktarı ile karşılaştırılması (b) Darica üzerindeki CAPPI radar verisine ait 4 yükseklik seviyesi reflektivite ölçüm verileri.

Çalışmada sadece yerden 1km yükseklikteki CAPPI reflektivite (dBZ) verileri kullanılmıştır. CAPPI radar verisi yerden 1km ile 12km arasında reflektivite verisi içermektedir. Diğer seviyelerden alınacak reflektivite verileri kullanılarak Kalman Filtresi yağış tahmininde iyileştirmeler yapılabilir [31]. Özellikle dikine gelişimin olduğu konvektif yağışlarda daha üst seviyelerdeki reflektivite değerlerin modele dâhil edilmesi gereklidir. Şekil 5.2 'de; tez çalışmasında kullanılan periyod için Büyükçekmece ve Şişli 'ye ait düşey reflektivite profilleri görülmektedir. Ölçümler radarın taradığı hacimdeki 4 ayrı yükseklik seviyesinden alınan reflektivite (dBZ) değerleridir.



Şekil 5.2: (a) Şişli ve (b) Büyükçekmece üzerindeki CAPPI radar verisine ait 4 ayrı yükseklik seviyesi reflektivite ölçüm verileri.

Şekil 5.2 'de görülen Büyükçekmece ve Şişli için; yüksek reflektivite değerlerin yere yakın ilk seviyelerden alındığı, ikinci yükseklik seviyesinde de yüksek reflektivite değerlerinin

bulunması yağışın kuvvetli olduğunu göstermektedir. 28.11.2016 tarihinde Büyükçekmece’de $12.4 \text{ mm.saat}^{-1}$ ve Şişli ‘de 9.8 mm.saat^{-1} saatlik yüksek yağış değerleri ölçülmüştür.

Tez çalışmasında; Kalman Filtresi bilinmeyen durum vektörü (unknown state vector), farklı yağışölçer konumlarında ölçülen yağış verileridir. Model ölçüm değerleri ise ilgili OMGİ konumuna denk düşen piksel ile bu piksele komşu 24 pikselin (5 piksel x 5piksel) ortalama reflektivite değeridir. Kalman Filtresi ile her bir OMGİ yağışölçer konumu için yağış miktarı tahmini yapılmaktadır. Sonuçlar göstermiştir ki; bir konum için yağış tahmini yaparken ne kadar çok diğer OMGİ konumlarını Kalman Filtresine dâhil edersek tahminimizdeki MSE hata oranları o kadar çok düşmektedir. Kalman Filtresi ile N=5, N=10 ve N=15’erli OMGİ grupları kullanılarak yapılan tüm yağış tahminleri Z-R bağıntıları ile yapılan yağış miktarı tahminlerine kıyasla daha iyi performans göstermektedir.

Bir konuma ait yağış miktarını, en düşük MSE hata oranıyla tahmin edebilmek için Kalman Filtresinde o konum için kullanılacak OMGİ’lerin sayısı ve konumları ile ilgili iyileştirme çalışmaları yapılabilir. Bunun için [2] çalışmada olduğu gibi farklı yağış sensör verileri kullanılarak bir sonraki zaman adımı için genelde sayısal hava tahmin modellerinde kullanılan 3D-Var asimilasyon yöntemi ile yağış tahmini ve hata kovaryans değerleri güncellenebilir. Hata kovaryansının sabit olmayıp zamana göre değiştiği bu yaklaşım [2] ‘teki gibi Değişimli Kalman Filtresi (Variational Kalman Filter, VKF) kullanımı ile gerçekleştirilebilir.

Tez çalışması, geniş alanda etkili olan ve kasım ayı sonunda görülen stratiform tipi yağış üzerinde yapılmıştır. Mevcut çalışma alanı için hesaplanmış Kalman Filtresi model parametrelerinin yıl içinde farklı mevsim ve zamanlarda görülen aynı tip (Stratiform) veya farklı tip (Konvektif yağış vb.) yağışlar üzerinde de denenerek model parametresi üzerinde iyileştirme çalışmaları yapılabilir. Tablo 2.3 ‘te de görüldüğü gibi farklı mevsim ve aylarda görünen farklı tip yağışlar için geliştirilmiş birçok Z-R bağıntısı mevcuttur [1,3,8,11,26]. Deneysel olarak elde edilen tüm bu bağıntılar statiktir. Belli bir reflektivite değerine karşılık bir yağış değeri üretir. Kalman Filtresi tahmin modeli özyineli ve öğrendiği veriler ile kendi tahminini sürekli güncellemesi açısından avantaj sunmaktadır [6,7,21,27,39].

Tez çalışmasında İstanbul Çatalca radarı CAPPI reflektivite (dBZ) verileri kullanılmıştır. Çalışmanın yapıldığı bölgenin İstanbul Anadolu yakası aynı zamanda Bursa İznik radarının 120 km’lik kapsama alanı içinde kalmaktadır. Bursa İznik radarına ait veriler önışlemeden geçirilip

kullanılarak; mevcut reflektivite ölçümlerinin kalitesini arttırabilir, sapmalardan kaynaklı eksik ve yanlış ölçümlerin neden olabileceği hatalar minimuma indirilebilir, ilişkisiz veriler ayıklanabilir veya ilişkili verilerin ağırlığı model içindeki ağırlığı arttırılabilir. İkincil olarak; Bursa radarı reflektivite ölçümlerini çalıştırdığımız Kalman Filtresi tahmin modeline kontrol parametresi olarak eklenebilir ya da [23] çalışmada olduğu gibi ikinci Kalman Filtresi modeli kullanarak ölçüm modeli parametrelerinin güncel tutulması da sağlanabilir.

MGM tarafından, İstanbul ve Bursa radarı kesişim bölgesinde her iki radara da aynı uzaklıkta bulunan, minimum radar görülür ışın seviyeleri birbirine yakın ve topoğrafyadan kaynaklı ışın engellemesi etkisi altında bulunmayan test bölgesi oluşturulmuştur. Bu bölgeler içinde üçer adet yağışölçer içeren belirli sayıda OMGİ, bir adet distrometre ve bir adet yüksek çözünürlüklü kamera mevcuttur [17,28]. Çoklu radar verileri ile birlikte bu verilerin de Kalman Filtresi yağış tahmini sonuçlarının iyileştirilmesinde kullanımı düşünülebilir.

Tez çalışmasında, 8 dakikada bir alınan radar reflektivite ölçümlerinin bir sonraki ölçüme kadar değişmediği [10,13] kabulü ile çalışılmıştır. Fakat yağış parçacıkları, rüzgâr yön ve hızı, adveksiyon ve konveksiyon benzeri bir takım dinamik süreçlerin etkisi altındadır. Bunun sonucu olarak her zaman bulut içinde ölçülen reflektivite değerini yağışölçerde noktasal yağış olarak ölçemeyebiliriz. [10] 'a göre reflektivite ölçümlerine yansıtılabilecek 3 ayrı metot bulunmaktadır. Tez çalışmasında yağışlı bölgenin örnekleme periyodu boyunca sabit kaldığı ve değişmediği kabulü olan birinci metot kullanılmıştır. İkinci metoda göre yağışlı bölge sabit hızla hareket etmekte fakat yoğunluğu değişmemektedir. Bu aşamada yağışlı bölgedeki parçacığın hızı (veya hacmin ortalama hızı) bilinmelidir. Üçüncü metoda göre ise yağışlı bölge sabit hızla hareket ederken yoğunluğu da lineer olarak değişmektedir. Yağışlı bölgenin radyal hız değerinin dâhil edildiği bir çalışma ile metot 2 ve metot 3 kullanılarak iyileştirilmiş Kalman Filtresi yağış tahmini gerçekleştirilebilir. Böyle bir çalışmaya, Kalman Filtresi yağış tahmin modeline kontrol parametresi olarak yer seviyesinde ölçülen sıcaklık, nem, basınç, rüzgâr yön ve hızı gibi meteorolojik veriler de eklenerek yağışın tipi, yoğunluğu, miktarı ve yerdeki hareketi konusunda birtakım sezgisel çalışmalar gerçekleştirilebilir.

KAYNAKLAR

- [1]. Battan L.J., 1973, *Radar Observation of the Atmosphere*. The University of Chicago Press, Chiago. 1973;324. ISBN : 9780226039190
- [2]. Bianchi, B., Leeuwen, P.J.V., Hogan, R.J, Berne, A., 2018, *Rainfall nowcasting by combining radars, microwave links and rain gauges*, arXiv:1810.11811v1 28 Oct 2018 [physics.ao-ph]
- [3]. Biggerstaff MI, Listemaa SA., 2000, *An improved scheme for convective/stratiform echo classification using radar reflectivity*, Journal of applied meteorology, 39(12):2129-2150.
- [4]. Chumchean S, Sharma A, Seed A., 2005, *An Integrated Approach to Error Correction for Real-Time Radar-Rainfall Estimation*. American Meteorological Society, 2006;23(1):67-79. <https://doi.org/10.1175/JTECH1832.1>. [Ziyaret Tarihi:20.12.2018]
- [5]. Chumchean S, Sharma A, Seed A., 2003, *Radar rainfall error variance and its impact on radar rainfall calibration*. APhysics and Chemistry of the Earth 28 (2003) 27-39, DOI: 10.1016/S1474-7065(03)00005-6
- [6]. Chumchean S, Seed A, Sharma A.,2005, *Correcting of real-time radar rainfall bias using a Kalman Filtering Approach*, Journal of Hydrology. 317(1):123-137. Available from: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169405002647>.
- [7]. Costa, M., Monteiro, M., Gonçalves, A.M.P., 2012, *Kalman Filtering Approach in the Calibration of Radar Rainfall Data – A Comparative Analysis of State Space Representations*, Rainfall: Behavior, Forecasting and Distribution, In: Martin, O.E.(ed.), Chapter.ID_5898_7x10-20, Yayınevi:Nova Science Publishers, DOI: 10.13140/2.1.3822.5287
- [8]. Crosson WL, Duchon CE, Raghavan R, Goodman SJ.,1996, *Assessment of rainfall estimates using a standard ZR relationship and the probability matching method applied to composite radar data in central Florida*, Journal of Applied Meteorology., 35(8):1203-1219.
- [9]. Dhiram K, Wang Z.,2016, *Evaluation on Radar Reflectivity-Rainfall Rate (Z-R) Relationships for Guyana*, Atmospheric and Climate Sciences,6, 489:499, DOI:10.4236/acs.2016.64039
- [10]. Fabry, F., Bellon A., Duncan M.R., Austin L., 1994, *High Resolution rainfall measurements by radar for very small basins : the sampling problem reexamined*, Journal of Hydrology 161 (1994) 415-428
- [11]. Fabry, F., 2015, *Radar Meteorology Principles and Practice – Cambridge University Press*, ISBN : 978-1-107-07046-2

