

ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

TÜRKİYE’DE METEOROLOJİK RADAR YAĞIŞ ÖLÇÜMLERİ
VE MM5 SAYISAL MODEL TAHMİNLERİNİN
FARKLI İSTATİSTİKSEL AYAR TEKNİKLERİ
KULLANILARAK İYİLEŞTİRİLMESİ

Kurtuluş ÖZTÜRK

FİZİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA
2006

Her hakkı saklıdır

İÇİNDEKİLER

ÖZET	i
ABSTRACT	ii
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR	iii
SİMGELER DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ	viii
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1 Meteorolojik Radar	3
2.2 Radar Denklemi.....	4
2.3 Radar Reflektivite Faktörü (Z).....	6
2.4 Radar Menzili.....	9
2.5 Radar ölçü sapmaları.....	9
2.6 Orografi.....	10
2.7 Radar yağış ürünleri.....	11
2.7.1 SRI.....	12
2.7.2 RAINN	13
2.8 Meteorolojik Yağış Ölçüm Sistemleri.....	14
2.8.1 Yağış Ölçer (Rain Gauge).....	14
2.8.2 Otomatik İstasyon (AWOS).....	14
2.9 Sayısal Hava Tahmini	14
2.9.1 Sayısal Hava Tahmin Modelleri.....	15
2.9.1.1 Global Modeller.....	15
2.9.1.2 Sınırlı Alan Modelleri.....	15
2.9.1.2.1 MM5 Modeli	15
2.9.2 Model hataları.....	16
2.9.2.1 Sistemik olmayan hatalar	16
2.9.2.2 Sistemik hatalar.....	16
3. MATERYAL VE YÖNTEM.....	17
3.1 İstatistiksel Yöntemler.....	17

3.1.1 Regresyon.....	17
3.1.1.1 Ağırlıklı Regresyon	20
3.1.1.2 Çoklu Regresyon	21
3.1.2 Ortalama Hata Düzeltmesi.....	23
3.1.3 Kalman Filtresi.....	23
3.2 Yağış Ölçer Ayarlaması (Gage Adjustment)	23
3.2.1 Ağırlıklı Çoklu Regresyon Yöntemi ile Yağış Ölçer Ayarlaması.....	23
3.2.1.1 HV _{min} değerlerinin bulunması.....	26
3.2.1.2 Radar-AWOS arasında 100 metre aralıklı bölmelerin koordinatlarının bulunması.....	31
3.2.1.3 Sayısal haritadaki enlem ve boylam bilgilerinin kartezyen koordinatlara dönüştürülmesi ve birbirlerine en yakın piksellerin bulunması.....	35
3.2.1.4 Radar verilerinin elde edilmesi.....	36
3.3 SCR Ürünü.....	36
3.4 MM5 Tahminlerinin KA9 Yazılımı ile İyileştirilmesi.....	39
4. ARAŞTIRMA BULGULARI.....	46
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	64
KAYNAKLAR	69
EKLER	71
EK 1 : Balıkesir radarının 150 km’lik kaplama alanı içerisinde kalan 33 AWOS istasyonu için minimum yükseklik açıları	72
EK 2 : Balıkesir radarının 150 km’lik kaplama alanı içerisinde kalan 33 AWOS istasyonu için farklı birçok açıda ulaşılacak HV _{min} yükseklikleri.....	73
EK 3 : İstasyonlar için elde edilen piksel koordinatları.....	76
EK 4 : İstasyonlar ve komşuluklarındaki 8 piksel ile bunların ortalamalarının yağış bilgileri.....	77
ÖZGEÇMİŞ	82

ÖZET
Doktora Tezi

TÜRKİYE’DE METEOROLOJİK RADAR YAĞIŞ ÖLÇÜMLERİ
VE MM5 SAYISAL MODEL TAHMİNLERİNİN
FARKLI İSTATİSTİKSEL AYAR TEKNİKLERİ
KULLANILARAK İYİLEŞTİRİLMESİ

Kurtuluş ÖZTÜRK

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman : Prof. Dr. Ali Ulvi YILMAZER

Bu tez çalışmasında, sosyal ve endüstriyel hayat için çok önemli olan bazı meteorolojik tahmin ve ölçümler istatistiksel bir çalışmayla iyileştirilmeye çalışılmıştır. Bu amaçla meteorolojik sayısal tahmin modeli MM5 tahminleri ve Balıkesir meteoroloji radarı yağış ölçümleri iyileştirilmeye çalışılacak parametreler olarak seçilmiştir.

Meteorolojik sayısal tahmin modeli MM5’in 89 il ve ilçe merkezi için yaptığı 48 saatlik sıcaklık, rüzgar yön ve hızı (vektörel), rüzgar hızı (skaler), deniz seviyesine indirgenmiş basınç ve nem tahminlerine istatistiksel iyileştirme yapmak amacıyla LSF ve RMBC olmak üzere iki farklı yöntem ile çalışan, grafiksel karşılaştırma ve verifikasyon fonksiyonlarına da sahip olan KA9 isimli bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılım ile elde edilen değerler incelendiğinde bir çok istasyon için tahminlere iyileştirme yapılabildiği, ancak bazı istasyonlar için modelin iyileştirmeye ihtiyaç duymadığı, bazı istasyonlar için ise Kalman yönteminin daha iyi sonuçlar verdiği tespit edilmiştir. Bu nedenle program sonuçlarının operasyonel olarak kullanılabilmesi amacıyla, herhangi bir istasyona yapılacak iyileştirme için hangi yöntemin daha isabetli olacağının saptanmasına gerek vardır. Bu çalışmada sözkonusu sorunun çözülmesi için önerilerde bulunulmuştur.

C band ve Doppler tip bir radar olan Balıkesir meteoroloji radarının toplam yağış ölçümlerinin iyileştirilmesi amacıyla, radarın 120 km’lik kaplama alanı içerisinde kalan 20 otomatik istasyondan (AWOS) faal olan 16 istasyonun verisi kullanılmıştır. Bunun için AWOS’un bulunduğu koordinatlar için radardan elde edilen toplam yağış miktarı (R) ve AWOS’lardan alınan toplam yağış miktarı (G) değerlerinin oranını ifade eden AF (değerlendirme faktörü) bulunmuştur. Ağırlıklı çoklu regresyon tekniği, radarın kaplama alanında kalan tüm otomatik istasyon noktaları için bulunan AF değerlerine uygulanarak regresyon katsayıları bulunmuş ve bu katsayılar kullanılarak logaritmik bir ifade olan ve AWOS ile radar arasındaki mesafe (D), otomatik istasyonun topografik yüksekliği (HG) ve otomatik istasyonun üzerinde bulunan bir noktadaki meteorolojik hedefin görülebileceği minimum yükseklik değeri (HV_{min}) olmak üzere üç bağımsız değişkene sahip tahmini AF fonksiyonu elde edilmiştir. AWOS’lar dışındaki noktalar için yaklaşık HV_{min} değerleri belirlenerek, 720x720 piksel çözünürlüklü bir radar görüntüsündeki tüm pikselleri iyileştirmek amacıyla, mevcut radar yazılımı üzerinde operasyonel olarak çalışan bir radar ürünü (SCR) geliştirilmiştir. Çalışma için seçilen 48 saatlik periyotta otomatik istasyonlar tarafından ölçülen toplam yağış 803,8 mm (ortalama 50,24 mm), aynı noktalar için radardan ölçülen yağış 314,0 mm (ortalama 19,63 mm) ve aralarındaki ortalama hata -30,61 mm (mutlak ortalama hata:30,61 mm) iken bu tez çalışmasında gerçekleştirilen regresyon analizi ile mutlak ortalama hata 16,46 mm’ye ve RMSE değeri ise 36,04 mm’den 18,78 mm’ye düşürülmüştür.

2006, 82 sayfa

Anahtar Kelimeler: MM5 modeli, AWOS, Meteoroloji Radarı, Z-R bağıntısı, çoklu regresyon, değerlendirme faktörü AF, KA9

ABSTRACT
Ph.D. Thesis

IMPROVEMENT OF ACCURACY OF METEOROLOGICAL RADAR RAINFALL ESTIMATES
AND MM5 NUMERICAL MODEL FORECASTS IN TÜRKİYE
USING DIFFERENT ADJUSTMENT TECHNIQUES

Kurtuluş ÖZTÜRK

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Physics Engineering

Supervisor : Prof. Dr. Ali Ulvi YILMAZER

In this thesis, some of the meteorological forecasts and observations which are very important for social and industrial life are tried to be improved. For this aim, the outputs of meteorological numerical prediction model MM5 and Balıkesir meteorological weather radar rainfall products are selected as parameters to be improved.

To increase the accuracy of measurements of the temperature, wind direction and speed (vectoral), wind speed (scalar), pressure at mean sea level and humidity forecasts of meteorological numerical prediction model MM5 for next 48 hours at 89 city and town, a new software called KA9 is developed using two different techniques LSF and RMBC, having graphical comparison and verification tools.. Analyzing KA9 outputs, forecasts for most of the stations are improved, for some stations Kalman filtering method is found to be better, for some stations MM5 forecasts do not need to be improved. To use KA9 operationally, it is necessary to determine which method will be used for which station. In this work, some suggestions are given to solve this problem.

To improve the accuracy of rainfall measurements of Balıkesir weather radar, a statistical study is performed by using 16 rain gages which are active among 20 rain gages within the circular area with a radius of 120 km and the center being at the radar site. First, the assessment factor AF which is the ratio of the overall total rainfall amount R estimated by radar, to the overall total rainfall amount G measured by rain gages are obtained for the coordinates at each rain gages on the radar image. The regression coefficients are found from AF regression equation having three variables which are chosen to be the distance between radar and rain gage (D), the topographical height of rain gage (HG) and the minimum height above the rain gage that the target is visible from radar (HV_{min}), by means of multiple regression techniques. To improve the radar rainfall in all 720×720 pixels in radar image, approximate HV_{min} values are equally well taken to designate every points for some grouping of areas using DEM and minimum elevation angles of AWOS pixels. Finally, a new radar product (SCR), which can be run operationally on radar software, is developed. Within the 48 hour period of rainfall, rain gages measured 803,8 mm totally (50,24 mm average), while radar estimated 314,0 mm totally (19,63 mm average). The mean error between them is -30,61 mm (absolute mean error is 30,61 mm.). With this analysis, absolute mean error is reduced to 16,46 mm and RMSE is reduced from 36,04 mm to 18,78 mm.

2006, 82 pages

Key Words: MM5 Model, AWOS, Meteorological Radar, Z-R relationships, Multiple regression, Assessment factor AF, KA9.

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının hazırlanması için geçen süre boyunca, başta engin bilgisini benimle bir arkadaş yakınlığında paylaşan, örnek insan, değerli danışman hocam Sayın Prof. Dr. Ali Ulvi YILMAZER olmak üzere, Tez İzleme Komitesi üyeleri Sayın Prof. Dr. Ahmet T. BAŞOKUR ve Sayın Doç.Dr. Mehmet KABAK'a, tez çalışması boyunca değerli bilgilerini esirgemeyen Sayın Dr. Marco GABELLA ve Prof.Dr.Ronald RINEHART'a, sevgili eşim Deniz ÖZTÜRK'e, Ankara Üniversitesi Fizik Mühendisliği Bölümü'nden Dr. Deniz YILMAZ'a, Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden Ahmet Hamdi SEMİZ, Alper GÜSER, Alper AKÇAKAYA, Aydın BEKTAŞ, Aytekin BÜYÜKBAŞ, Fırat BEŞTEPE, Dr. İbrahim SÖNMEZ, İlker ALAN, Meral ÇUKURÇAYIR, Mustafa SERT ve Tayfun DALKILIÇ'a, desteklerini ve anlayışlarını hiçbir zaman eksik etmeyen değerli amirlerim ve çalışma arkadaşlarıma, sevgili anneme ve akrabalarımın teşekkür ederim.