- [12]. Fukao, S., Hamazu, K., 2014, *Radar for Meteorological and Atmospheric Observations*, Springer Japan 2014, ISBN : 978-4-431-54333-6
- [13]. Gad, M.A., Tsanis, I.K., 2003, *A GIS methodology for the analysis of weather radar precipitation data*, Journal of Hydroinformatics 05.2 (2003)113-126,
- [14]. Hamilton, J.D., 1994, *Time Series Analysis, vol. 2.*, Princeton University Press, Princeton, NJ
- [15]. Hasan M.M., Sharma A., Johnson F., Mariethoz G., 2014, *Correcting bias in radar Z-R Relationship due to uncertainty in point rain Gauge networks*, Journal of Hydrology 519 (2014) 1668-1676, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.060>, [Ziyaret Tarihi:20.12.2018]
- [16]. Hasan M.M, Sharma A., Mariethoz G., Johnson F., Seed A., Improving radar rainfall Estimation by merging point rainfall measurements within a model combination framework, *Advances in Water Resources* 97 (2016) 205-218, <http://dx.doi.org/10.1016/j.advwatres.2016.09.011> [Ziyaret Tarihi:20.12.2018]
- [17]. Hazer, A., Kara, N., 2017, *Meteoroloji Radar Ağında, ZR İlişkisindeki A ve B Katsayılarının Bulunması ve Bunların Radara Uygulanarak Sonuçların Yer Gözlemiyle Karşılaştırılması*, III. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu, Kasım 2017, <http://uzalmet.mgm.gov.tr/tammetin/21.pdf>.
- [18]. Helwig, N.E., 2017, *Multivariate Linear Regression*, <http://users.stat.umn.edu/~helwig/notes/mv1r-Notes.pdf> [Ziyaret Tarihi:20.12.2018]
- [19]. Houze, Jr R.A., 1997, *Stratiform precipitation in regions of convection: A meteorological paradox?*, Bulletin of the American Meteorological Society. 78(10):2179-2196.
- [20]. IEEE Standard Association, 2002, *IEEE Std. 521-2002 - Standard Letter Designations for Radar Frequency Bands*, <http://standards.ieee.org/findstds/standard/521-2002.html> [Ziyaret Tarihi: 20.12.2018]
- [21]. Jakubiak, B., Licznar, P., Malinowski, S.P., 2014, *Rainfall Estimates From Radar vs. Raingauge Measurements. Warsaw Case Study*, Environment Protection Engineering, 40(2):159-170, DOI: 10.5277/epe140212
- [22]. Kay, S.M.,1998, *Fundamentals of statistical signal processing, Vol. I: Estimation Theory*. Signal Processing Upper Saddle 24 River, NJ: Prentice Hall.
- [23]. Kim, J., Yoo, C., 2014, *Use of a dual Kalman filter for real-time correction of mean field bias of radar rain rate*, Journal of Hydrology, 519 (2014) 2785–2796, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.072>
- [24]. Krajewski, W.F., Smith, J.A., 2002, *Radar hydrology: rainfall Estimation*, Advances in Water Resources 25 (2002) 1387–1394, [https://doi.org/10.1016/S0309-1708\(02\)00062-3](https://doi.org/10.1016/S0309-1708(02)00062-3) [Ziyaret Tarihi:20.12.2018]

- [25]. Lang, S., Tao, W., Simpson, J., Ferrier, B., 2003, *Modeling of convective-stratiform precipitation processes: Sensitivity to partitioning methods*, Journal of Applied Meteorology, 42(4):505-527.
- [26]. Marshall J.S., Palmer W.M.K.,1948, *The distribution of raindrops with size*, Journal of meteorology. 1948;5(4):165-166.
- [27]. Maşazade, E., Bakır,A.K., Kırıcı,P.,2018,*A Kalman Filter Application for Rainfall Estimation using Radar Reflectivity Measurements*, TURKISH JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING & COMPUTER SCIENCES Turk J Elec Eng & Comp Sci E-ISSN: 1303-6203 ISSN: 1300-0632 DOI: 10.3906/elk-1807-345
- [28]. Öztürk K, Çubuk A., 2017, *Orta ölçekli Konvektif Hadiselerde Meteoroloji Radarlarının Yağış Tahminlerinin Analizi*, III. Meteorolojik Uzaktan Algılama Sempozyumu, <http://uzalmet.mgm.gov.tr/tammetin/29.pdf>.
- [29]. Picolo, F., Chirico, G.B., 2005, *Sampling errors in rainfall measurements by weather radar*, Advances in Geosciences, 2,151-155,SRef-ID:1680-7359/adgeo/2005-2-151
- [30]. Soysal, M.İ.,2012, *Çözümlü İstatistik Problemleri*, Tekirdağ, Namık Kemal Üniversitesi, Genel Yayın No:9 Yrd. Ders Yayın No:2
- [31]. Tan, H., Chandrasekar, V., Chen, H., A machine learning model for radar rainfall estimation based on gauge observations, *In:2017 United States National Committee of URSI National Radio Science Meeting (USNC-URSI NRSM);2017*. p. 1-2.
- [32]. Vaisala Oyj., 2017, *Appendix E. Hydromet Raingage Correction*, IRIS User Guide, IRIS Product and Display Manual, Helsinki,Finland, ftp://ftp.sigmet.com/outgoing/manuals/IRIS_Product_and_Display_Manuals.pdf [Ziyaret Tarihi:20.12.2018]
- [33]. Vaisala Oyj., 2017, *IRIS Programming Guide*, Helsinki, Finland, ftp://ftp.sigmet.com/outgoing/manuals/IRIS_Programmers_Manual.pdf [Ziyaret Tarihi:20.12.2018]
- [34]. Villarini G, Krajewski W.F., 2009, *Review of the Different Sources of Uncertainty in Single Polarization Radar-Based Estimates of Rainfall*, Surv Geophys (2010), 31:107-129, DOI 10.1007/s10712-009-909-x
- [35]. World Meteorological Organization, 2014, *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observations Part I –Chapter 6 , Measurement of Precipitation*, WMO-No.8, 2014 Edition (updated 2017), ISBN : 978-92-63-10008-5, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4147 , https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3152 [Ziyaret Tarihi:20.12.2018]
- [36]. World Meteorological Organization, 2014, *Guide to Meteorological Instruments and Methods of Observations Part II –Chapter 7 , Radar Measurements*, WMO-No.8, 2014 Edition (updated 2017), ISBN : 978-92-63-10008-5,

https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=4147 ,
https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3185 [Ziyaret Tarihi:20.12.2018]

- [37]. World Meteorological Organization, 2017, *Guidelines for Nowcasting Techniques*, WMO-No.1198, 2017 Edition, ISBN:978-92-63-10008-5, https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3795 [Ziyaret Tarihi:20.12.2018]
- [38]. Yahya, S.N.H.S., Tahir, W., Ramli, Suzana.,Mohd, S., Arof. H., Saaid, M.F.M.,2012, *Improved Estimation of Radar Rainfall Bias Over Klang River Basin Applications Using a Kalman Filtering Approach*, IEEE Symposium on Business, Engineering and Industrial, DOI: 10.1109/ISBEIA.2012.6422906
- [39]. Yuehong, S., Wanchang, Z., Yonghe, L., Jingying, Z., 2008, *Analysis of Quantative Estimation of Precipitation Using Different Algorithms with Doppler Radar Data*, 2008 International Workshop on Education Technology and Training & 2008 International Workshop on Geoscience and Remote Sensing

EKLER

EK 1. OMGI KONUMLARINA DENK GELEN CAPPI RADAR PIKSELİ COĞRAFİ KOORDİNLARI

EK 1.1. Şişli, Ümraniye, Sancaktepe, Kadıköy, Darıca, Florya Üsküdar Konumlarına Denk Gelen CAPPI Radar Pikseli Coğrafi Koordinatları

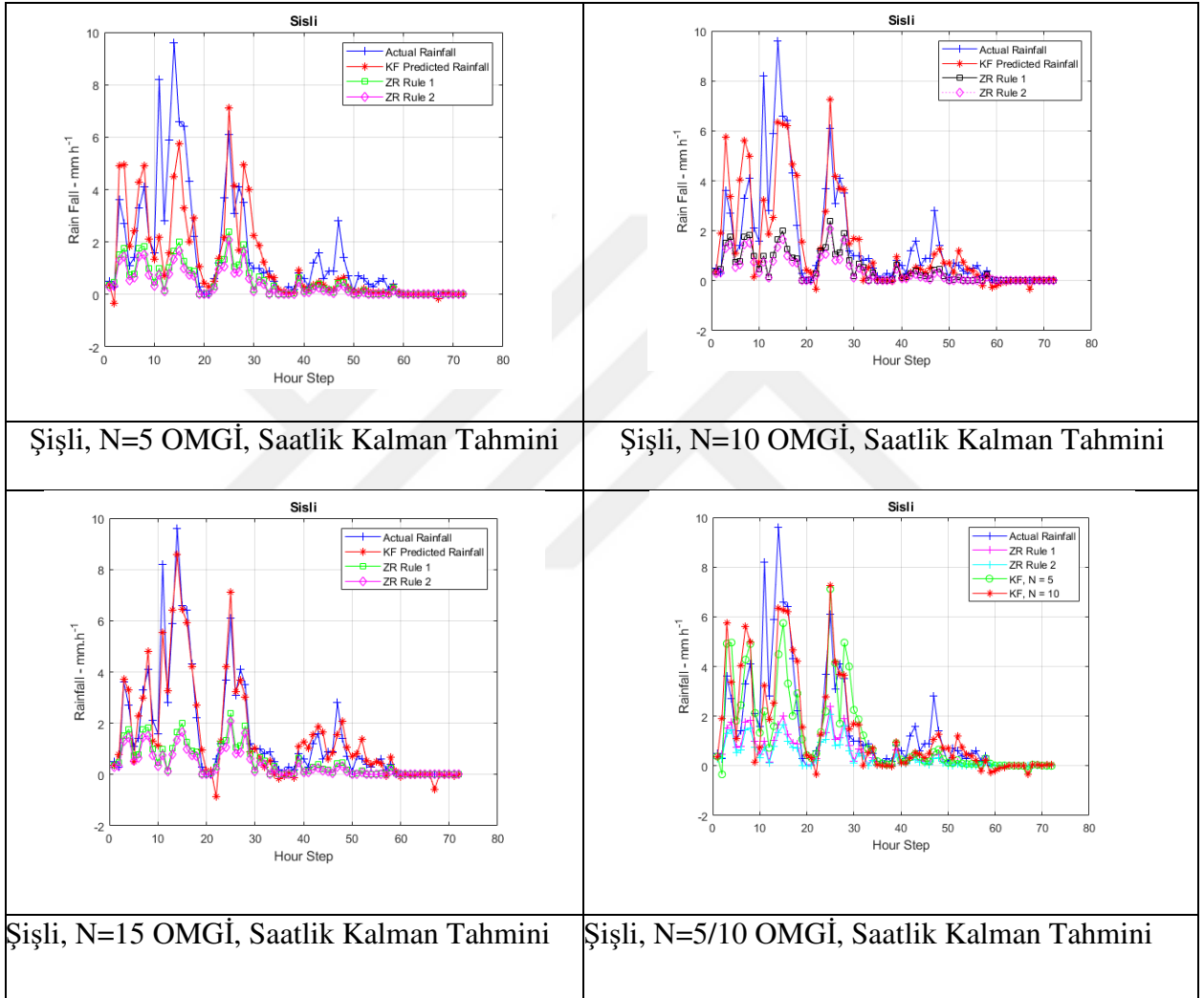
	Enlem (derece)	Boylam (derece)	CAPPI Piksel Konumu (y,x)	Pikselin Radara Uzaklığı Δx (m)	Pikselin Radara Uzaklığı Δy (m)	Piksel Enlem (derece)	Piksel Boylam (derece)
Çatalca Radar	41.3412	28.3566	(360,360)	0	0	41.3412	28.3566
Şişli	41.0547	28.9683	(455,514)	51332.81622314	-31666.34701538	41.055029	28.968157
			(455,515)	51666.14620972	-31666.34701538	41.055008	28.972128
			(456,514)	51332.81622314	-31999.67700195	41.052035	28.968129
Ümraniye	41.0294	29.1383	(455,515)	51666.14620972	-31999.67700195	41.052014	28.972100
			(463,556)	65332.67565918	-34332.98690796	41.030070	29.134643
			(463,557)	65666.00564575	-34332.98690796	41.030043	29.138612
Sancaktepe	41.0086	29.2822	(464,556)	65332.67565918	-34666.31689453	41.027076	29.134608
			(464,557)	65666.00564575	-34666.31689453	41.027049	29.138576
			(469,593)	77665.88516235	-36332.96682739	41.011020	29.281248
Kadıköy	40.9883	29.0190	(469,594)	77999.21514893	-36332.96682739	41.010988	29.285216
			(470,593)	77665.88516235	-36666.29681396	41.008026	29.281206
			(470,594)	77999.21514893	-36666.29681396	41.007994	29.285174
Darıca	40.7736	29.3900	(477,526)	55332.77606201	-38999.60671997	40.988893	29.015146
			(477,527)	55666.10604858	-38999.60671997	40.988870	29.019112
			(478,526)	55332.77606201	-39332.93670654	40.985899	29.015116
Florya	40.9758	28.7865	(478,527)	55666.10604858	-39332.93670654	40.985876	29.019082
			(547,621)	86999.12478638	-62332.70578003	40.776539	29.388689
			(547,622)	87332.45477295	-62332.70578003	40.776503	29.392643
Üsküdar	41.0328	29.0464	(548,621)	86999.12478638	-62666.0357666	40.773545	29.388642
			(548,622)	87332.45477295	-62666.0357666	40.773509	29.392596
			(481,468)	35999.63684082	-40332.92666626	40.978002	28.784992
Florya	40.9758	28.7865	(481,469)	36332.96682739	-40332.92666626	40.977987	28.788958
			(482,468)	35999.63684082	-40666.25665283	40.975007	28.784973
			(482,469)	36332.96682739	-40666.25665283	40.974992	28.788939
Üsküdar	41.0328	29.0464	(462,533)	57666.08596802	-33999.65692139	41.033644	29.043382
			(462,534)	57999.41595459	-33999.65692139	41.033621	29.047351
			(463,533)	57666.08596802	-34332.98690796	41.030650	29.043351
			(463,534)	57999.41595459	-34332.98690796	41.030626	29.047320