Kurtuluş ÖZTÜRK

Ankara, Nisan 2006

SİMGELER DİZİNİ

G	Anten kazancı
w_i	Ağırlık Faktörü
$I(\theta, \varepsilon)$	Dalga şiddeti
λ	Dalgaboyu
AF	Değerlendirme Faktörü
dB	Desibel
Z_{DR}	Diferansiyel reflektivite
R	Dünyanın yarıçapı
D	Hidrometeor çapı
D	Radar-AWOS arası uzaklık
c	Işık hızı
θ_1	Işın genliği
R_t	İyileştirilmiş tahmini radar yağışı
IQR	Kuartiller arası uzaklık
PRF	Puls tekrarlama frekansı
R_{max}	Radar maksimum menzili
r	Radar menzili
C	Radar sabiti
$\bar{P}_r$	Radar tarafından geri alınan ortalama güç
P_t	Radar tarafından yayılan güç
Z	Reflektivite
e_i	Rezidü
σ^2	Standart Sapma
m	Suyun kompleks kırılma indisi
L	Toplam anten kaybı
σ	Varyans
R	Yağış oranı
HV_{min}	Yağış ölçerin üzerindeki bir hedefin radardan görülebileceği minimum yükseklik
HG	Yağış ölçerin yüksekliği
$E(p)$	Yanılgı Enerjisi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1	Orografya durumunun şematik gösterimi	11
Şekil 2.2	Orografya durumunda dağın iki yakasındaki sıcaklık değişimi.....	11
Şekil 2.3	Reflektivite-Yükselik grafiği ve parlak bant.....	12
Şekil 2.4	25.11.2005 tarihi saat 10:00'a ait RAIN1 ürün görüntüsü.....	13
Şekil 3.1	Radar Menzil-Yükseklik Diyagramı.....	29
Şekil 3.2	Radar-AWOS arasında topografik bir engel olması durumunda AWOS üzerindeki bir bulutun radardan görülebileceği minimum yükseklik (HV_{min}) ve minimum yükseklik açısı.....	29
Şekil 3.3	Türkiye Radar Şebekesi.....	29
Şekil 3.4	Balıkesir Radarı'nın 150 km.lik kaplama alanı içerisinde bulunan AWOS'ların konumları.....	30
Şekil 3.5	Balıkesir Radarı'nı merkez kabul eden 240x240 km ² 'lik alanın içerisinde bulunan bazı bölgeler için belirlenen alanların yaklaşık minimum yükseklik açıları.....	30
Şekil 3.6	Balıkesir Radarı'nı merkez kabul eden 240x240 km ² 'lik alanın içerisinde bulunan tüm pikseller için HV_{min} dağılımı.....	31
Şekil 3.7	Dünyanın merkezine göre Radar ve AWOS konumu.....	31
Şekil 3.8	24.11.2005 tarihinden itibaren 48 saatlik toplam yağış ürünü RAIN48.....	37
Şekil 3.9	24.11.2005 tarihinden itibaren 48 saatlik toplam yağışı veren RAIN48 ürününün iyileştirilmiş hali SCR ürünü.....	38
Şekil 3.10	Topografik harita ile SCR ürününün görsel karşılaştırılması.....	38
Şekil 3.11	KA9 LSF Arayüzü	41
Şekil 3.12	KA9 RMBC Arayüzü.....	41
Şekil 3.13	KA9 Grafik Arayüzü.....	42
Şekil 3.14	KA9 Verifikasyon Arayüzü.....	43
Şekil 4.1	Radar-AWOS arasındaki topografyanın durumu.....	46
Şekil 4.2	25-30 Temmuz 2004 tarihleri arasında Ankara'da gerçekleşen sıcaklıklar ile MM5 ve KA9 (WLSF), KA9 (RMBC) tahminlerinin grafiksel karşılaştırılması.....	63

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 2.1.	Radar yazılımları tarafından işlenen reflektivite değerlerine karşı gelen yağış tipleri ve diğer yankı (eko) kaynakları.....	8
Çizelge 2.2.	Reflektivite faktörü Z ve yağış oranı R arasındaki tipik deneysel ilişki	8
Çizelge 3.1.	Otomatik mod seçildiğinde tarihsel veri seti için gün sayısı.....	39
Çizelge 3.2	Tüm yöntemlerin günlük RMSE değerlerinin ve aylık ortalama RMSE değerlerinin tutulduğu dosya.....	44
Çizelge 3.3	Aylık ortalama RMSE değerlerine göre belirlenmiş istasyonların iyileştirme yöntemleri ve T+48 tahminleri.....	45
Çizelge 4.1	Balıkesir Radarı'nın 150 km.lik kaplama alanı içerisinde bulunan AWOS'lara (otomatik istasyon) ait koordinat (enlem, boylam ve X, Y, Z olarak) bilgileri	52
Çizelge 4.2	Balıkesir Radarı'nın 150 km.lik kaplama alanı içerisinde bulunan AWOS'lara (33 adet otomatik istasyon) ait radar yükseklik açısı, HV_{min} , topografik yükseklik HG, radara olan uzaklık D ve log D değerleri.....	53
Çizelge 4.3	Balıkesir Radarı'nın 120 km.lik kaplama alanı içerisinde bulunan AWOS'lara (otomatik istasyon) ait, radara olan uzaklık D ve log D, HV_{min} , topografik yükseklik HG, toplam radar yağışı R, toplam AWOS yağışı ve değerlendirme faktörü AF değerlerine ait istatistiksel bilgiler.....	54
Çizelge 4.4	Balıkesir Radarı'nın 120 km.lik kaplama alanı içerisinde bulunan tüm radar piksellerine ait, radara olan uzaklık D ve log D, HV_{min} , topografik yükseklik HG ve değerlendirme faktörü AF değerlerine ait istatistiksel bilgiler.....	54
Çizelge 4.5	R, W=1, W=G ve W=R ağırlık faktörlerine göre belirlenmiş tahmini iyileştirilmiş radar yağışları ile gerçekleşen yağışlar G değerleri karşılaştırılarak bulunan istatistiksel parametreler.....	55

Çizelge 4.6	W=1, W=G ve W=R ağırlık faktörlerine göre belirlenmiş regresyon katsayıları.....	55
Çizelge 4.7	Ankara, Kasım 2004, sıcaklık parametresi için ilk 24 saat MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC ve Kalman iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE değerleri.....	57
Çizelge 4.8	Ankara, Kasım 2004, sıcaklık parametresi için ikinci 24 saat MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC ve Kalman iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE değerleri.....	58
Çizelge 4.9	Ankara, Kasım 2004, sıcaklık parametresi için toplam 48 saat MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC ve Kalman iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE değerleri.....	59
Çizelge 4.10	Erzurum, Nisan 2005, sıcaklık parametresi için toplam 48 saat MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC ve Kalman iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE değerleri.....	60
Çizelge 4.11	Artvin, Nisan 2005, nem parametresi için toplam 48 saat MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE değerleri.....	61
Çizelge 4.12	İstanbul/Atatürk Meydan, Şubat 2005, nem parametresi için toplam 48 saat MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE değerleri.....	62

1. GİRİŞ

Meteoroloji biliminin, sosyal ve endüstriyel yaşam üzerindeki etkisi büyüktür. Tarım, çevre, şehircilik, ulaşım, lojistik, hidroloji, afet kontrol ve enerji gibi birçok sektörle doğrudan ilişkisi olan meteorolojik ölçüm ve öngörülerin tutarlı olması hayati önem taşır.

1950’li yıllardan itibaren meteoroloji alanında kullanılmaya başlanan ve 1970’lerden itibaren Doppler teknolojisine geçilmesiyle meteorolojik yağış sisteminin yeri, yönü ve hızı hakkında detaylı ve kısa vadeli tahmin bilgisi veren meteorolojik radarlar, şiddetli hava hadiselerinin belirlenmesinde kullanılan önemli cihazlardan biridir. Bununla birlikte radarlardan alınan yağış değerleri, hatalı yansıma değerleri (clutter), elektronik kalibrasyon, atenüasyon (soğurma), ana ve yan loblar (kulakçıklar), ışın geometrisi, topografyadan kaynaklanan orografik etki, düşey reflektivite profilindeki değişkenlik ve anormal yayılma gibi nedenlerden ötürü yanlış olabilmektedir.

Radar ölçümlerinin iyileştirilmesi için radar ölçümleri ve gerçekleşen değerler arasında istatistiksel ilişkiler kurmak, şu an tüm dünyanın üzerinde çalıştığı bir sorundur. Bu çalışmada radarın ölçümlerine etki eden zamandan bağımsız parametreleri içeren bir regresyon denklemi geliştirilerek, ışın geometrisi ve orografik nedenlerden kaynaklanan ölçüm sapmaları, bu denklem vasıtasıyla iyileştirmeye çalışılmıştır. İyileştirilecek ölçümler için Balıkesir radarının yağış ölçümleri ve bu radarın 120 km.lik maksimum menzili içinde kalan ve seçilen tarihlerde aktif olarak çalışan 16 AWOS’un (otomatik istasyon) gözlem değerleri kullanılmıştır.

Sayısal hava tahmin modelleri ise, sıcaklık, basınç, nem, rüzgar yön ve hızı ile daha birçok meteorolojik parametre için ileriye yönelik tahmin üretmektedir. Bu modeller de fiziksel parametrisleme problemleri, yatay çözünürlüğünün az olması veya topografya verisinin gerçek topografyayı tam olarak temsil edememesinden kaynaklanan ve süreklilik gösteren nedenlerden ötürü hatalı tahminler yapabilmektedir.

Yukarıda anlatılan sayısal model hatalarının azaltılması ve tahminlerin iyileştirilmesi için modelin kendisine müdahale edilmesi, model parametrisasyonu yapılması veya gerçekleşen değerlerle tahminler arasında yapılacak istatistiksel çalışmalarla tahminlerin iyileştirilmesi gerekmektedir. Bu tez çalışmasında iyileştirilecek model tahminleri için NCAR (National Center for Atmospheric Research, USA) tarafından geliştirilen ve Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nde (DMI) operasyonel olarak kullanılan MM5 sayısal modelinin tahminleri ve DMI'nin işlettiği AWOS'lardan 89 tanesinin gözlem değerleri kullanılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, meteorolojik radar, radar denklemi ve radarın çalışma prensibi, hata kaynakları, bazı radar ürünleri, sayısal modeller, MM5 modeli ve model hataları hakkında temel bilgiler verilmiştir.

Üçüncü bölümde, bu çalışmada yer alan istatistiksel yöntemler anlatılmış ve regresyon analizinde kullanılacak parametrelerin bulunması amacıyla geliştirilen yöntem ve algoritmalar açıklanmıştır. Ayrıca radar ölçümlerinin iyileştirilmesi ve mevcut radar yazılımı üzerinde operasyonel olarak çalışması için geliştirilen SCR ürünü ile MM5 tahminlerinin iyileştirilmesi amacıyla geliştirilen KA9 yazılımı anlatılmıştır.

Dördüncü bölümde, radar ölçümleri ve MM5 tahminlerine yapılan iyileştirme analizlerinin sonuçları, karşılaştırmalar ve istatistiksel değerler çizelge ve grafiklerle sunulmuştur.

Son bölümde sonuç ve tartışmalara yer verilmiştir.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Meteorolojik Radar

Aktif uzaktan algılama sistemi olan meteorolojik radarlar, atmosfere yaydıkları elektromagnetik dalgaların yağmur, bulut zerrecikleri, kar tanesi, böcekler, yoğunlaşma çekirdekleri, kuşlar ve atmosferde bulunan diğer parçacıklardan geri yansımalarını alırlar. Alınan gücün işlenmesiyle, radarın kaplama alanı içerisindeki hidrometeorun şiddeti, türü, yağış sisteminin üç boyutlu konumu ve yönü tespit edilir (Doviak and Zrnic 1984).

Radarlar meteorolojide ilk kez 1950’li yıllarda kullanılmaya başlanmıştır. 1970’li yıllardan itibaren Doppler teknolojisi ile radarlardan sayısal formda bilgiler alınmaya başlanmıştır. Radarların meteoroloji alanında kullanılmasıyla özellikle şiddetli yağışlar, dolu, tornado, taşkın ve selleri önceden belirleyebilmek mümkün olmuştur.