**EK 1.2. Kartal, Tuzla, Büyükçekmece, Vefa, Sarıyer, Davutpaşa, Eyüp Konumlarına
Denk Gelen CAPPI Radar Pikseli Coğrafi Koordinatları**

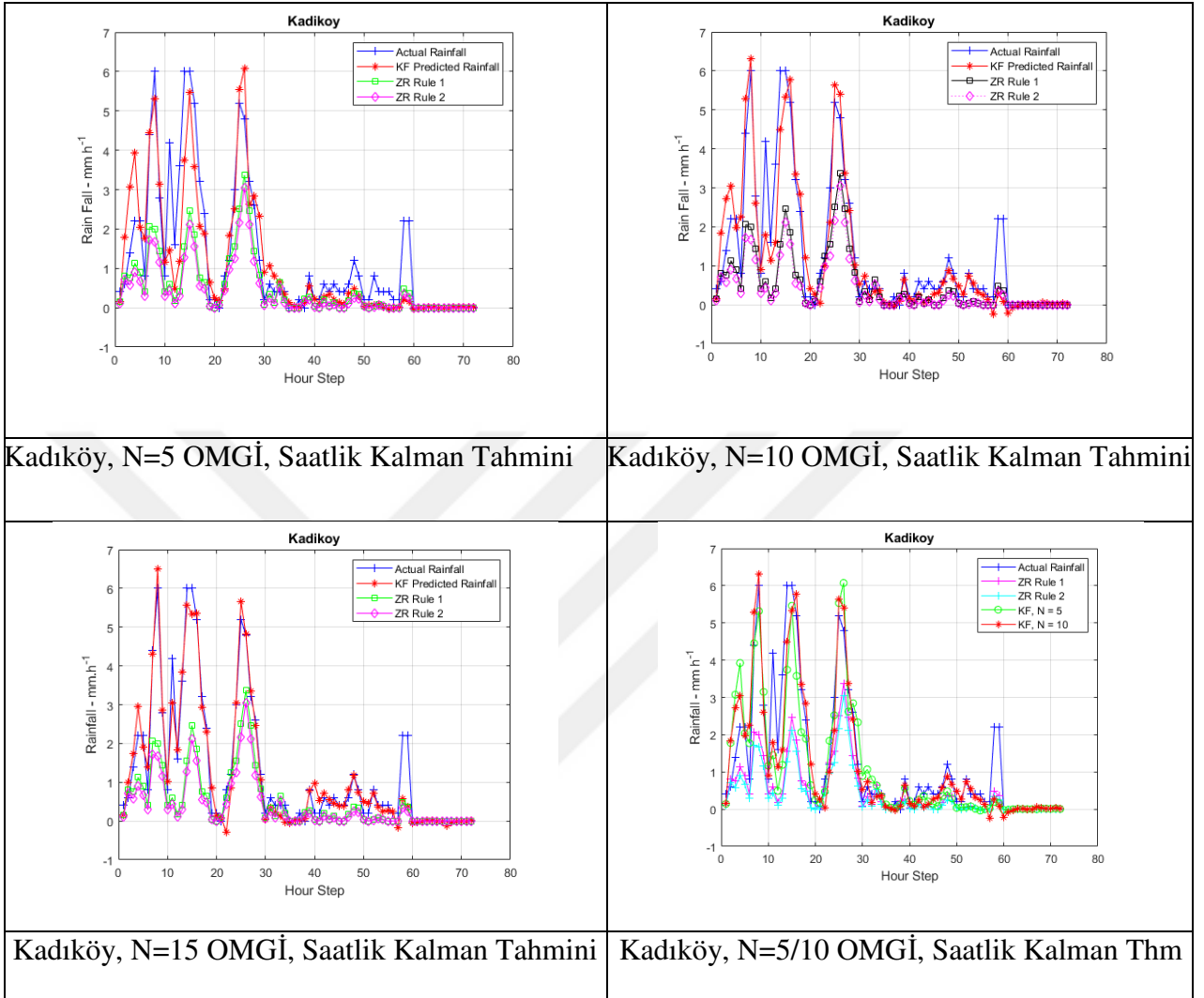
	Enlem (derece)	Boylam (derece)	CAPPI Piksel Konumu (y,x)	Pikselin Radara Uzaklığı Δx (m)	Pikselin Radara Uzaklığı Δy (m)	Piksel Enlem (derece)	Piksel Boylam (derece)
Samandıra	40.9866	29.2135	(477,576)	71999.27539062	-38999.60671997	40.987589	29.213480
			(477,577)	72332.6053772	-38999.60671997	40.987559	29.217446
			(478,576)	71999.27539062	-39332.93670654	40.984594	29.213441
			(478,577)	72332.6053772	-39332.93670654	40.984565	29.157000
Kartal	40.9113	29.1558	(502,561)	66999.32559204	-47332.85638428	40.913161	29.153074
			(502,562)	67332.65557861	-47332.85638428	40.913134	29.1570366
			(503,561)	66999.32559204	-47666.18637085	40.910167	29.153038
			(503,562)	67332.65557861	-47666.18637085	40.910140	29.157000
Tuzla	40.8278	29.2931	(530,596)	78665.87512207	-56666.0960083	40.828283	29.290560
			(530,597)	78999.20510864	-56666.0960083	40.828251	29.294517
			(531,596)	78665.87512207	-56999.42599487	40.825289	29.290518
			(531,597)	78999.20510864	-56999.42599487	40.825257	29.294475
B.Çekmece	41.0453	28.5900	(458,418)	19333.13751221	-32666.3369751	41.047438	28.586923
			(458,419)	19666.46749878	-32666.3369751	41.047430	28.590894
			(459,418)	19333.13751221	-32999.66696167	41.044444	28.586913
			(459,419)	19666.46749878	-32999.66696167	41.044436	28.590883
Vefa	41.0155	28.9601	(468,512)	50666.15625	-35999.63684082	41.016146	28.959858
			(468,513)	50999.48623657	-35999.63684082	41.016125	28.9638266
			(469,512)	50666.15625	-36332.96682739	41.013151	28.959831
			(469,513)	50999.48623657	-36332.96682739	41.013130	28.963799
Sarıyer	41.1464	29.0502	(424,534)	57999.41595459	-34999.6468811	41.025499	28.884530
			(424,535)	58332.74594116	-34999.6468811	41.025480	28.888499
			(425,534)	57999.41595459	-35332.97686768	41.022504	28.884506
			(425,535)	58332.74594116	-35332.97686768	41.022486	28.888475
Davutpaşa	41.0266	28.8853	(465,493)	44332.88650513	-34999.6468811	41.025499	28.884530
			(465,492)	44666.2164917	-34999.6468811	41.025480	28.888499
			(466,493)	44332.88650513	-35332.97686768	41.022504	28.884506
			(466,492)	44666.2164917	-35332.97686768	41.022486	28.888475
Eyüp	41.1028	28.9242	(439,502)	47332.85638428	-26333.06723022	41.103180	28.920920
			(439,503)	47666.18637085	-26333.06723022	41.103161	28.924894
			(440,502)	47332.85638428	-26666.3972168	41.100186	28.920894
			(440,503)	47666.18637085	-26666.3972168	41.100166	28.924868

EK 2. KALMAN FİLTRESİ TAHMİN MODELİ İLE ZR1 VE ZR2 BAĞINTILARI YAĞIŞ TAHMİNLERİNİN GERÇEKLEŞEN OMGİ YAĞIŞ MİKTARLARIYLA KARŞILAŞTIRMA GRAFİKLERİ

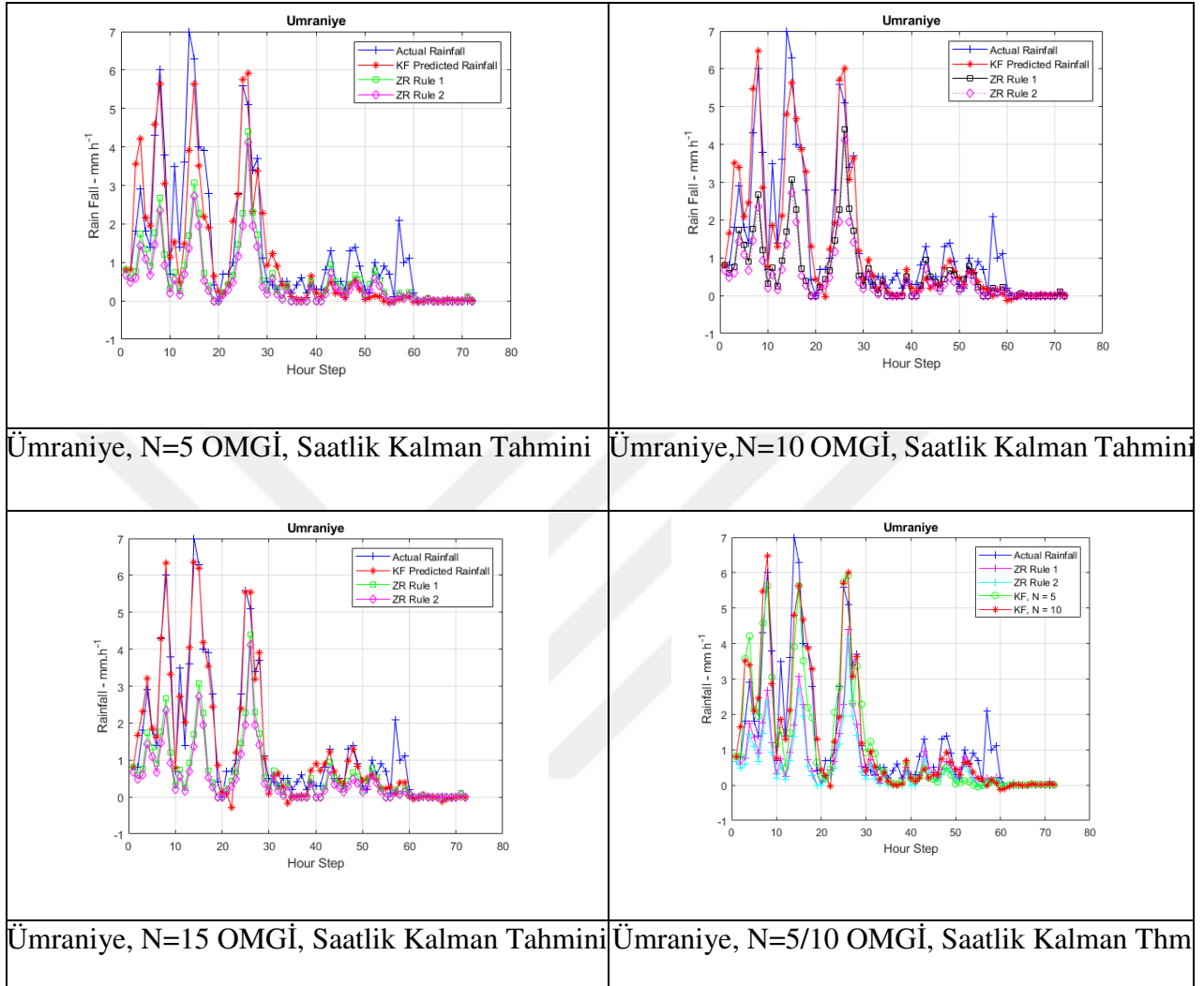
EK 2.1. Şişli Karşılaştırma Grafikleri



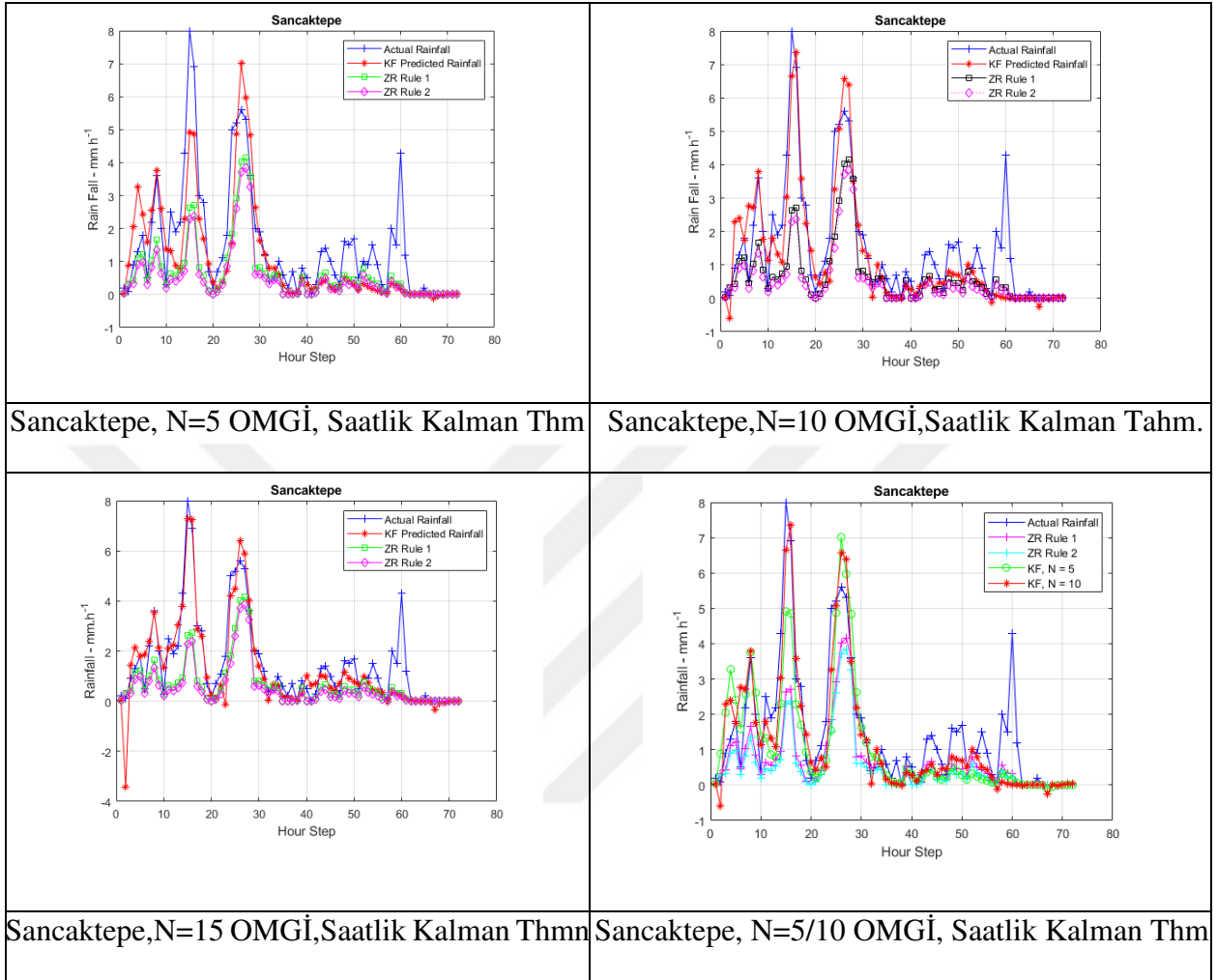
EK 2.2. Kadıköy Karşılaştırma Grafikleri



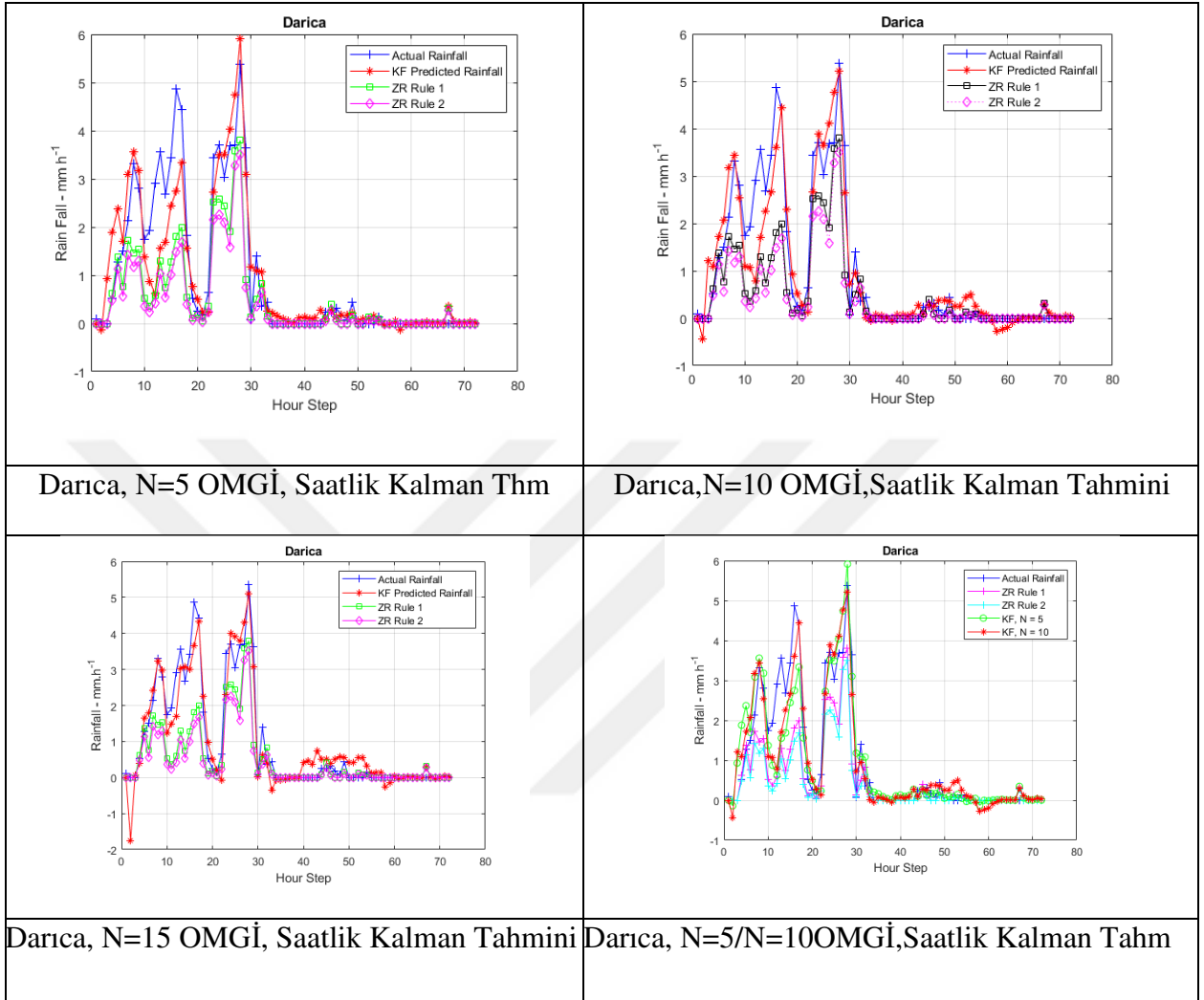
EK 2.3. Ümraniye Karşılaştırma Grafikleri