Radarlar meteorolojide kısa vadeli tahmin (nowcasting) ve erken uyarı sistemi olmak üzere iki çeşit kullanım alanı bulunmaktadır. Kısa vadeli tahmin topluma yönelik 0-4 saatlik hava tahminidir. Erken uyarı sistemi ise, kamuda doğal felaketlere neden olabilecek şiddetli hava olaylarının yerinin ve şiddetinin saptanmasıdır. Bu olaylar ana hatlarıyla aşağıdaki gibi verilebilir:

- Şiddetli yağışlar ve sonucunda oluşan seller ve taşkınlar
- Mikro patlama-Makro patlama (Microburst-Macrobust)
- Rüzgar Değişimi (Wind Shear), Türbülans
- Kuvvetli fırtınalar, Hortum
- Hamle Cephesi (Gust Front)

Radarlardan elde edilen parametreler ise şunlardır:

- Z (reflektivite faktörü)
- W (spektral genişlik)
- V (hız)
- ZDR (diferansiyel reflektivite)

2.2 Radar Denklemi

Meteorolojik hedefler için, her bir hedeften ayrı ayrı alınan geri saçılmaların toplamı geri alınan ortalama gücü verir :

$$\overline{P_r} = \frac{P_t G^2 \lambda^2}{(4\pi^3 r^4)} \sum_{i=1}^n \sigma_i \quad (2.1)$$

Burada P_t yayılan güç, G anten kazancı, λ dalga boyu, σ geri saçılma tesir kesiti ve r hedefle anten arasındaki mesafedir. Probert ve Jones (1962) bu formülü ışın şeklini de göz önüne alarak aşağıdaki gibi geliştirmişlerdir:

$$\overline{P_r} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \theta \phi h L}{1024 \ln(2) \pi^2 r^2} \frac{1}{\Delta v} \sum_{vol} \sigma_i \quad (2.2)$$

Bu formüldeki L atmosferik gazlar, yağış ve radomdan (radar antenini çevreleyen küresel muhafaza) kaynaklanan atenüasyonları da içeren toplam kayıptır. Öte yandan geri saçılma tesir kesiti Rayleigh teorisine göre,

$$\sigma = \frac{\pi^5}{\lambda^4} \left| \frac{m^2 - 1}{m^2 + 2} \right|^2 D^6 \quad (2.3)$$

biçimine getirilebilir. Burada $m = (n + i\kappa)$ olup hidrometeorun kompleks kırılma indisidir, D ise hidrometeorun çapıdır. Böylece aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$\overline{P_r} = \frac{P_t G^2 \theta \phi h L \pi^3}{1024 \ln(2) r^2 \lambda^2} |K|^2 \frac{1}{\Delta v} \sum_{vol} D_i^6 \quad (2.4)$$

Burada h puls uzunluğu, Δv puls hacmi, θ ve ϕ ise yatay ve düşey eksenlerdeki ışın genlikleridir. $K = (m^2 - 1) / (m^2 + 2)$ olup, genellikle radar reflektivite faktörü

$$Z = \frac{1}{\Delta\nu} \Sigma D_i^6 \quad (2.5)$$

şeklinde tanımlanır. Böylece C radar sabiti olmak üzere,

$$C = \frac{P_i G^2 \theta \phi h L \pi^3}{1024 \ln(2) r^2 \lambda^2} \quad (2.6)$$

$$\overline{P_r} = \frac{C |K|^2 Z}{r^2} \quad (2.7)$$

eşitliği elde edilir. Bu eşitlik aşağıdaki bazı varsayımlar kabul edilerek çıkarılmıştır (Crozier 1986):

a) Saçıcı yağış parçacıkları, çapları (D) dalga boyu ile karşılaştırıldığında daha küçük olan dielektrik kürelerdir. Yani Rayleigh teorisinin uygulanabilirliği için C-band dalga boylarında $D < 3,2 \text{ mm}$ 'dir. Fakat, 6 mm'ye kadar olan çaplar ciddi hatalar üretmez.

b) Puls hacmi, saçıcı yağış parçacıklarıyla rasgele doludur.

c) Radar reflektivite faktörü (Z), örnek bir puls hacminin her tarafında aynıdır ve örnekleme aralığı boyunca sabittir. Işın içindeki kuvvetli gradyanlar, hatalar oluşturur.

d) Parçacıkların hepsi ya su damlacığı ya da buz parçacıklarıdır. Yani $|K|^2$ tüm parçacıklar için aynıdır.

e) Çoklu saçılma ihmal edilmiştir.

f) Gelen ve geri saçılan dalgalar lineer polarizedir.

g) Antenin ana lobu (kulakçık) Gaussian şeklindedir.

h) Alınan güce yan lobların katkısı ihmal edilmiştir. Bu durum genellikle yan lobların gücünün ana lob gücünden 20 dB daha zayıf olduğu zaman geçerlidir.

i) Anten, dairesel kesitli parabolik yansıtıcı tipindedir.

j) Yayılan sinyallerin, yer yankısı veren bölgeler tarafından soğurumu (absorpsiyonu) ihmal edilmiştir.

k) Sistemdeki güç kayıpları düşünülmüştür.

l) Ölçülen güç (P_r), yeterli sayıda pulsun ortalamasıdır.

Radar reflektivite faktörü (Z), yalnızca dalga boyuna oranla daha küçük çaplardaki parçacıklar için anlam ifade eder. Fakat buz kristallerinde olduğu gibi parçacıklar her zaman küresel olmayabilirler. Bu durumda “Efektif Radar Reflektivite Faktörü (Z_e)” tanımlanmalıdır (Atlas *et al.* 1964, Battan 1973). Z_e , ölçülen radar reflektivite faktörü (Z) ile aynı güçte geri saçılan, Rayleigh saçılma bölgesindeki küresel su damlalarının çaplarının altıncı kuvvetlerinin birim hacimdeki toplamı olarak tanımlanır.

$$Z_e = \int N(D) D^6 dD \quad (2.8)$$

2.3 Radar Reflektivite Faktörü (Z)

Daha önceki bölümlerde bahsedildiği gibi geri saçılan enerjinin ölçülmesiyle radar reflektivite faktörü (Z) hesaplanabilir. Alınan güç ile radar reflektivite faktörü arasındaki bağıntı,

$$\overline{P_r} = \frac{C|K|^2}{r^2} Z$$

idi. Radar reflektivite faktörü, damla çapının altıncı kuvvetinin birim hacimdeki tüm damlalar üzerinden toplamı olarak tanımlanır. Radar reflektivite faktörünün damla dağılımına göre bağımlılığı Bölüm 2.2’den hatırlanacağı üzere,

$$Z = \int N(D)D^6 dD$$

olarak verilir. Burada $N(D)$ damla büyüklük dağılımı, D ise damlanın çapıdır. Reflektivitenin birimi logaritmik olarak aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$dBZ = 10 \log Z \quad (2.9)$$

Fakat, $\pi D/\lambda$ oranı 0,1 den daha büyükse Rayleigh teorisi yerine Mie teorisi kullanılmalıdır. Bu da radar reflektivite faktörü yerine radar efektif reflektivite faktörünün kullanılması gerektiği anlamına gelmektedir.

Z ile yağış miktarı R arasında da ampirik bir bağıntı vardır. Bu bağıntı,

$$Z = AR^B \quad (2.10)$$

şeklinde ifade edilir. Bu formüldeki A ve B katsayıları yağışın tipine ve bölgenin yağış karakteristiğine göre değişmektedir. Bu katsayılar ile ilgili olarak literatürde (Battan 1973) bir çalışma yapılmış ve farklı bir çok katsayı üretilmiştir (Çizelge 2.2). Fakat yağmur için en geçerli olan katsayılar Marshall ve Palmer tarafından 1948 yılında geliştirilmiştir. Marshall ve Palmer’a göre $A=200$ ve $B=1,6$ dır ($Z = 200R^{1,6}$). Radar yazılımları tarafından işlenen reflektivite değerlerine karşılık gelen yağış tipleri ve diğer yankı (eko) kaynakları Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Çizelge 2.1 Radar yazılımları tarafından işlenen reflektivite değerlerine karşılık gelen yağış tipleri ve diğer yankı kaynakları

Yağış tipi ve diğer yankı kaynakları	Reflektivite
Su içeren fakat yağış yapmayan bulut, sis	< 0 dBZ
Buz parçacıkları içeren bulutlar	20 dBZ ye kadar
Çisenti	0-20 dBZ
Hafif Yağmur	10-30 dBZ
Şiddetli Yağmur – Hafif Sağanak	30-45 dBZ
Şiddetli Sağanak	>40-65 dBZ ye kadar
Dolu	Donma seviyesi üzerinde dBZ 45 Eğer dBZ ≥ 55 ise tüm yüksekliklerde mümkün
Kar	35 dBZ ye kadar
Duman – Toz – Böcek (Yerden 2 km yüksekliğe kadar)	10 dBZ ye kadar
Clutter (Yeryüzünden, binalardan, ağaçlardan, su yüzeylerinden v.b. olan istenmeyen yankılar)	Süzgeçleme (filtreleme) yapılmadığında 80 dBZ ye kadar (80 limit durumudur)
Kuşlar	20 dBZ ye kadar

Çizelge 2.2 Reflektivite faktörü Z ($\text{mm}^6 \text{m}^{-3}$) ve yağış yoğunluğu R (mm saat^{-1}) arasındaki tipik deneysel ilişki (Battan 1973)

Z ve R Arasındaki Deneysel İlişki	Yağış Tipi	Referans
$Z = 140R^{1.5}$	İnce yağmur (çise)	Joss (1970)
$Z = 250R^{1.5}$	Yaygın yağmur	Joss (1970)
$Z = 200R^{1.6}$	Stratiform tipi (geniş, tabaka bulutlar) yağış	Marshall ve Palmer (1948)
$Z = 31R^{1.71}$	Orografik yağmur	Blanchard (1953)
$Z = 500R^{1.5}$	Yıldırımlı yağmur	Joss (1970)
$Z = 485R^{1.37}$	Yıldırımlı yağmur	Jones (1956)
$Z = 2000R^{2.0}$	Toplanmış kar tanesi	Gunn ve Marshall (1958)
$Z = 1780R^{2.21}$	Kar tanesi	Sekhon ve Srivastava (1970)

2.4 Radar Menzili

Hemen hemen bütün radarlarda yayılan elektromagnetik dalga pulsludur. Diğer bir deyişle sistem özel bir PRF’de (puls tekrarlama frekansı, pulse repetition frequency) senkronize olarak puls üretir (Öztürk 2001). Radarın yataydaki görüş mesafesi (menzil), PRF ve ışık hızı ile ilişkilidir. Buna göre radarın yataydaki maksimum menzili

$$R_{max} = \frac{c}{2PRF} \quad (2.11)$$

olarak tanımlanır.

2.5 Radar ölçü sapmaları

Radarlarla yapılan yağış tahminlerinin tutarlılık oranı pek çok sebepten ötürü düşük olabilmektedir. Buna sebep olan kaynakların başlıcaları şunlardır:

- Clutter
- Elektronik kalibrasyon
- Atenüasyon
- Ana ve yan loblar
- Işın Geometrisi
- Işın Engellenmesi
- Topografyadan kaynaklanan orografik etki
- Düşey reflektivite profilindeki değişkenlik

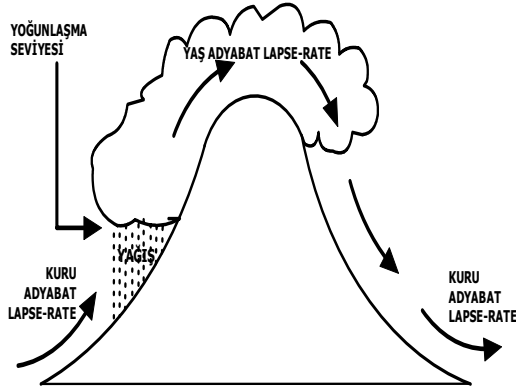
Bazı topografik koşullarda radar ışını, yeryüzündeki birtakım yükseltilere, dağ, tepe, bina vb. yerlere çarparak radara geri dönebilir. Radar işlemcisi tarafından değerlendirilen bu yankılar kullanıcı tarafından yoğun yağış potansiyeline sahip bir sistem olarak algılanabilir. Bu yankılara “clutter” yankıları denir.

Radar ölçümleri sırasında geri dönen yankının gücündeki azalma veya kaybolma “atenüasyon” olarak tanımlanır. Aşırı şiddetli yağışlar, fırtınaların ardında kalan yağışın miktarlarının belirlenmesi üzerine önemli ölçüde atenüasyon yaparlar.

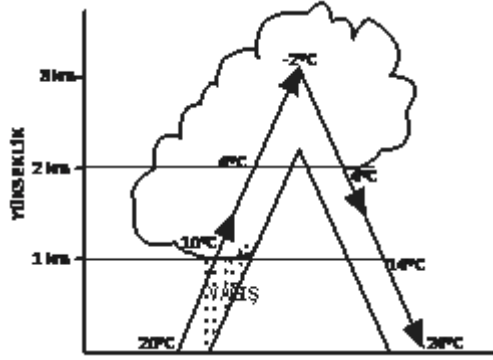
Radarın yataydaki görüş mesafesi artırıldıkça, radar ışınının yerden olan yüksekliği artacaktır. Bu da radar ışınlarının su moleküllerinin buz moleküllerine dönüşmeye başladığı, bulutların yüksek kesimlerindeki “parlak bant (bright band)” diye adlandırılan tabakaya çarpmasına ve alıcının bu bölgelerden yankı almasına sebep olur. Bu durum, buz ve su moleküllerinin reflektivite değerleri farklı olduğu için yanlış tahminlere sebep olabilir. Yükseklik (elevasyon) açısının küçük seçilmesi de özellikle dağlık bölgelerdeki yer yankılarının artmasına sebebiyet verir. Radar yazılımlarında bu yer yankılarını yok etmek için Doppler Süzgeçlemesi ve FFT (Fast Fourier Transform) gibi yöntemler kullanılmaktadır.