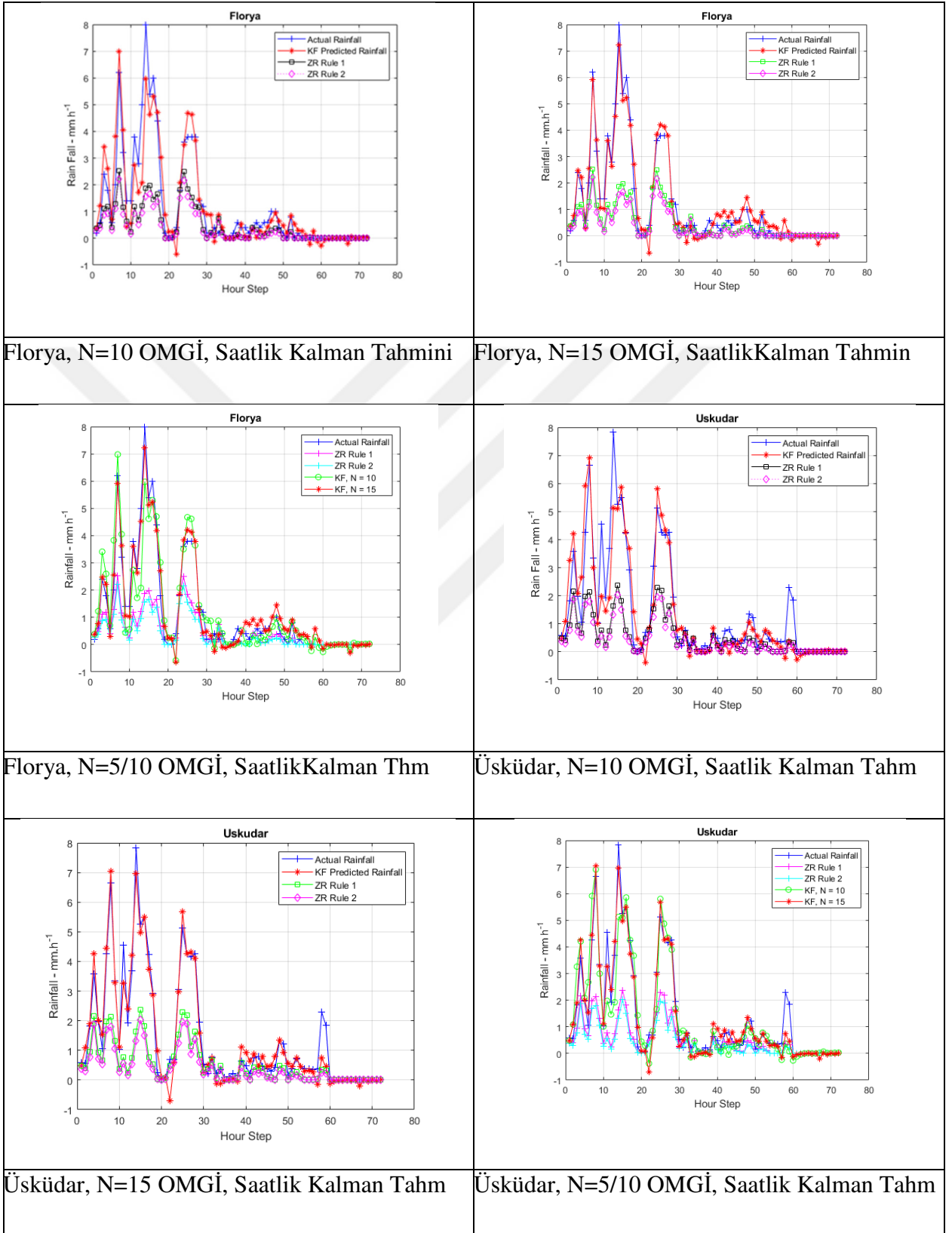
EK 2.4. Sancaktepe Karşılaştırma Grafikleri



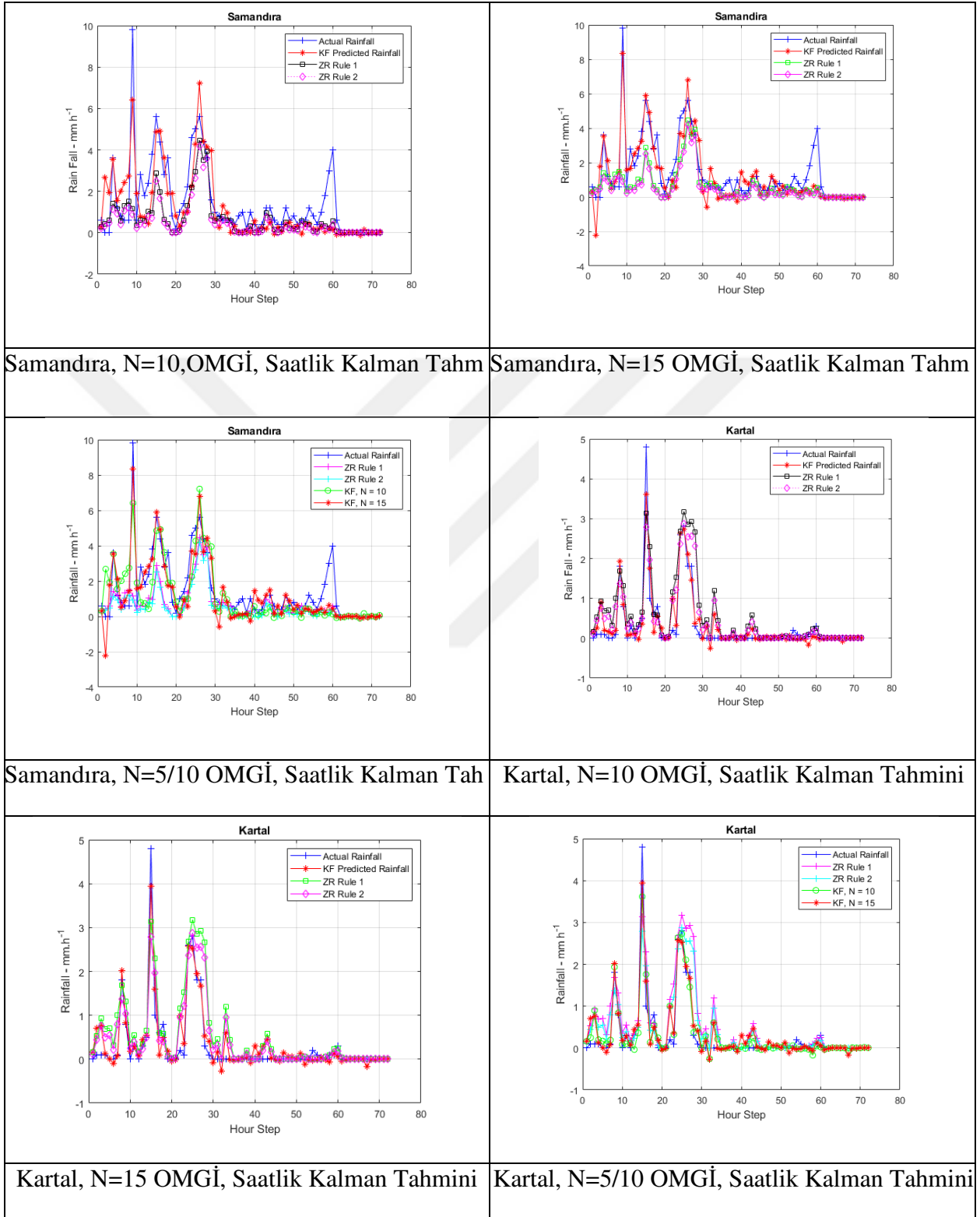
EK 2.5. Darıca Karşılaştırma Grafikleri



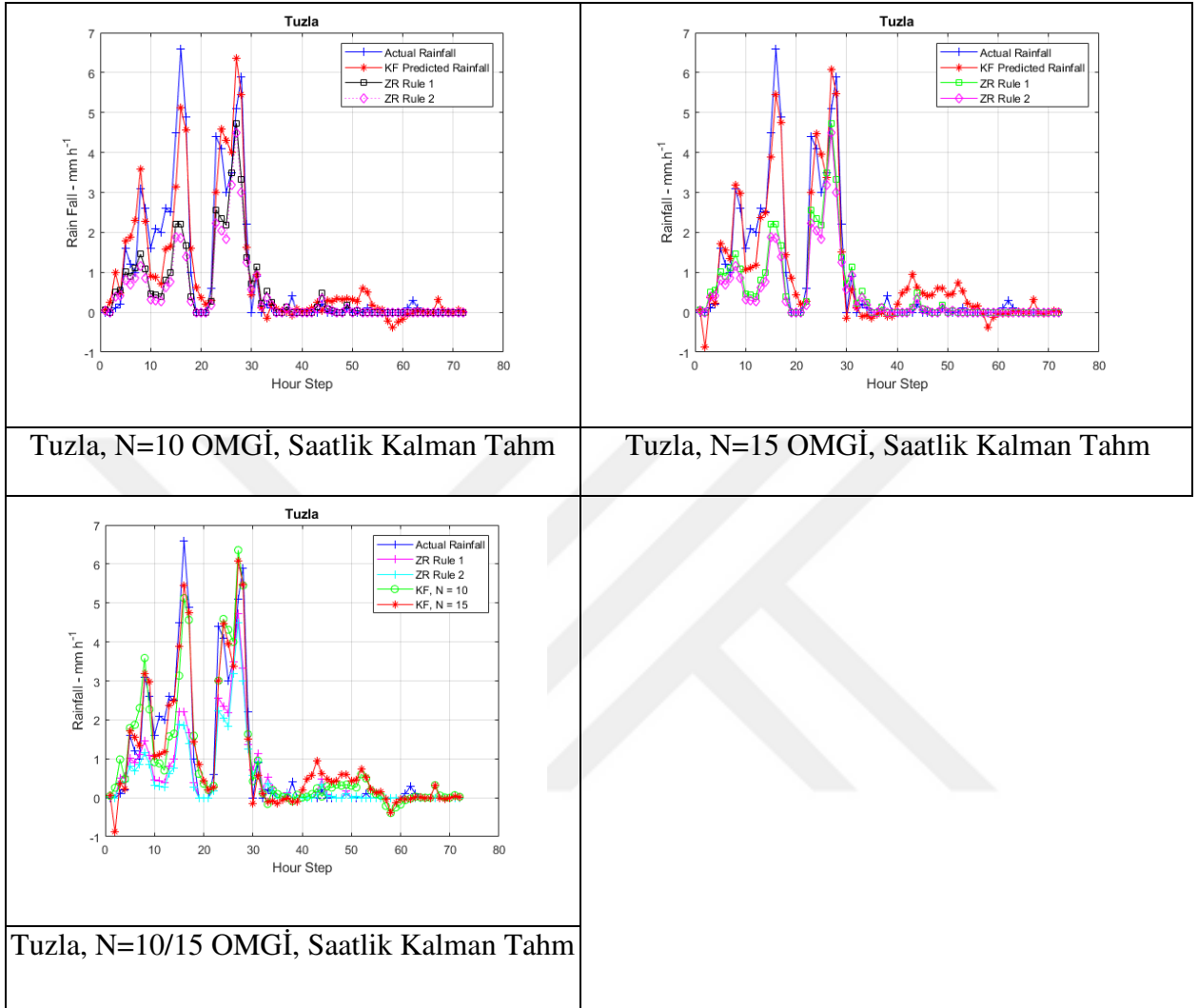
EK 2.6. Florya, Üsküdar Karşılaştırma Grafikleri