2.6 Orografi

Herhangi bir hava parseli dağ yamacına tırmanmaya başladığında, kuru adyabatik çıkış hızına (lapse-rate) paralel olarak (düşey sıcaklık gradyanı) 100 metrede 1 °C oranında soğumaya başlar ve bu soğuma yoğunlaşma seviyesine kadar bu şekilde devam eder. Yoğunlaşma seviyesinden itibaren yaş adyabatik çıkış hızına paralel olarak her 100m. de yaklaşık 0,6 °C soğumaya devam eder. Soğuyan hava parseli yoğunlaşmaya bağlı olarak dağın üst taraflarında bulutlar oluşturur ve çoğunlukla dağın rüzgara bakan yamaçlarına yağış bırakır (Şekil 2.1). Dağın öbür yamacına geçen hava parseli, tepeden aşağıya indikçe kuru adyabatik çıkış hızı oranında ısınmaya başlar. Dağın eteklerindeki düzlüklere ulaştığında ise artık kuvvetli, kuru ve sıcak bir rüzgar etkisi yapar. Örneğin, 3000 metrelik bir dağı tırmanmaya başlayan 20 °C sıcaklığında ve % 60 neme sahip olan hava parseli dağın öteki tarafına geçtiğinde sıcaklığı 24 °C 'ye ulaşır ve tamamen kurudur (Şekil 2.2)



Şekil 2.1 Orografa durumunun şematik gösterimi



Şekil 2.2 Orografa durumunda dağın iki yakasındaki sıcaklık değişimi

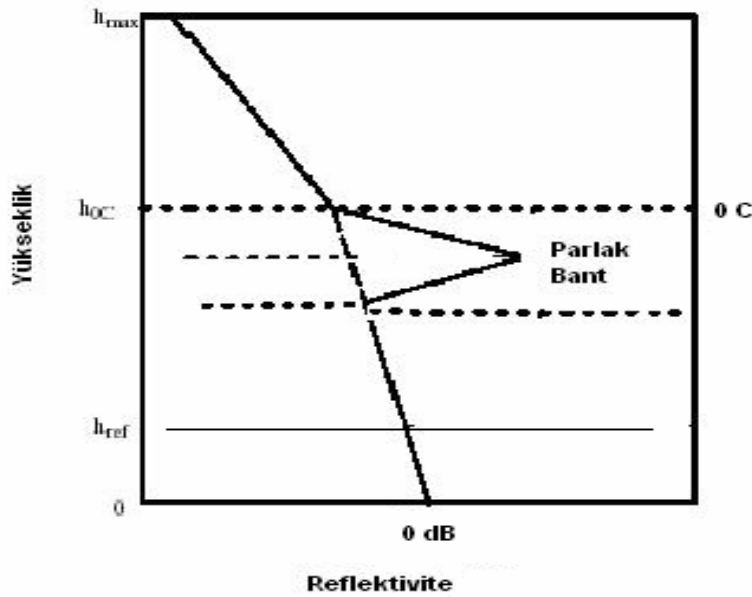
2.7 Radar yağış ürünleri

Radar yazılımları, bulutlardan geri alınan yansımaları işleyerek kullanıcıya görsel bir ürün sunar. Radar vasıtasıyla dikey profil analizi, maksimum reflektivite, en yüksek seviyedeki yansıma, hız, rüzgar vektörleri, yağış şiddeti tespiti vb. amaçlar için kullanılan ürünler elde edilebilir. SRI (Yüzey Yağış Şiddeti, Surface Rainfall Intensity) ve RAINN (N saatlik toplam yağış) ürünleri, Balıkesir radarında yağış tespiti için kullanılan ürünlerden bazılarıdır.

2.7.1 SRI

SRI, yer seviyesinden sabit bir yükseklikte tanımlanan bir yüzey için yağış şiddetinin hesaplandığı üründür. Reflektivite verisini kullanarak Z-R bağıntısından yağış bilgisini elde eder. Bu çalışmada kullanılan SRI ürünündeki Z-R bağıntısı, Marshall-Palmer bağıntısı olan $Z=200R^{1,6}$ dır (Marshall and Palmer 1948).

Radarlarda yağışın hatalı ölçülmesine neden olan en önemli parametreler donma seviyesi (parlak bant) ve dikey reflektivite profilidir. Yağış bulutlarının yukarı seviyeleri alt seviyelerinden daha zayıf yansıma üretirler. Fakat bu yukarıya doğru doğrusal azalış, parlak bant seviyesinde bozulur. Buradaki donma seviyesinde yansıma oldukça güçlüdür (Şekil 2.3). Bazı radar yazılımları, radarın bulunduğu konuma ait ve mevsimlere göre değişken olan parlak bant ve dikey reflektivite profili bilgilerinin kullanıcı tarafından tanımlanmasına imkan verir. Balıkesir radarının yazılımında da bu mümkündür.



Şekil 2.3 Reflektivite-yükselik grafiği ve parlak bant

2.7.2 RAINN

RAINN ürünü istenilen N saatlik RAIN1 ürünlerinin toplamından elde edilir. RAIN1 ürünü bir önceki saatin SRI ürününü kullanarak elde edilir. RAIN1 ürünü 1 saat içinde düşen yağışın toplamını vermektedir (Şekil 2.4).

Bu çalışmadan önce RAIN1 ürününün oluşturulmasında kullanılan yükseklik açıları 2005 kış döneminde 0.3°, 0.7°, 1.2°, 2.0°, 3.0°, 4.5°, 6.0°, 9.0°, 13.0°, 17.0° ve 22.0° iken, 2005 yaz dönemi itibariyle, bu çalışmadan daha iyi sonuçlar alınabilmesi amacıyla, 0° ve 1° arasındaki açı sayısı dörde yükseltilerek bu aralıktaki tarama değerleri biraz daha sıklaştırılmıştır. Buna göre açılar 0.2°, 0.4°, 0.6°, 1.0°, 1.5°, 2.2°, 3.0°, 4.5°, 7.0°, 10.0°, 15.0°, 22.0°, 30.0° ve 40.0° olarak belirlenmiştir. Yaz dönemi olması nedeniyle ve yakın istasyonlar için yüksek açılar programdan çıkarılamamıştır. Ayrıca tanımlı tarama programına herhangi bir açının ilave edilmesi ürünün elde edilme süresini geciktirmekte bu durum da kısa vadeli tahmin için iyi olmamaktadır. Bu yüzden 0°-1° aralığı daha fazla sıklaştırılamamıştır. Balıkesir radarının 150 km'lik kaplama alanı içerisinde kalan AWOS istasyonları ve bu çalışmada kullanılan RAIN1 ürünü maksimum menzili olan 120 km'lik kaplama içerisinde kalan AWOS istasyonlarının tümü için 0.5°'den daha yukarı yükseklik açılarında topografik bir engele rastlanmamıştır. Ancak tanımlı tarama programında olmayan açılar için bir üst yükseklik açısı kullanılarak HV_{min} değerleri hesaplanmıştır (Çizelge 4.2). Bu tez çalışmasında geliştirilen program ile istenilen tüm yükseklik açılarında HV_{min} yüksekliklerini bulmak mümkündür (Bölüm 3.2.1.1).



Şekil 2.4 25.11.2005 tarihi saat 10:00'a ait RAIN1 ürünü görüntüsü

2.8 Meteorolojik Yağış Ölçüm Sistemleri

2.8.1 Yağış Ölçer (Rain Gage)

Yağış değerleri manüel ve otomatik olmak üzere iki şekilde ölçülür. Manüel ölçümler Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne (DMI) ait sinoptik ve klima istasyonlarında plüviyometre ve plüviyograf cihazlarıyla, otomatik gözlemler ise AWOS'larla yapılmaktadır.

2.8.2 Otomatik İstasyon (AWOS)

Rasat parklarında belli saatlerde ve manüel olarak yapılan ölçümler AWOS'lar ile otomatik, insansız ve sürekli hale getirilmiştir. Yağış miktarı, rüzgar, sıcaklık, basınç, güneşlenme, nem vb. değişkenlerin otomatik olarak ölçülüp özel bir yazılım tarafından gerçel zamanlı olarak kullanıcıya sunulmaktadır.

Otomatik istasyonlarda yağış ölçümleri için, puls (darbe) sayıcı yağış ölçer kullanılır. Silindirik toplama kabındaki kepçelerden birisi su ile dolunca pozisyon değişerek su diğer kepçeye dolmaya başlar. Pozisyon değiştirme esnasında manyetik anahtar kontak yaparak darbe üretir. Her bir darbe 0,2 mm yağışa karşılık gelir. Bu darbeler sayılarak yağış ölçülür. Termostatlı ısıtıcılar kar ve doluyu eritir. 1 m²'lik bir alana düşen 1 mm yüksekliğindeki su miktarı, 1 kg'dır. Bu nedenle meteorolojide yağış miktarı milimetre cinsinden de ifade edilir.

2.9 Sayısal Hava Tahmini

Sayısal hava tahmini, atmosferin durumunu belirten basınç, sıcaklık, rüzgar ve nem gibi değişkenlerin matematiksel eşitliklerle ifade edilerek, bu eşitliklerin çözümlenmesi suretiyle gelecekteki havanın durumunun tahmin edilmesidir.

2.9.1 Sayısal Hava Tahmin Modelleri

2.9.1.1 Global Modeller

Yatay çözünürlüğün dalga sayısı ile orantılı olarak çözümlendiği bu model türünde basit hidrostatik eşitlik kullanılmaktadır. Yani havanın ağırlığıyla düşey basınç gradyan kuvveti arasında bir denge olduğu kabul edilmektedir. Bu model türündeki hesaplamalarda düşey hız direkt olarak hesaplanmaz. Global atmosferik modeller ve genel sirkülasyon modelleri global modellere örnek olarak verilebilir. Dünyada kullanılan belli başlı global modeller ve bu modelleri geliştiren ülkeler şunlardır: IFS (ECMWF), UM (İngiltere), GM (Almanya), ARPEGE (Fransa), AVN (ABD), GEM (Kanada), JMA (Japonya).

2.9.1.2 Sınırlı Alan Modelleri

Bu tür modellerde global modellerin tersine yatay çözünürlük dalga sayısı ile değil, grid noktaları arasındaki mesafe ile orantılıdır. Yani global modellerde dalga sayısı arttığında çözünürlük artarken, sınırlı alan modellerinde grid sayısı artınca - ki bu durumda gridler arasındaki mesafe azalır - çözünürlük artmaktadır. Sınırlı alan modellerinin bazılarında (Sinoptik / Orta Ölçekli modeller) hidrostatik denge kabul edilirken bazılarında ise hidrostatik denge eşitliği kabul edilmez. Hidrostatik olmayan sınırlı alan modelleri genellikle çok yüksek çözünürlük gerektiren lokal tahmin problemlerinde kullanılmaktadır. Dünyada kullanılan belli başlı sınırlı alan modelleri ve bu modelleri geliştiren ülkeler şunlardır: ALADIN (Fransa), HRLM (Almanya), ETA (Yugoslavya-ABD), LM (Almanya, İsveç, Yunanistan), HIRLAM (İrlanda, Danimarka, İspanya, Portekiz, Hollanda), MM5 (ABD).

2.9.1.2.1 MM5 Modeli (5. Nesil Orta Ölçekli Model)

MM5 modeli NCAR ve PSU (PenState Üniversitesi) tarafından geliştirilmiş ve tüm dünyada DMI'nin de içinde bulunduğu birçok meteoroloji örgütünde ve özellikle üniversitelerde kullanılan bir modeldir. Yüksek çözünürlükte kuvvetli fiziksel ve topografik verilerle oldukça iyi sonuçlar veren MM5 modeli, 10 km ve altındaki çalışma

yeteneğinde (hidrostatik olmayan) olması nedeniyle oldukça tercih edilmektedir. MM5, halen DMI'de günde 4 defa 00, 06, 12, 18 UTC'de, iki ayrı alanda ve iki farklı çözünürlükte eş-zamanlı olarak çalıştırılmaktadır. Bu alanların Türkiye ve denizleri için çözünürlüğü 7 km'dir. Tahmin periyodu 48 saattir. MM5 model sonuçları olarak şu anda yukarı seviyeler için tüm standart ve ara basınç seviyelerinde sıcaklık, rüzgar, jeopotansiyel yükseklik, nem, düşey hız, akım çizgileri, diverjans ürünleri elde edilmektedir. Yer seviyesi için ise MSLP (Ortalama Deniz Seviyesindeki Basınç), 2 m sıcaklığı (yerden 2 metre yükseklikteki sıcaklık), 10 m rüzgar, toplam yağış, kar karışım oranı, yağışa geçebilir su miktarı, konvektivite (düşey kararsızlık) ve tansiyon değerleri üretilmektedir.

2.9.2 Model hataları

2.9.2.1 Sistematik olmayan hatalar

Başlangıç koşullarındaki hatalardan kaynaklanan ve devamlılık arz etmeyen hatalardır. Bu tür hataların düzeltilmesi için başlangıç verisinin asimilasyon çalışmalarıyla iyileştirilmesi gerekmektedir.

2.9.2.2 Sistematik hatalar

Modelin gerek fiziksel parametrisleştirme problemlerinden veya yatay çözünürlüğünün az olmasından, gerekse topografya verisinin gerçek topografyayı tam olarak temsil edememesinden kaynaklanan ve süreklilik arz eden hatalardır. Bu tür hataların düzeltilmesi için modelin kendisine müdahale edilmesi, model parametrislestirmesi yapılması veya sonuçların istatistiksel yöntemlerle iyileştirilmesi gerekmektedir.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1 İstatistiksel Yöntemler

3.1.1 Regresyon

Regresyon, iki ya da daha çok rasgele değişken arasındaki istatistiksel ilişkinin matematiksel ifadesini belirlemek, bağımlı değişkenin değerini bağımsız değişkenlerin bilinen değerine göre tahmin etmektir. Buna göre iki zaman serisi arasında bir regresyon denklemi kurulur. Denklemin katsayıları, gözlenen değerlerle tahmin edilecek değerlerin farklarının (rezidü) kareleri minimize edilerek bulunur (En Küçük Kareler Yöntemi). Basit doğrusal bir regresyonda,

X_i : model verileri (tahminleri)

d_i : gözlenen veriler

p_1 ve p_2 zamandan bağımsız parametreler olmak üzere, model tahminleri (X_i) ve gözlenen veriler (d_i) arasında $f_i = p_1 + p_2 X_i$ şeklinde bir ilişki olduğu düşünülürse,

n : veri sayısı

$e_i = d_i - f_i$: Rezidü olmak üzere,

rezidülerin karelerinin toplamı olan Yanılgı Enerjisi ($E(p)$) şu şekilde yazılır (Başokur, 2002) :

$$E(p) = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (d_i - f_i)^2 = \sum_{i=1}^n (d_i - p_1 - p_2 X_i)^2 \quad (3.1)$$

Katsayılar göre türev alıp sifıra eşitlersek,

$$\frac{\partial E(p)}{\partial p_1} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n 2(d_i - p_1 - p_2 X_i)(-1) \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial E(p)}{\partial p_2} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^n 2(d_i - p_1 - p_2 X_i)(-X_i) \quad (3.3)$$

buradan şu bağıntılara ulaşırız :

$$p_2 \sum_{i=1}^n X_i^2 + p_1 \sum_{i=1}^n X_i = \sum_{i=1}^n X_i f_i \quad (3.4)$$

$$p_2 \sum_{i=1}^n X_i + p_1 n = \sum_{i=1}^n f_i \quad (3.5)$$

Bu iki denklem birlikte çözülerek katsayılar ve regresyon denklemi elde edilir. Bu regresyon denklemi model verileri ve gerçekleşen veriler arasındaki ilişkiyi ifade eder. Doğrusal olmayan, ikinci ve daha yüksek dereceli fonksiyonlar kullanarak regresyon analizi yapmak için aşağıdaki ifade kullanılabilir:

$$f_i = p_1 + p_2 X_i + p_3 X_i^2 + p_4 X_i^3 + \dots \quad (3.6)$$

Benzer işlemlerle istenilen derecede bir fonksiyon kullanılarak regresyon katsayıları bulunabilir. Aşağıda tanımlanan A, B ve C matrisleri kullanılarak denklemlerin genelleştirilmiş çözümleri şu şekilde yazılır:

$$B.C = A \\ \Rightarrow C = B^{-1} . A \quad (3.7)$$

$$A = \begin{bmatrix} \sum f_i \\ \sum X_i f_i \\ \sum X_i^2 f_i \\ \vdots \\ \sum X_i^n f_i \end{bmatrix}_{n \times 1} \quad (3.8)$$

$$B = \begin{vmatrix} n & \sum X_i & \sum X_i^2 & . & . & \sum X_i^n \\ \sum X_i & \sum X_i^2 & \sum X_i^3 & . & . & \sum X_i^{n+1} \\ \sum X_i^2 & \sum X_i^3 & \sum X_i^4 & . & . & \sum X_i^{n+2} \\ . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . \\ \sum X_i^n & \sum X_i^{n+1} & \sum X_i^{n+2} & . & . & \sum X_i^{2n} \end{vmatrix}_{(n+1) \times (n+1)} \quad (3.9)$$

$$C = \begin{vmatrix} p_1 \\ p_2 \\ . \\ . \\ p_{n+1} \end{vmatrix}_{1 \times (n+1)} \quad (3.10)$$

Çok bilinmeyenli denklemleri çözebilmek için yine benzer matris işlemleri kullanılır. Aşağıda, bu çalışmada kullanılan bazı istatistiksel parametrelerin formülleri verilmiştir. Regresyon denklemi kullanılarak elde edilen tahmini değerler ile gözlenen veriler arasındaki hata durumunu veren yani bir başka deyişle regresyon analizinin performansını gösteren bu parametreler sırasıyla ortalama hata (Mean Error, ME), ortalama hatanın karesinin karekökü (Root Mean Square Error, RMSE), normalize edilmiş hata değeri (Normalized Bias, NBIAS), saçılma indeksi (Scattering Index, SI) değerleridir.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - f_i)^2} \quad (3.11)$$

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_i - f_i) \quad (3.12)$$

$$NBIAS = \frac{ME}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i} \quad (3.13)$$

$$SI = \frac{RMSE}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i} \quad (3.14)$$

3.1.1.1 Ağırlıklı Regresyon

Rezidülerin eşit varyanslı olmaması durumunda uygulanabilecek yöntemlerden birisi ağırlıklı regresyondur. w_i ağırlık faktörleri, varyansı yüksek olan değerler için küçük olacak şekilde seçilerek güvenilir olmayan gözlemlerin regresyon analizine etkisi küçültülür (Bayazıt 1996). Bu amaçla ağırlık faktörü aşağıdaki gibi alınabilir:

$$w_i = \frac{1}{(d_i - f_i)^2} \quad (3.15)$$

$$E(p) = \sum_{i=1}^n w_i e_i^2 \quad (3.16)$$

Burada w_i ağırlık katsayısıdır. Standart sapma veya varyans parametreleri aykırı değerlerden çok etkilenir. Daha dayanıklı bir parametre olan kuartil şu şekilde bulunur (Bayazıt 1996):

$X_{0,25}$ ve $X_{0,75}$ kuartilleri sırasıyla bir veri dizisinin $i = 0,25n$ ve $i = 0,75n$ inci veya bunlara en yakın iki değer ortalamasıdır. Örneğin 23 verili bir kümesinde 0,25 inci kuartil dizinin 5. ve 6. değerlerinin ortalamasıdır. Kuartiller arası uzaklık IQR (interquartile range) ise,

$$IQR = X_{0,75} - X_{0,25} \quad (3.17)$$

olarak bulunur. IQR ve rezidü ile ilişkili u_i parametresinin tanımlanmasıyla ağırlık faktörü için aşağıdaki ifadeler bulunur:

$$u_i = \frac{e_i}{3IQR} \quad (3.18)$$

$$|u_i| \leq 1 \Rightarrow w_i = (1 - u_i^2)^2$$

$$|u_i| > 1 \Rightarrow w_i = 0$$

3.1.1.2 Çoklu Regresyon

Bağımlı değişkene etki eden birden fazla parametre olması durumunda çoklu regresyon analizi yapılması gerekir. Bu durumda birinci dereceden çoklu regresyon denklemi,

$$f_i = p_1 + p_2(X_1)_i + p_3(X_2)_i + p_4(X_3)_i + \dots \quad (3.19)$$

şeklinde ifade edilebilir.

Üç bağımsız, bir bağımlı değişkenli çoklu regresyon denkleminde en küçük kareler yöntemine göre yazılacak denklemler ve bu denklemleri birlikte çözerek elde edilecek matrisler şu şekilde olacaktır:

$$p_1 \sum_{i=1}^n (X_1)_i + p_2 \sum_{i=1}^n (X_1^2)_i + p_3 \sum_{i=1}^n (X_2)_i (X_1)_i + p_4 \sum_{i=1}^n (X_3)_i (X_1)_i = \sum_{i=1}^n (X_1)_i f_i \quad (3.20)$$

$$p_1 \sum_{i=1}^n (X_2)_i + p_2 \sum_{i=1}^n (X_2^2)_i + p_3 \sum_{i=1}^n (X_1)_i (X_2)_i + p_4 \sum_{i=1}^n (X_3)_i (X_2)_i = \sum_{i=1}^n (X_2)_i f_i \quad (3.21)$$

$$p_1 \sum_{i=1}^n (X_3)_i + p_2 \sum_{i=1}^n (X_3^2)_i + p_3 \sum_{i=1}^n (X_2)_i (X_3)_i + p_4 \sum_{i=1}^n (X_1)_i (X_3)_i = \sum_{i=1}^n (X_3)_i f_i \quad (3.22)$$

$$np_1 + p_2 \sum_{i=1}^n (X_1)_i + p_3 \sum_{i=1}^n (X_2)_i + p_4 \sum_{i=1}^n (X_3)_i = \sum_{i=1}^n f_i \quad (3.23)$$

Yukarıdaki denklemler $C = B^{-1} \cdot A$ (Denklem 3.7) matris eşitliği kullanılarak benzer şekilde çözülebilir. Çözümleri sağlayacak A, B ve C matrisleri aşağıdaki gibi olacaktır:

$$A = \begin{bmatrix} \sum f_i \\ \sum (X_1)_i f_i \\ \sum (X_2)_i f_i \\ \sum (X_3)_i f_i \end{bmatrix}_{1 \times 4} \quad (3.24)$$

$$B = \begin{vmatrix} n & \sum(X_1)_i & \sum(X_2)_i & \sum(X_3)_i \\ \sum(X_1)_i & \sum(X_1)_i^2 & \sum(X_1)_i(X_2)_i & \sum(X_1)_i(X_3)_i \\ \sum(X_2)_i & \sum(X_2)_i(X_1)_i & \sum(X_2)_i^2 & \sum(X_2)_i(X_3)_i \\ \sum(X_3)_i & \sum(X_3)_i(X_1)_i & \sum(X_3)_i(X_2)_i & \sum(X_3)_i^2 \end{vmatrix}_{4 \times 4} \quad (3.25)$$

$$C = \begin{vmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \\ p_4 \end{vmatrix}_{1 \times 4} \quad (3.26)$$

Genelleştirilmiş matris ifadeleri ise aşağıdaki gibidir:

$$A = \begin{vmatrix} \sum f_i \\ \sum(X_k)_i f_i \\ \sum(X_{k+1})_i f_i \\ \cdot \\ \sum(X_n)_i f_i \end{vmatrix}_{1 \times n} \quad (3.27)$$

$$B = \begin{vmatrix} n & \sum(X_k)_i & \sum(X_{k+1})_i & \cdot & \sum(X_n)_i \\ \sum(X_k)_i & \sum(X_{k+1})_i^2 & \sum(X_k)_i(X_{k+1})_i & \cdot & \sum(X_k)_i(X_n)_i \\ \sum(X_{k+1})_i & \sum(X_{k+1})_i(X_k)_i & \sum(X_{k+1})_i^2 & \cdot & \sum(X_{k+1})_i(X_n)_i \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \sum(X_n)_i & \sum(X_n)_i(X_k)_i & \sum(X_n)_i(X_{k+1})_i & \cdot & \sum(X_n)_i^2 \end{vmatrix}_{(n+1) \times (n+1)} \quad (3.28)$$

$$C = \begin{vmatrix} p_1 \\ p_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ p_{n+1} \end{vmatrix}_{1 \times (n+1)} \quad (3.29)$$

3.1.2 Ortalama Hata Düzeltmesi (Running Mean Bias Correction - RMBC)

Geçmişte tahmini yapılan değerler ile gözlenen değerler arasındaki hataların, her saat için ayrı ayrı alınan ortalamasının, aynı gözlem koşullarındaki yeni tahminlere eklenmesi veya çıkarılması ile yapılan tahmin iyileştirme yöntemidir.

3.1.3 Kalman Filtresi

Sayısal Hava Tahmin modelleri yaptıkları tahminlerde sistematik hatalar içermektedirler. Örneğin; hava sıcaklığı mevsimsel geçişlere, tahmini yapılacak noktanın topografyasına ve istasyonun grid-altı yerleşiminde olup olmamasına bağlı olarak, sistematik hatalar taşıyabilmektedir. Kalman Filtresi, modellerden elde edilen tahmin çıktılarıyla, gerçekleşen değerleri (gözlemleri) istatistiksel yöntemlerle değerlendirerek, tahmin iyileştirmeyi amaçlayan bir yöntemdir.

3.2 Yağış Ölçer Ayarlaması (Gage Adjustment)

Bu teknik, daha önceki bölümlerde anlatılan hata kaynaklarından ötürü radarlardan elde edilen hatalı yağış değerlerinin mümkün olduğu oranda iyileştirilmesi amacıyla uygulanır. Z-R bağıntısıyla radardan elde edilen yağış verilerinin, radarın kaplama alanı içerisinde kalan otomatik istasyonların yağış verileri kullanılarak optimize edilmesi işlemidir.