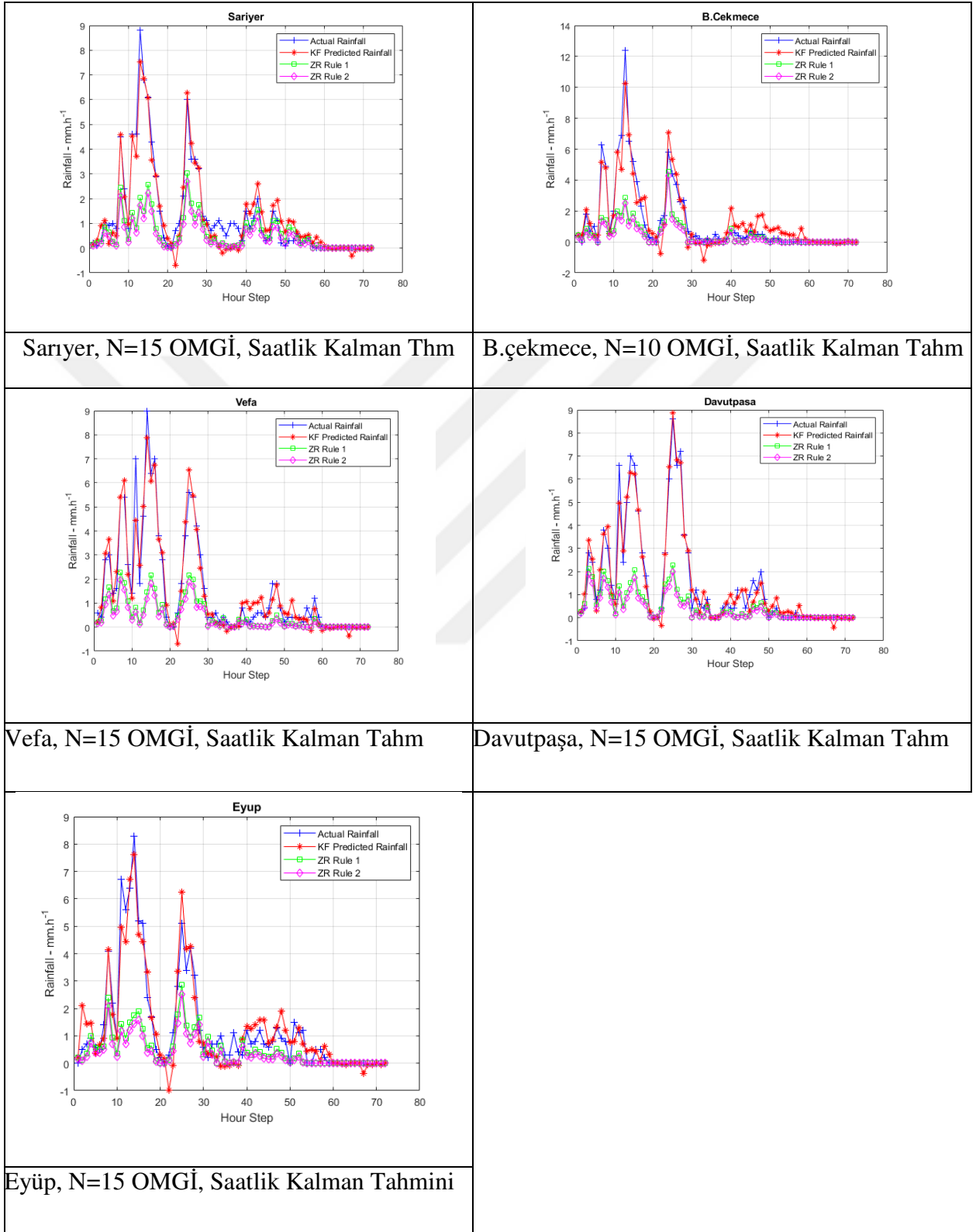
EK 2.7. Samandıra, Kartal Karşılaştırma Grafikleri



EK 2.8. Tuzla Karşılaştırma Grafikleri



EK 2.9. Sarıyer, Büyükçekmece, Vefa, Davutpaşa, Eyüp Karşılaştırma Grafikleri



EK 3. CAPPI ÜRÜN DOSYASI BAŞLIK(HEADER) BİLGİLERİ

'structure_header', 'product_configuration' ve 'data' kısımlarından oluşan CAPPI dosyası başlık ('product_hdr') kısmı Python3.6 programlama dili ve açık kaynak kodlu wradlib kütüphanesi ile okunarak 28 Kasım 2016 tarihine ait örnek CAPPI dosyası başlık içeriği aşağıda çıkarılmıştır.

```
OrderedDict([
  ('product_hdr',
    OrderedDict([
      ('structure_header',
        OrderedDict([
          ('structure_identifier', 27),
          ('format_version', 8),
          ('bytes_in_structure', 6221440),
          ('flag', 0)
        ])
      ),
      ('product_configuration',
        OrderedDict([
          ('structure_header',
            OrderedDict([
              ('structure_identifier', 26),
              ('format_version', 6),
              ('bytes_in_structure', 320),
              ('flag', 0)
            ])
          ),
          ('product_type_code', 3),
          ('scheduling_code', 2),
          ('seconds_between_runs', 0),
          ('generation_time', datetime.datetime(2016,11,28,0,7,35,803000)),
          ('sweep_ingest_time', datetime.datetime(2016,11,28,0,0,57,656000)),
          ('file_ingest_time', datetime.datetime(2016,11,28,0,0,57,656000)),
          ('product_name', 'Z_1TO12_120 '),
          ('task_name', 'MON_YAZ_A '),
          ('flag', 0),
          ('x_scale', 33333),
          ('y_scale', 33333),
          ('z_scale', 99998),
          ('x_size', 720),
          ('y_size', 720),
          ('z_size', 12),
          ('x_location', 360000),
          ('y_location', 360000),
          ('z_location', 0),
```

```

('maximum_range', 0),
('data_type', 2),
('projection_name', 'AE_WGS_120'),
('input_data_type', 2),
('projection_type', 0),
('radial_smoother', 0),
('times_run', -8887),
('zr_constant', 200000),
('zr_exponent', 1600),
('x_smoother', 100),
('y_smoother', 100),
('product_specific_info',
  OrderedDict([
    ('shear_flags', 0),
    ('cappi_height', 100000),
    ('flags', 1),
    ('azimuth_shear_smoothing', 0.0),
    ('vvp_shear_correction_name', ''),
    ('vvp_shear_correction_max_age', 0)
  ])
),
('minor_task_suffixes', 'ABC'),
('color_scale_def',
  OrderedDict([
    ('iflags', 1280),
    ('istart', 0),
    ('istep', 60),
    ('icolcnt', 16),
    ('iset_and_scale', 1),
    ('ilevel_seams',
      array([32968, 33468, 33968, 34568, 34868,
            35068, 35568, 36168, 36468, 36668, 37168,
            37768, 38068, 38268, 38768, 39368], dtype=uint16)
    )
  ])
),
('product_end',
  OrderedDict([
    ('site_name', 'RPG2'),
    ('iris_version_created', '8.12'),
    ('ingest_iris_version', '8.12'),
    ('ingest_time',
      datetime.datetime(2016, 11, 28, 0, 0, 57, 656000)),
    ('GMT_minute_offset_local', -120),
    ('ingest_hardware_name_', 'Istanbul'),
    ('ingest_site_name_', 'Istanbul'),
  ])
)