3.2.1 Ağırlıklı Çoklu Regresyon Yöntemi ile Yağış Ölçer Ayarlaması

Bu yöntemde, her bir AWOS için, radarlardan AWOS'ların bulunduğu koordinatlardaki pikseller ile komşuluklarındaki sekiz pikselin ortalaması alınarak hesaplanan toplam yağış miktarı (R) ve AWOS'lardan alınan toplam yağış miktarı (G) değerlerinin oranını ifade eden AF (değerlendirme faktörü) bulunur (Denklem 3.30). Farklı cihazlarla

ölçülen parametrelerin zamansal olarak uyumsuzluk gösterebileceği hesaba katılarak toplam yağışların oranını almak mantıklı olan yoldur (Zawadzki 1975, Collier 1986).

$$(AF)_j = \frac{\sum \sum (R)_j}{\sum \sum (G)_j} \quad (3.30)$$

Değerlendirme Faktörü AF ile üç bağımsız değişken arasında Denklem 3.31'deki gibi bir ilişki vardır (Gabella *et al.* 2000).

$$(AF)_j (dB) = a_0 + a_D \cdot \log(D_j) + a_{HV} \cdot (HV_{\min})_j + a_{HG} \cdot HG_j \quad (3.31)$$

Bu denklemdeki bağımsız değişkenler şunlardır:

- D : radar ve yağış ölçer arasındaki uzaklık
- $HV_{\min}$: yağış ölçerin üzerindeki bir hedefin radardan görülebileceği minimum yükseklik
- HG : yağış ölçerin yüksekliği
- j : yağış ölçer numarası

Burada kullanılan D parametresi, radar ışınının yatay menzil arttıkça logaritmik olarak yükselmesi, $HV_{\min}$ parametresi radar ışınının topografik bir engel nedeniyle bloke edilmesi (ışın engellenmesi) nedeniyle, HG parametresi ise orografya nedeniyle radardan ölçülen yağışın hatalı olmasına neden olan bir parametre olduğu ve bu parametreler zamana bağlı değişkenler olmadıkları için seçilmişlerdir. Bölüm 2.5'de bahsedildiği gibi, radarlardan ölçülen yağışlardaki hatanın bir nedeni de düşey reflektivite profilindeki değişkenliktir. Düşey reflektivite profili, yükseklik ile logaritmik olarak azaldığı için $\log(AF)$ değeri, HV ve HG ile lineer ilişkili olacaktır. Radar ışınının yüksekliğinin menzil (D) ile ilişkisi ve Z-R ilişkisi de logaritmik olduğundan, optimum regresyon performansı için Denklem 3.31'de AF ve D parametrelerinin logaritmaları kullanılmıştır (Gabella *et al.* 2000). Lineer ağırlıklı çoklu regresyon tekniği, radarın kaplama alanında kalan tüm AWOS noktaları için bulunan AF değerlerine uygulanarak regresyon katsayıları bulunur. Bu katsayılar kullanılarak,

logaritmik bir ifade olan tahmini AF fonksiyonu elde edilir. Bu çalışmada regresyonun ağırlık faktörleri için üç farklı ağırlık faktörü ($w=1$, $w=R$ ve $w=G$) denenmiştir (Gabella *et al.* 2001).

AF fonksiyonunu tüm AWOS noktalarına ait D , HV_{min} ve HG parametreleri ile birlikte kullanarak, her bir AWOS noktası için iyileştirilmiş yağış bilgisine ulaşmak hedeflenmiştir (Denklem 3.32). Böylece, radarda RAINN ürününden elde edilen toplam yağış değerlerini istatistiksel olarak optimize etmek mümkün olacaktır.

$$\sum \sum (R_t)_j = \frac{\sum \sum (R)_j}{(AF_{tahm})_j} \quad (3.32)$$

R_t = iyileştirilmiş tahmini radar yağışı

Yağış Ölçer Ayarlaması için bu çalışmada, Balıkesir Akçaldedeşi tepesinde, deniz seviyesinden 642 m yüksekliğe kurulmuş (30 m kule ile birlikte toplam 672 m), C band (5 cm dalgaboyunda), Doppler tipi ve son teknoloji ürünü bir radar olan Balıkesir Radarı seçilmiştir. Bu tez çalışmasında geliştirilen yöntem ve bilgisayar kodları, DMİ'nin işlettiği diğer üç radar için de benzer şekilde uygulanabilir (Şekil 3.3). Balıkesir radarının RAINN ürünü için maksimum menzil olan 120 km'lik kaplama alanı içerisinde 20 adet otomatik istasyon bulunmaktadır. RAINN ürünü için maksimum menzil, tanımlı programda seçilen PRF nedeniyle 120 km'dir. Bu çalışma için seçilen cephesel, uzun süreli (örneğin iki günlük), düzenli ve mümkün olduğu kadar devamlı (fasıllı olmayan) bir yağışın tespit edildiği iki günlük periyot esnasında (24.11.2005 – 25.11.2005) 16 AWOS istasyonu kullanılmıştır. Balıkesir Bölge, Dursunbey, Ezine ve İvrindi istasyonları arızalı oldukları için bu çalışmada kullanılmamıştır (Çizelge 4.3).

3.2.1.1 HV_{min} değerlerinin bulunması

HV_{min}, AWOS üzerindeki bir hedefin radardan görülebileceği minimum yüksekliktir (Gabella and Perona 1998). Bu bilgiyi elde edebilmek için radardaki her bir pikselde topografik yükseklik bilgisinin sayısal olarak bilinmesi gerekmektedir. Bu yüzden sayısal yükseklik haritasına (DEM, Digital Elevation Map) ihtiyaç vardır.

Bir radar ışınının standart kırınım koşulları altında, çeşitli yükseklik açıları ile ulaşabileceği maksimum yükseklik-menzil bilgisine şu denklemden ulaşılabilir (Rinehart 2000):

$$H = \sqrt{r^2 + R'^2 + 2rR' \sin \phi} - R' + H_0 \quad (3.33)$$

r : radar ve ilgili piksel arasındaki mesafe

R' : $4R/3$

R : dünyanın yarıçapı (~6374 km.)

ϕ : radar ışınının yükseklik açısı

H_0 : radarın deniz seviyesinden yüksekliği

HV_{min} değerlerinin elde edilebilmesi için gereken işlemlerin karmaşık olması ve uzun zaman alması nedeniyle bir algoritma geliştirmek ve bu algoritmayı kullanan bir bilgisayar kodu yazmak gerekli olmuştur. Bu algoritmanın adımları şu şekildedir:

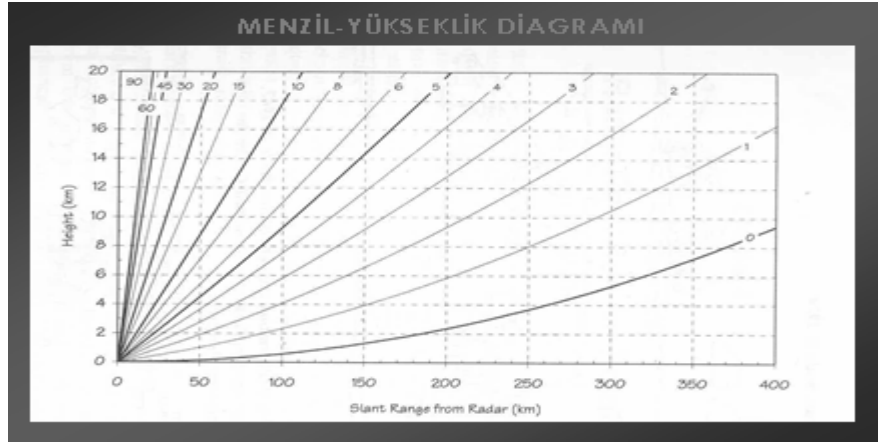
- Bütün AWOS'lar için Radar-AWOS arasındaki her bir 100 metrenin kartezyen koordinatları (X, Y, Z olarak) bulunur (Bölüm 3.2.1.2).
- Bütün AWOS'lar için Radar-AWOS arasındaki bölümün sayısal yükseklik verisi elde edilir (her bir adım arası yaklaşık 90 m). Bu bilgiler, enlem ve boylam cinsinden olduğu için kartezyen koordinatlara dönüştürülür (Bölüm 3.2.1.3).

- Çözünürlük farkından dolayı Radar-AWOS arası her 100 metredeki koordinatlara DEM'deki koordinatlar tam olarak çakışmadığı için birbirine en yakın koordinatlar C# dilinde yazılan bir program sayesinde belirlenir ve DEM'deki bu koordinatların yükseklik bilgisi Radar-AWOS arası her 100 metredeki koordinatların topografik yükseklik bilgisi olarak atanır. Bu bilgisayar kodu, Radar-AWOS arası her 100 metredeki koordinatlar ile DEM'deki tüm koordinatlar arasında tek tek uzaklık ölçümü yapar ve aralarında en küçük fark olan iki koordinatı tespit eder. Bu koordinatlardan DEM'dekinin yüksekliğini diğer noktanın yükseliği olarak tayin eder.
- Radar ışınının her 100 metre menzilde çıkacağı yükseklik ile bu noktaların sayısal topografik yükseklik bilgisi FORTRAN dilinde yazılan bir programla karşılaştırılır.
- Eğer herhangi bir pikselde, sayısal haritadaki yükseklik bilgisi, seçilen yükseklik açısıyla ulaşılabilecek yükseklikten büyükse, bu yükseklik açısı ile AWOS üzerindeki bir hedef görülemiyor demektir. Bu durumda bir sonraki yükseklik açısına bakılır.
- Eğer herhangi bir pikselde, radardan AWOS üzerindeki piksele kadar sayısal haritadaki yükseklik bilgisi seçilen yükseklik açısıyla ulaşılabilecek yükseklikten küçükse bu yükseklik açısı, hedefin görülebileceği minimum yükseklik açısıdır ve eğri üzerindeki yükseklik de HV_{min} yüksekliğidir. Bu sayede radarın kaplama diyagramı da çıkarılabilir.

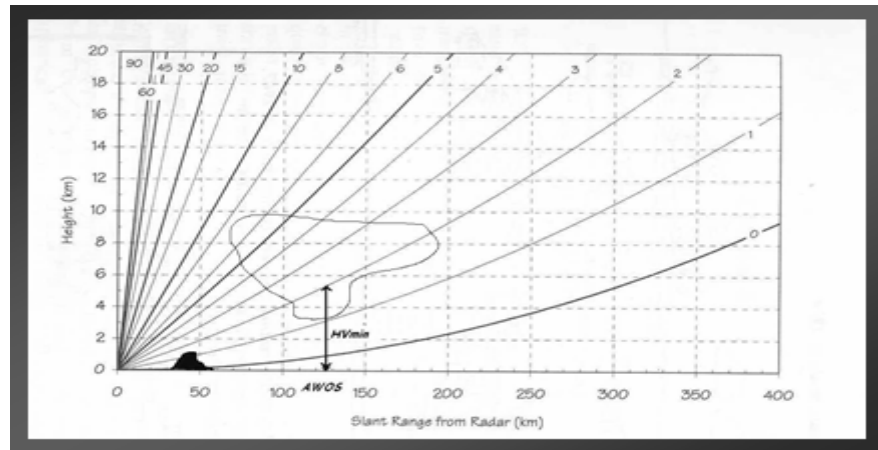
Teorik olarak, geliştirilen bu algoritma ve programlarla radar görüntüsü üzerindeki tüm piksellerin D, HV_{min} ve HG parametreleri ve bu parametreleri kullanarak her bir piksel için tahmini AF değeri belirlenebilir. Fakat, bu işlemlerin çok uzun sürmesi ve çok yüksek performanslı bilgisayar (süper bilgisayar, paralel programlama) gerektirmesi nedeniyle, tahmini AF değerleri bu tez çalışmasında yalnızca AWOS'ların bulunduğu pikseller için tespit edilmiştir. İleride 120 km'lik menzilin değiştirilebileceği

düşünülmektedir. Şekil 3.4’de konumları verilen, radarın 150 km’lik kaplama alanı içerisinde kalan 33 AWOS için değerler tespit edilmiş ve bilgi amacıyla Çizelge 4.1 ve 4.2’de verilmiştir. Balıkesir radarının 150 km’lik kaplama alanı içerisinde kalan AWOS istasyonları için minimum yükseklik açıları EK 1’de, bu 33 istasyon için farklı birçok açıda ulaşılabilecek HV_{min} yüksekliklerini gösteren bir çizelge de EK 2’de verilmiştir. Radar tarama programında kullanılan açılara göre EK 1 ve EK 2’de verilen bilgiler kullanılarak, istenilen her AWOS için HV_{min} değeri bulunabilir. Bu 33 piksel için HV_{min} parametrelerinin bulunması, yüksek işlemcili kişisel bir bilgisayarın sadece bu amaçla çalıştırılmasına rağmen yaklaşık 1 gün sürmüştür. Dolayısıyla 720x720 çözünürlükte bir radar görüntüsündeki 518400 piksel için sonuçlar ancak süper bilgisayarlar kullanılarak bulunabilir. Bu tekniğin süper bilgisayarlar ile birlikte kullanılması ile ileride radardan tüm radar piksellerine doğru yollar üzerinde olan tüm pikseller için aynı işlemler gerçekleştirilip, her bir radar pikseli için D, HV_{min} ve HG parametreleri belirlenebilir. Radar görüntüsündeki herhangi bir piksel için, DEM kullanılarak HG ve D parametrelerine ulaşmak mümkündür. Tüm piksellere iyileştirme yapabilmek için eksik olan tek parametre, yukarıda anlatılan nedenlerle HV_{min} parametresidir. Balıkesir radarının 120 km’lik kaplama alanı içerisinde bulunan 16 AWOS istasyonundan 15’i için minimum yükseklik açısı 0,2°’dir. Bu nedenle gelecekte süper bilgisayarlarla her bir radar pikseli için HV_{min} parametresi belirleninceye kadar, AWOS noktaları için bulunan minimum yükseklik açıları, topografya görüntüsü ve DEM kullanılarak, AWOS noktaları dışında kalan pikseller için yaklaşık HV_{min} değerleri atanabilir (Şekil 3.5). Şekil 3.6, Balıkesir Radarı’nı merkez kabul eden 240x240 km²’lik alanın içerisinde bulunan tüm pikseller için HV_{min} dağılımını vermektedir. AWOS istasyonları kullanılarak bulunan AF fonksiyonuna, iyileştirilmek istenen pikselin D, HV_{min} ve HG değerleri değişken olarak girildiğinde, istenilen tüm radar pikselleri için tahmini AF parametresi belirlenip iyileştirme denenebilir. Bu amaçla mevcut radar yazılımı üzerinde operasyonel olarak çalışan ve RAINN ürününe iyileştirme yapan SCR (Statistically Corrected Rain) isimli bir radar ürünü geliştirilmiştir (Bölüm 3.3). Şekil 3.1’de radardan çeşitli yükseklik açılarıyla, çeşitli mesafelerde ulaşılabilecek yükseklik bilgisini veren menzil-yükseklik diyagramı ve Şekil 3.2’de ise Radar-AWOS arasında topografik bir engel olması durumunda AWOS üzerindeki meteorolojik bir hedefin

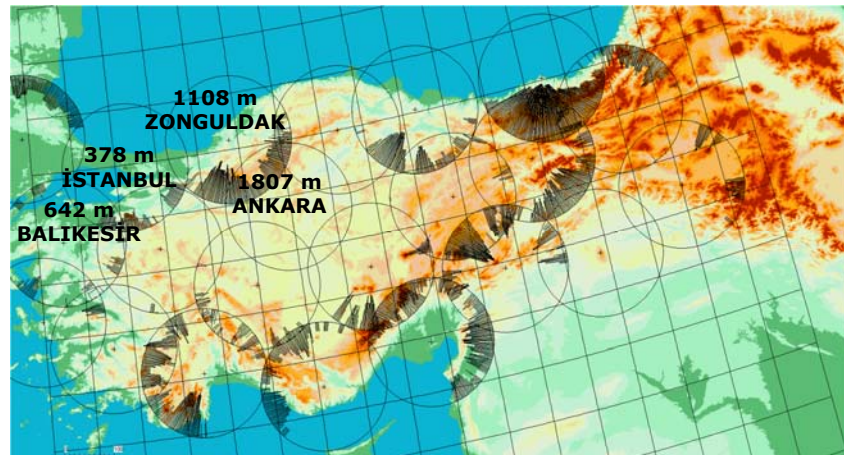
radardan görülebileceği minimum yükseklik HV_{min} ve minimum yükseklik açısının temsili durumu gösterilmiştir.



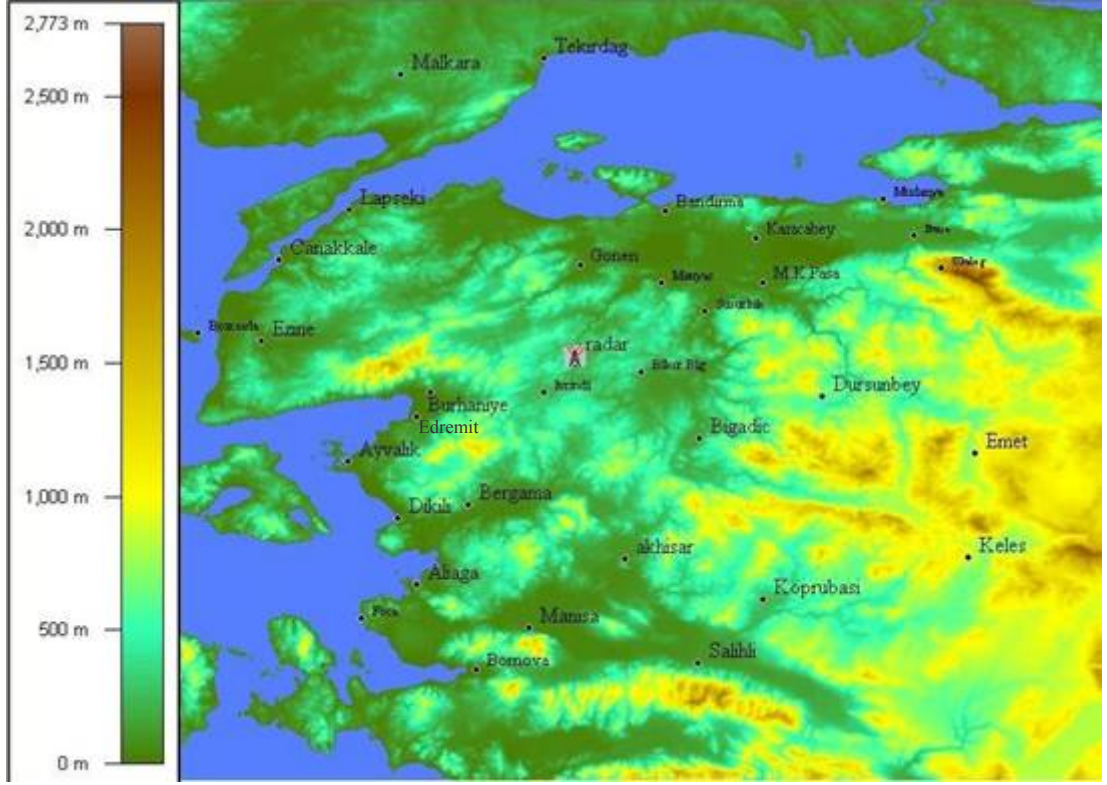
Şekil 3.1 Radar Menzil-Yükseklik Diyagramı



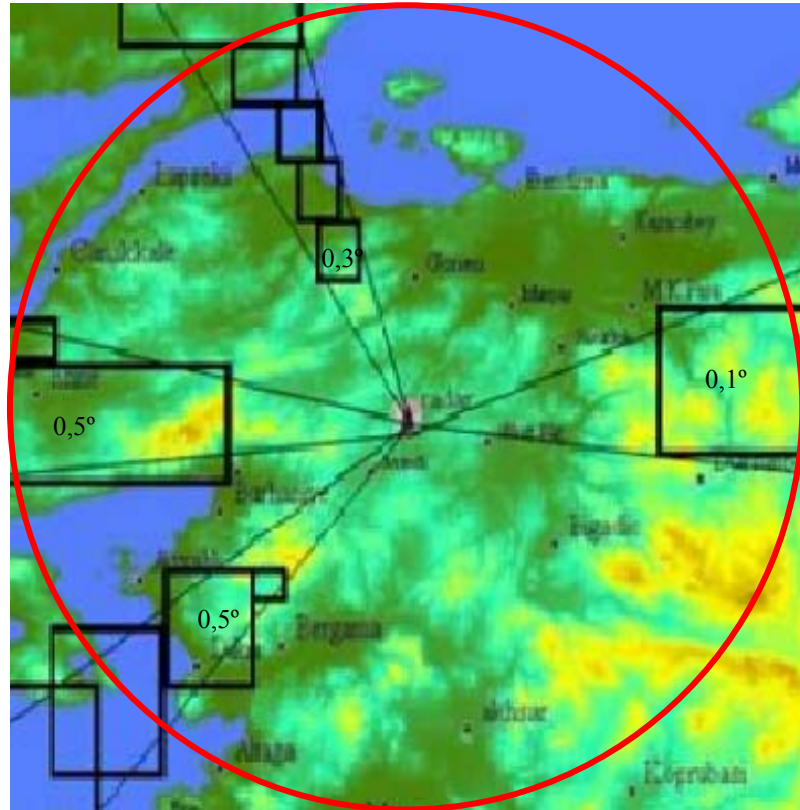
Şekil 3.2 Radar-AWOS arasında topografik bir engel olması durumunda AWOS üzerindeki meteorolojik bir hedefin radardan görülebileceği minimum yükseklik (HV_{min}) ve minimum yükseklik açısı



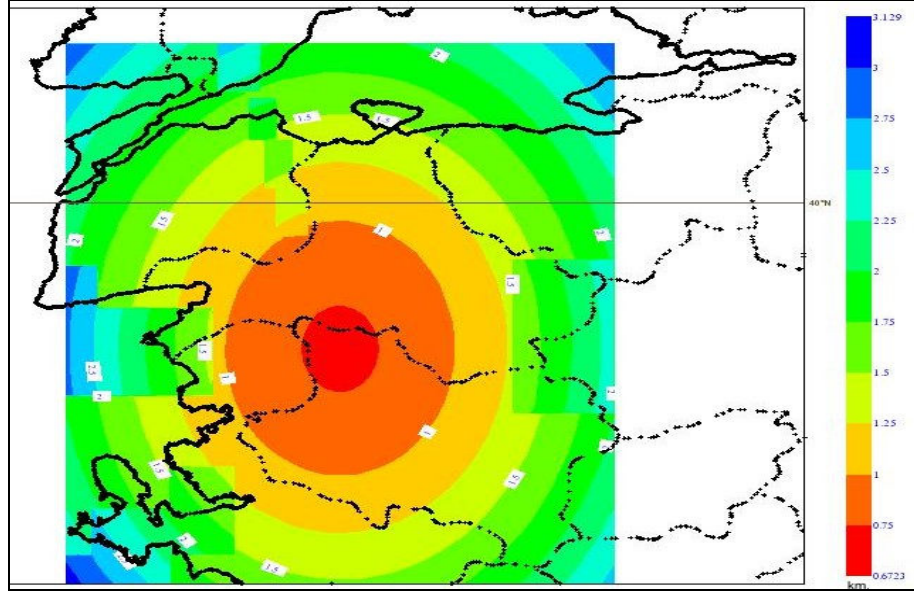
Şekil 3.3 Türkiye Radar Şebekesi



Şekil 3.4 Balıkesir Radarı'nın 150 km'lik kaplama alanı içerisinde bulunan AWOS'ların konumları



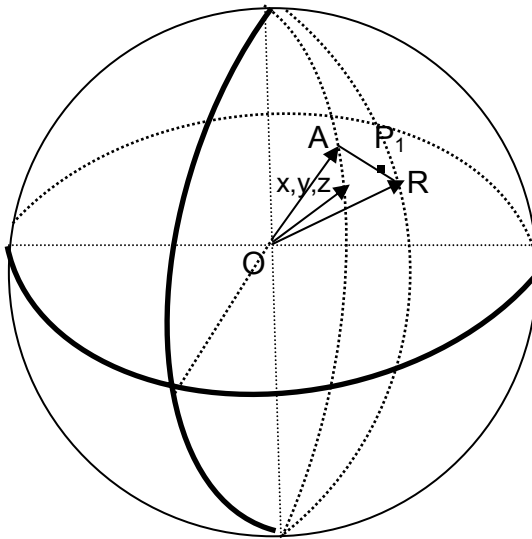
Şekil 3.5 Balıkesir Radarı'nı merkez kabul eden 240x240 km²'lik alanın içerisinde bulunan bazı bölgeler için belirlenen alanların yaklaşık minimum yükseklik açısı değerleri



Şekil 3.6 Balıkesir Radarı'nı merkez kabul eden 240x240 km²'lik alanın içerisinde bulunan tüm pikseller için HV_{min} dağılımı

3.2.1.2 Radar-AWOS arasında 100 metre aralıklı bölmelerin koordinatlarının bulunması

Radardan herhangi bir AWOS'a doğru yönelmiş çembersel yol üzerindeki ilk yüzüncü ve daha sonra da ardışık yüz metre aralıklı noktaların koordinatlarının hesaplanabilmesi amacıyla aşağıdaki şekil çizilmiştir:



Şekil 3.7 Dünyanın merkezine göre Radar ve AWOS konumu

Şekilde Balıkesir radarı R, AWOS'lerden herhangi biri A ile gösterilmiş olup ilk yüzüncü metrenini koordinatları da aşağıdaki gibi alınmıştır:

$$\begin{aligned}
 \text{Radar} : (x_R, y_R, z_R) \\
 \text{AWOS} : (x_A, y_A, z_A) \\
 100.\text{metre} : (x_1, y_1, z_1) \\
 r = r_{dünya}
 \end{aligned} \tag{3.34}$$