```

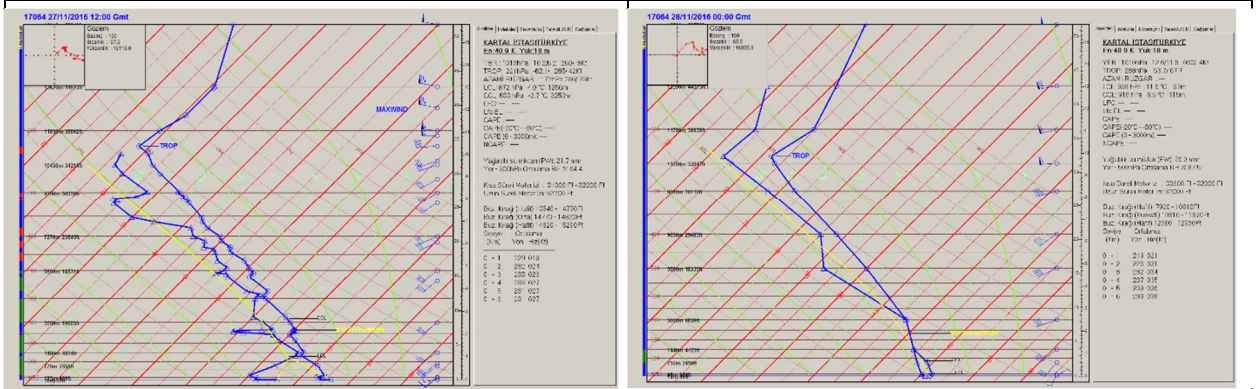
('GMT_minute_offset_standard', 0),
 ('latitude', 41.34115006774664),
 ('longitude', 28.356639929115772),
 ('ground_height', 378),
 ('radar_height', 30),
 ('prf', 1200),
 ('pulse_width', 100),
 ('signal_processor_type', 7),
 ('trigger_rate', 2),
 ('samples_used', 64),
 ('clutter_filter', ''),
 ('number_linear_filter', 4),
 ('wavelength', 533),
 ('truncation_height', 2000000),
 ('first_bin_range', 0),
 ('last_bin_range', 12400000),
 ('number_bins', 993),
 ('flag', 0),
 ('number_ingest', 1),
 ('polarization', 0),
 ('horizontal_calibration_i0', -10549),
 ('horizontal_calibration_noise', -7590),
 ('horizontal_radar_constant', 6334),
 ('receiver_bandwidth', 0),
 ('horizontal_current_noise', -7590),
 ('vertical_current_noise', 0),
 ('ldr_offset', 0),
 ('zdr_offset', 0),
 ('tcf_cal_flags_1', 0),
 ('tcf_cal_flags_2', 0),
 ('standard_parallel_1', 0.0),
 ('standard_parallel_2', 0.0),
 ('earth_radius', 637813700),
 ('inverse_flatting', 298257224),
 ('fault_status', 1),
 ('input_mask', 0),
 ('number_log_filter', 0),
 ('cluttermap', 0),
 ('latitude_projection', 41.34115006774664),
 ('longitude_projection', 28.356639929115772),
 ('product_sequence_number', 0),
 ('melting_level', -31768),
 ('radar_height_above_reference', 408),
 ('number_elements', 0),
 ('mean_wind_speed', 0),
 ('mean_wind_direction', 0.0),
 ('tz_name', 'EET'),
 ('extended_product_header_offset', 0)


```

        )
    )
D
),
('product_type', 'CAPPI'),
('data',
OrderedDict([
(0, array([
[[95.5, 95.5, 95.5, ..., 95.5, 95.5, 95.5],
[95.5, 95.5, 95.5, ..., 95.5, 95.5, 95.5],
[95.5, 95.5, 95.5, ..., 95.5, 95.5, 95.5],
...,
[95.5, 95.5, 95.5, ..., 95.5, 95.5, 95.5],
[95.5, 95.5, 95.5, ..., 95.5, 95.5, 95.5],
[95.5, 95.5, 95.5, ..., 95.5, 95.5, 95.5]]],
...,
[[[95.5, 95.5, 95.5, ..., 95.5, 95.5, 95.5],
[95.5, 95.5, 95.5, ..., 95.5, 95.5, 95.5],
[95.5, 95.5, 95.5, ..., 95.5, 95.5, 95.5],
...,
[95.5, 95.5, 95.5, ..., 95.5, 95.5, 95.5],
[95.5, 95.5, 95.5, ..., 95.5, 95.5, 95.5],
[95.5, 95.5, 95.5, ..., 95.5, 95.5, 95.5]]]
D)
)
D)

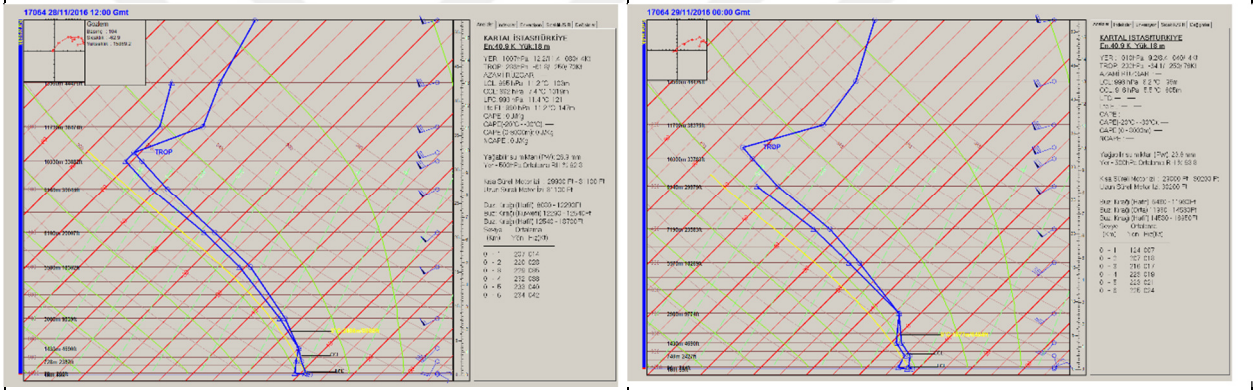
```

EK 4. RAVINSONDE YÜKSEK ATMOSFER GÖZLEMİ TEMP DİYAGRAMLARI



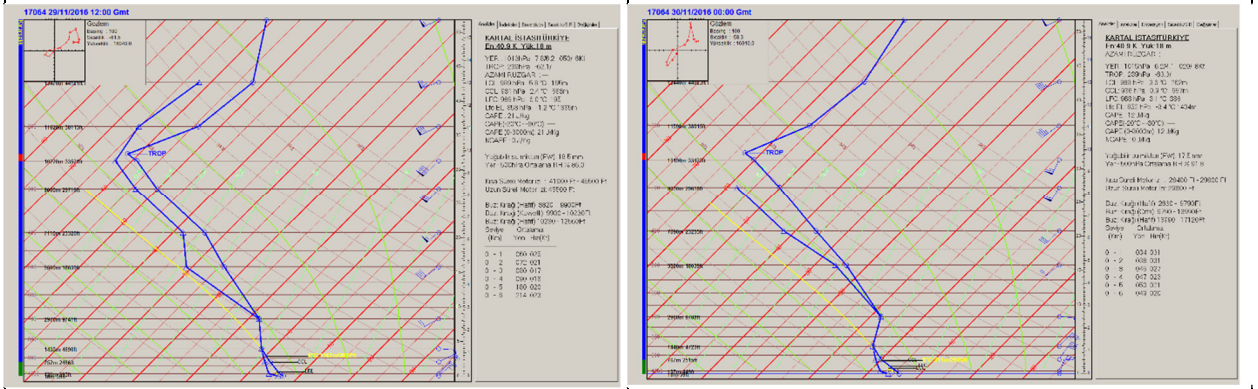
28.11.2016 00:00 GMT

28.11.2016 12:00 GMT



29.11.2016 00:00 GMT

29.11.2016 12:00 GMT

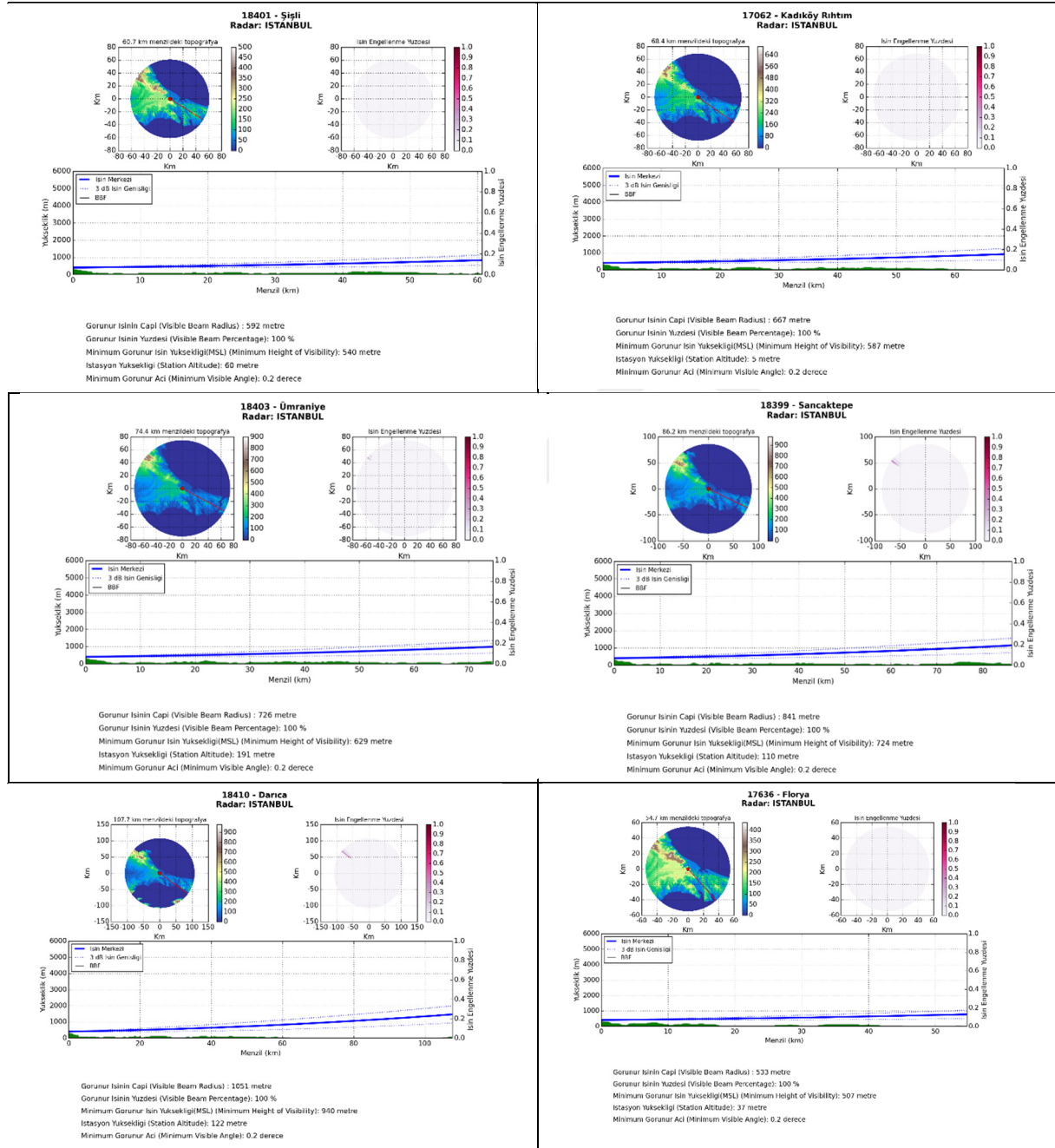


30.11.2016 00:00 GMT

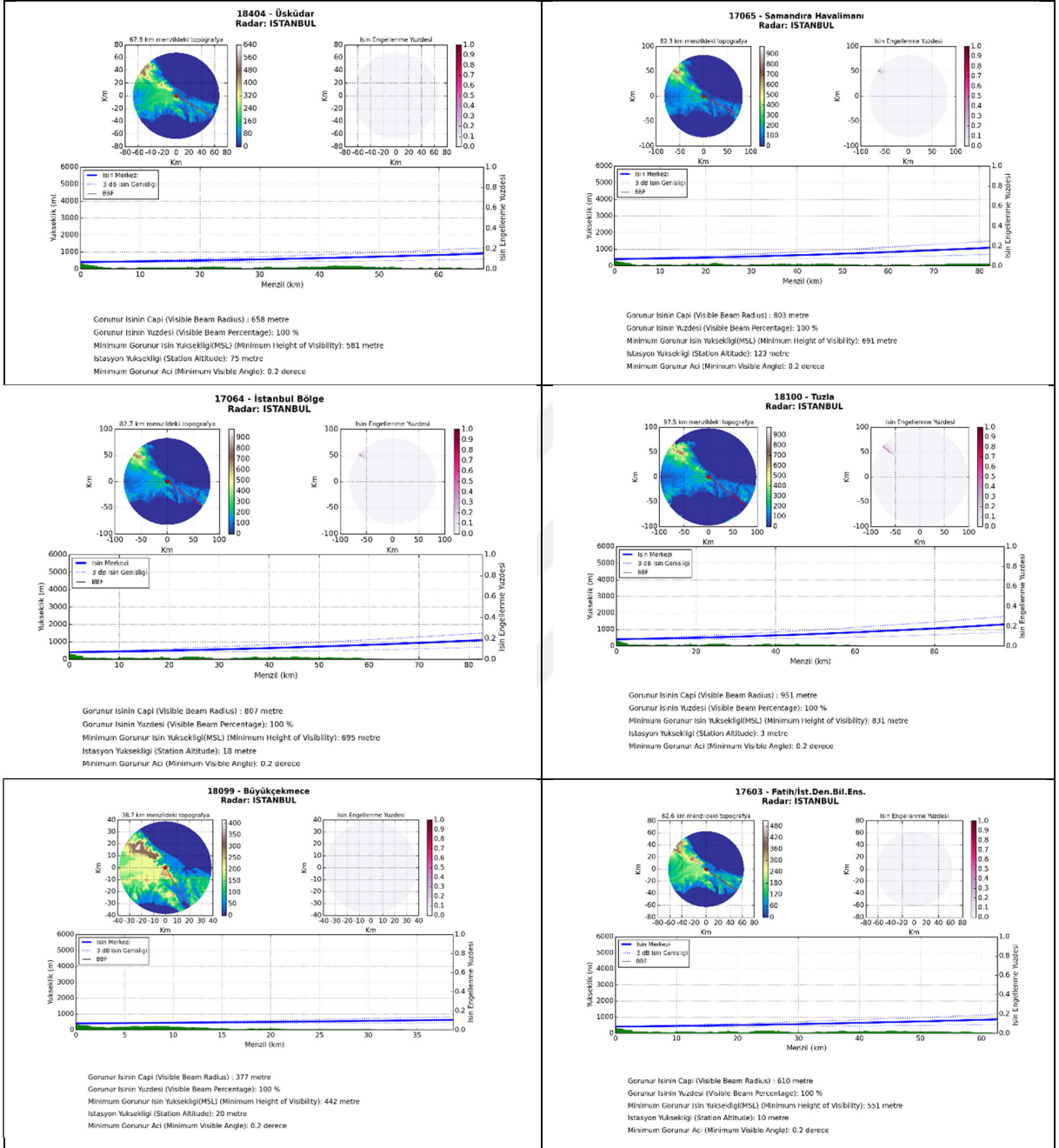
30.11.2016 12:00 GMT

EK 5. İSTANBUL ÇATALCA RADARINA GÖRE KAPSAMA ALANINDAKİ OMGİLER İÇİN KİSİMİ İŞİN ENGELLEME VE GÖRÜNÜRLÜK ANALİZİ DİYAGRAMLARI

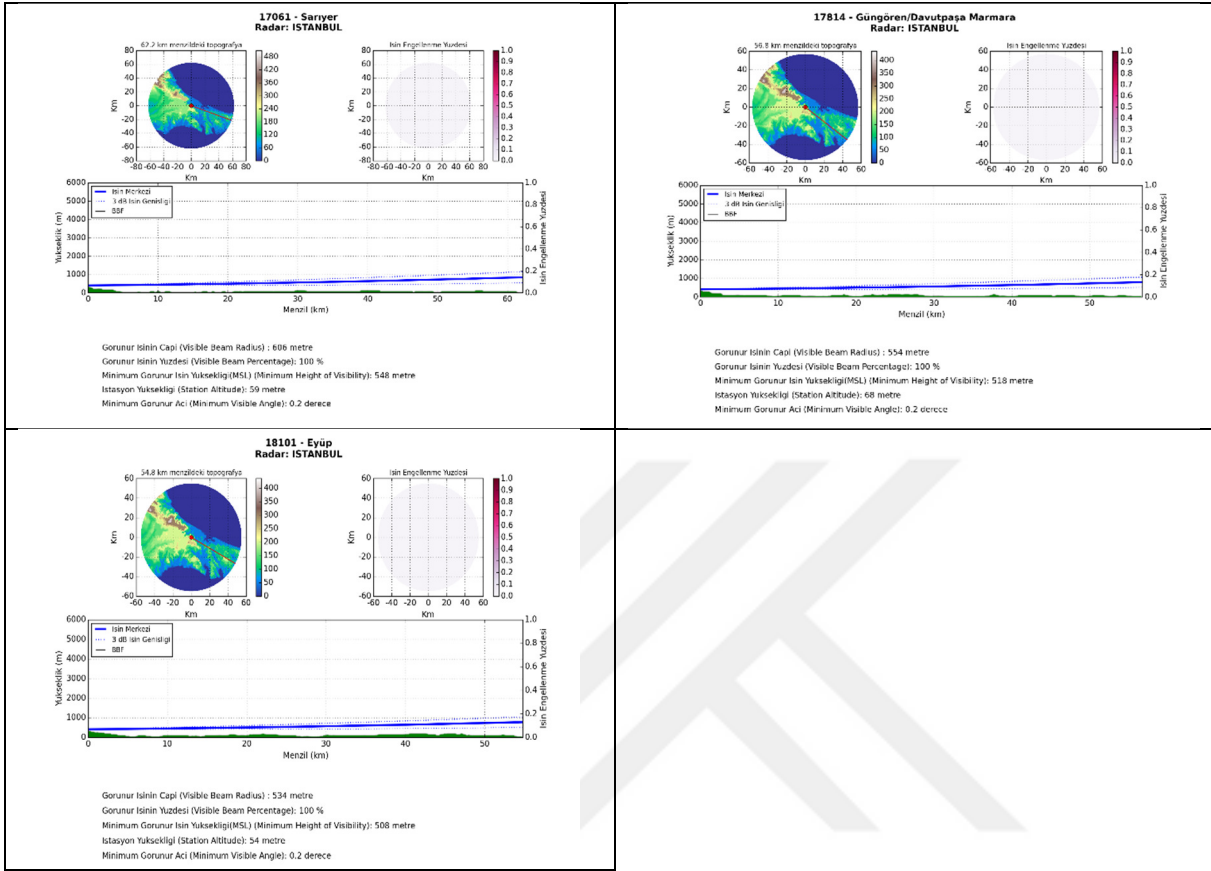
EK 5.1. Şişli, Kadıköy, Ümraniye, Sancaktepe, Darıca, Florya Diyagramları



EK 5.2. Üsküdar,Samandıra,İstanbul Bölge,Tuzla, B.çekmece,Fatih Diyagramları



EK 5.3. Sarıyer, Davutpaşa, Eyüp Diyagramları



EK 6. METEOROLOJİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ İLE YAPILAN YAZIŞMALAR

EK 6.1. Meteoroloji Genel Müdürlüğü Veri Talep Yazısı



T.C.
KOCAELİ VALİLİĞİ
Meteoroloji Müdürlüğü

Sayı : 78859733-103.01-E.5783
Konu : Meteorolojik Veri İsteği

06/07/2018

DAĞITIM YERLERİNE

İlgi:06.07.2018 tarih ve bila sayılı İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'nün yazısı.

İlgi yazıda istenilen, Enstitümüz Mühendislik Bilimleri Anabilim dalı Tezli Yüksek Lisans Programı 2601120556 nolu öğrencisi Ali Kemal BAKIR'ın "Meteoroloji radarı yağış tahmininin yağış ölçer verisi ile kalman filtreleme yaklaşımı kullanılarak iyileştirilmesi" isimli tez çalışmasında ve danışmanları Doç.Dr.Pınar KIRCI ve Yrd.Doç.Dr.Engin MAŞAZADE ile başvuracakları TUBİTAK proje kapsamında 20 Eylül 2016, 28-29 Kasım 2016 ve 17-18 Eylül 2014 tarihlerindeki Çatalca-İstanbul radarına ait CAPPI ürünleri ile aynı tarihlerdeki radar kapsama alanındaki İstanbul, Kocaeli, Tekirdağ, Kırklareli, Balıkesir, Bursa ve Yalova il sınırları içerisinde kalan OMG'lere ait dakikalık yağış verilerine ihtiyaç duyulmuştur. İlgi yazı, yazımız ekinde gönderilmektedir.

Gereğini bilgilerinize arz ederim.

Sefer KAÇMAZ
Meteoroloji Müdürü

Eki:İlgi Yazı (3 Adet)



EK 6.2. Meteoroloji Genel Müdürlüğü İzin Yazısı



T.C.
ORMAN VE SU İŞLERİ BAKANLIĞI
Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanlığı

Sayı : 95579059-103.01-E.27046
Konu : Meteorolojik Bilgi

11/07/2018

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİNE
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü
Bozdoğan Kemerı Cad. No:8
34126 Vezneciler / İSTANBUL

- İlgi :a) İstanbul Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'nün 06.07.2018 tarihli ve 75525046-605-01-190556 sayılı yazısı.
b) Kocaeli Meteoroloji Müdürlüğü'nün 06.07.2018 tarihli ve 2018/78859733/5783 sayılı yazısı

İlgi (a) yazı ile istenilen meteorolojik bilgiler, ekte gönderilmiştir.
Bilgilerinizi rica ederim.

Cemal OKTAR
Genel Müdür a.
Meteorolojik Veri İşlem Dairesi Başkanı

Ek:
1- CD (1 Adet)
2- DVD (1 Adet)

Dağıtım:
Gereği:
İstanbul Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bilgi:
Kocaeli Meteoroloji Müdürlüğüne

Not: Ekler EBYS ortamına aktarılamamıştır.

Bu evrak 5070 sayılı Elektronik İmza Kanunu'na göre elektronik olarak imzalanmıştır. <http://ebys.mgm.gov.tr/dogrulama.aspx> adresi üzerinden WQ82332004T00 kodu ile doğrulama yapabilirsiniz.



Kırmıkçı Alibey Caddesi No: 4
06120 Kalaba/ANKARA
Tel/Faks:0 312 359 75 45/360 25 51
www.mgm.gov.tr

Ayrıntılı Bilgi: A.Sargın - Rasatçı
Tel: 03122032441
E-posta: asargin@mgm.gov.tr

Kep.meteorolojigeneralmdurlugu@hs01.kep.tr - 1/1 -

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı Soyadı Ali Kemal BAKIR
 Doğum Yeri Çaykara
 Doğum Tarihi 02.07.2972
 Uyruğu T.C. Diğer:
 Telefon 05053917502
 E-Posta Adresi akbakir@gmail.com
 Web Adresi



Eğitim Bilgileri

Lisans

Üniversite Yıldız Teknik Üniversitesi
 Fakülte Kocaeli Mühendislik Fakültesi
 Bölümü Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği
 Mezuniyet Yılı Tarih girmek için tıklayın veya dokununuz.

Yüksek Lisans

Üniversite
 Enstitü Adı
 Anabilim Dalı
 Programı

Doktora

Üniversite
 Enstitü Adı
 Anabilim Dalı Anabilim Dalı Adı
 Programı Program Adı

Makale ve Bildiriler

Maşazade, E., Bakır,A.K., Kırıcı,P.,2018, *A Kalman Filter Application for Rainfall Estimation using Radar Reflectivity Measurements*, TURKISH JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING & COMPUTER SCIENCES Turk J Elec Eng & Comp Sci E-ISSN: 1303-6203 ISSN: 1300-0632 DOI: 10.3906/elk-1807-345

Bakır, A.K., Maşazade, E., Kırıcı, P., 2018, *Rainfall Estimation By Using Kalman Filter*, 1st International Symposium on Graduate Research in Science Focus on Entrepreneurship and Innovation (ISGRS 2018) October 4-6, 2018, İstanbul