ORA düzleminin denklemi : Önce O, R ve A noktalarınca belirlenen düzlemin denklemini yazalım. Bu düzleme dik, birim boylu vektör şu şekilde bulunur :

$$\begin{aligned}
 \hat{n} &= \frac{\overrightarrow{OR} \times \overrightarrow{OA}}{|\overrightarrow{OR}| |\overrightarrow{OA}|} = \frac{\begin{vmatrix} \hat{i} & \hat{j} & \hat{k} \\ x_R & y_R & z_R \\ x_A & y_A & z_A \end{vmatrix}}{r \cdot r} \\
 &= \frac{\{ \hat{i}(y_R z_A - z_R y_A) + \hat{j}(z_R x_A - x_R z_A) + \hat{k}(x_R y_A - y_R x_A) \}}{r^2} \\
 &= n_x \hat{i} + n_y \hat{j} + n_z \hat{k}
 \end{aligned} \tag{3.35}$$

$$n_x = \frac{y_R z_A - z_R y_A}{r^2} \tag{3.36}$$

$$n_y = \frac{z_R x_A - x_R z_A}{r^2} \tag{3.37}$$

$$n_z = \frac{x_R y_A - y_R x_A}{r^2} \tag{3.38}$$

$$\begin{aligned}
 (\overrightarrow{OX} - \overrightarrow{OA}) \perp \hat{n} \\
 \Rightarrow [(x - x_A)\hat{i} + (y - y_A)\hat{j} + (z - z_A)\hat{k}] \cdot \hat{n} = 0
 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow n_x x + n_y y + n_z z - n_x x_A - n_y y_A - n_z z_A = 0$$

$$a = -(n_x x_A + n_y y_A + n_z z_A)$$

$$\Rightarrow n_x x + n_y y + n_z z + a = 0 \quad (3.39)$$

$$\overrightarrow{OR} \times \overrightarrow{OP_1} = |\overrightarrow{OR}| |\overrightarrow{OP_1}| \cos \theta$$

$$\Rightarrow (x_R \hat{i} + y_R \hat{j} + z_R \hat{k}) \cdot (x_1 \hat{i} + y_1 \hat{j} + z_1 \hat{k}) = r.r. \cos \theta \quad (3.40)$$

$$\Rightarrow x_R x_1 + y_R y_1 + z_R z_1 = r^2 \cos \theta \quad (3.41)$$

Radardan AWOS'a doğru 100 m uzaklıktaki bir nokta için:

$$\theta = \frac{360^\circ \cdot 100m.}{2\pi \cdot r_{dünya}} \quad (3.42)$$

$$r_{dünya} = 6378140m.$$

$$\Rightarrow \theta = 9,851 \times 10^{-7} \text{ radyan}$$

$$= 8,983130444 \times 10^{-4} \text{ derece}$$

Bu işlemlerin sonucunda aşağıdaki 3 eşitlik elde edilir:

$$n_x x + n_y y + n_z z + a = 0 \dots\dots\dots(1)$$

$$x_R x_1 + y_R y_1 + z_R z_1 = r^2 \cos \theta \dots\dots\dots(2) \quad (3.43)$$

$$x_1^2 + y_1^2 + z_1^2 = 0 \dots\dots\dots(3)$$

Bu 3 denklem kümesinin birlikte çözülmesi ile aşağıdaki bağıntılar elde edilir:

$$x_1 = \frac{-(n_y y_1 + n_z z_1 + a)}{n_x} \quad (3.44)$$

$$b = -\frac{x_R n_y}{n_x} + y_R \quad (3.45)$$

$$c_1 = \frac{x_R n_z}{n_x} - z_R \quad (3.46)$$

$$c_2 = \frac{x_R a}{n_x} + r^2 \cos \theta \quad (3.47)$$

$$d_1 \equiv \frac{c_1}{b} \quad (3.48)$$

$$d_2 \equiv \frac{c_2}{b} \quad (3.49)$$

$$y_l = d_l z_l + d_2 \quad (3.50)$$

$$e_1 \equiv \frac{n_y d_1 + n_z}{n_x} \quad (3.51)$$

$$e_2 \equiv \frac{n_y d_2 + a}{n_x} \quad (3.52)$$

$$\alpha = e_1^2 + d_1^2 + 1 \quad (3.53)$$

$$\beta = 2e_1 e_2 + 2d_1 d_2 \quad (3.54)$$

$$\gamma = e_2^2 + d_2^2 - r^2 \quad (3.55)$$

$$\Rightarrow \alpha z_1^2 + \beta z_1 + \gamma = 0 \quad (3.56)$$

$$\Rightarrow z_l = \frac{-\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}}{2\alpha} \quad (3.57)$$

Eğer AWOS Radarın kuzeyinde ise,

$$Z_A > Z_R \Rightarrow Z_1 > Z_R \quad (3.58)$$

Eğer AWOS Radarın güneyinde ise,

$$Z_A < Z_R \Rightarrow Z_1 < Z_R \quad (3.59)$$

3.2.1.3 Sayısal haritadaki enlem ve boylam bilgilerinin kartezyen koordinatlara dönüştürülmesi ve birbirlerine en yakın piksellerin bulunması

X_A , Y_A , Z_A AWOS'ların kartezyen koordinatları, E_D , B_D sayısal haritadaki derece ve dakika cinsinden enlem ve boylam değerleri, X_D , Y_D , Z_D ise enlem ve boylam bilgilerinin kartezyen koordinatlara dönüştürülmüş hali olmak üzere aşağıdaki dönüşümler tanımlanabilir:

$$X_D = \cos(E_D * \frac{\pi}{180}) * \cos(B_D * \frac{\pi}{180}) * R_{dünya} \quad (3.60)$$

$$Y_D = \cos(E_D * \frac{\pi}{180}) * \sin(B_D * \frac{\pi}{180}) * R_{dünya} \quad (3.61)$$

$$Z_D = \sin(E_D * \frac{\pi}{180}) * R_{dünya} \quad (3.62)$$

$$fark(F_i) = \sqrt{(X_{A_i} - X_{D_i})^2 + (Y_{A_i} - Y_{D_i})^2 + (Z_{A_i} - Z_{D_i})^2} \quad (3.63)$$

3.2.1.4 Radar verilerinin elde edilmesi

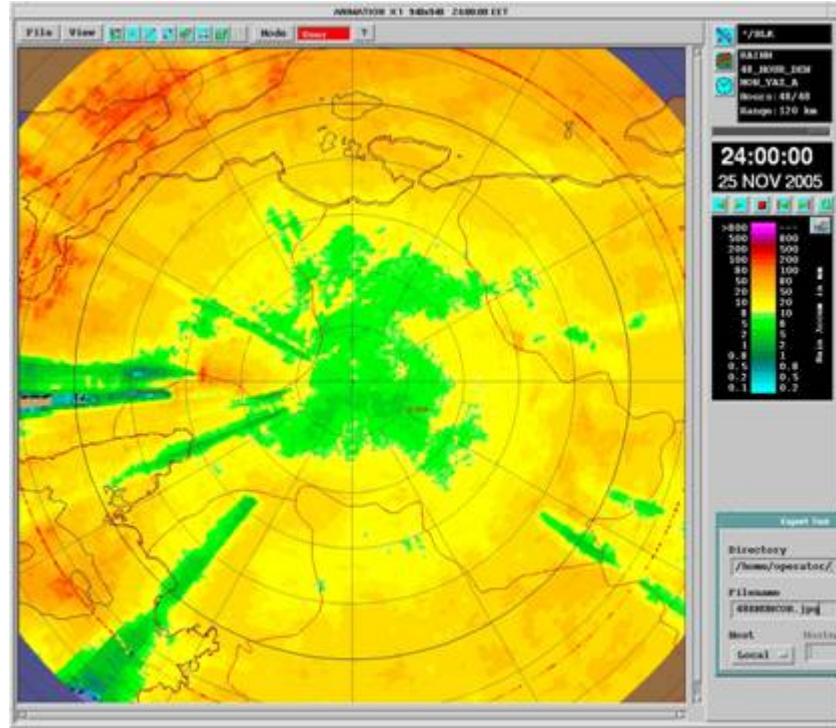
Bu çalışmada kullanılan radar verisi için, Doppler süzgeçleme tekniği ile hatalı ekolardan (clutter) arındırılmış RAIN1 ürünleri kullanılmıştır. 24.11.2005 ve 25.11.2005 tarihleri arasındaki toplam 48 saatlik RAIN1 değerleri, AWOS'ların aynı periyota ait saatlik değerleri ile birlikte alınmıştır. Radar yağış verilerinin elde edilmesi için IDL yazılımı dilinde bir bilgisayar kodu geliştirilmiştir. Bu kod yardımıyla AWOS koordinatlarının bulunduğu pikseller tespit edilerek bu pikselin komşuluğundaki 8 piksel ile beraber toplam 9 pikselin yağış değerlerinin ortalaması alınmıştır. Matrisin (0;0) noktası sol alt köşe alınarak, istasyonlar için elde edilen piksel koordinatları EK 3'de verilmiştir. Ortalama değer hesaplanırken 0 (sıfır) olan değerler hesaba katılmamıştır. Yapılan incelemelerde bu 9 değer birbirine ve ortalama değerlere oldukça yakın olduğu görülmüş, ortalamaı etkileyecek aykırı değerlere rastlanmamıştır (EK 4). 240x240 km²'lik ve 720x720 çözünürlükteki bir alan içerisinde 9 piksel yaklaşık 1 km²'lik alanı ifade etmektedir.

3.3 SCR Ürünü

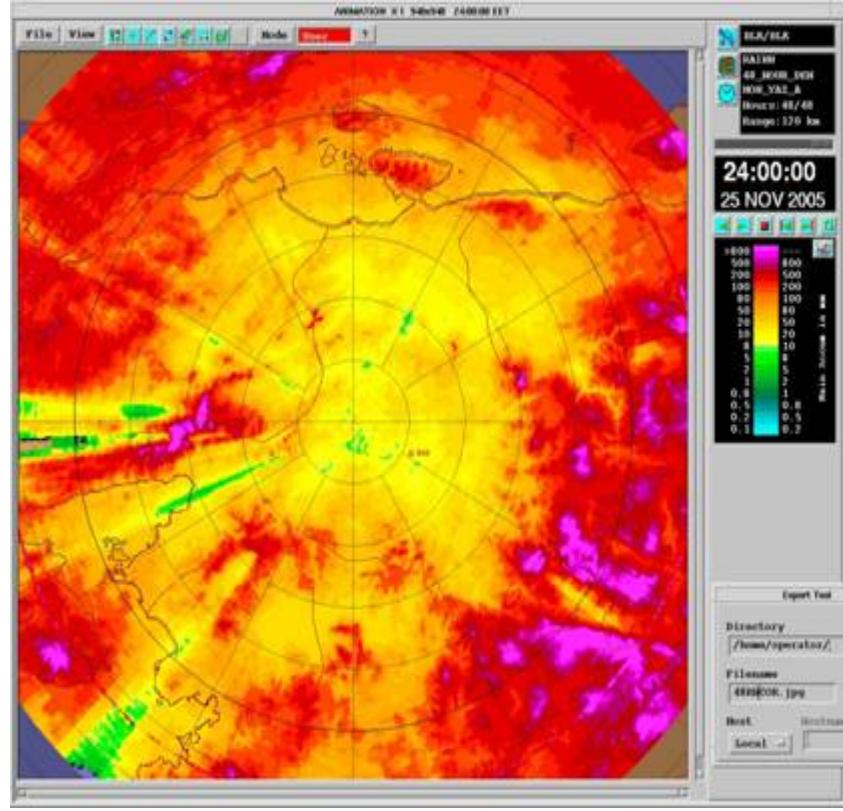
SCR (Statistically Corrected Rain) ürünü, mevcut Balıkesir radarı yazılımı olan ve bu tez çalışması kapsamında geliştirilerek Amerikan SIGMET firmasının IRIS yazılımı üzerinde operasyonel olarak çalışan bir radar ürünüdür.

SCR ürünü, 720x720 çözünürlükte ve 120 km'lik maksimum menzildeki RAINN ürünlerine iyileştirme yapmak amacıyla geliştirilmiştir. Bu sayede, istatistiksel analizler sonucu geliştirilen regresyon denklemi kullanılarak toplam yağış ürünlerinin iyileştirilmesi hedeflenmiştir. Bu amaçla sayısal yükseklik haritası kullanılarak, Balıkesir radarının 120 km'lik kaplama alanı olan 240x240 km²'lik alanın 720x720 çözünürlükteki yükseklik değerleri (HG) matris olarak elde edilmiştir. Boylamlar arasındaki mesafe yukarı enlemlere doğru azaldığı için x ve y eksenindeki piksel aralıkları buna göre belirlenmiştir. Bu piksel aralıkları ve köşe koordinatları yardımıyla, bir FORTRAN bilgisayar kodu kullanılarak her bir pikselin enlem ve boylamı ile radara olan uzaklıkları tespit edilmiştir. Uzaklık değerlerinin logaritması alınarak yine

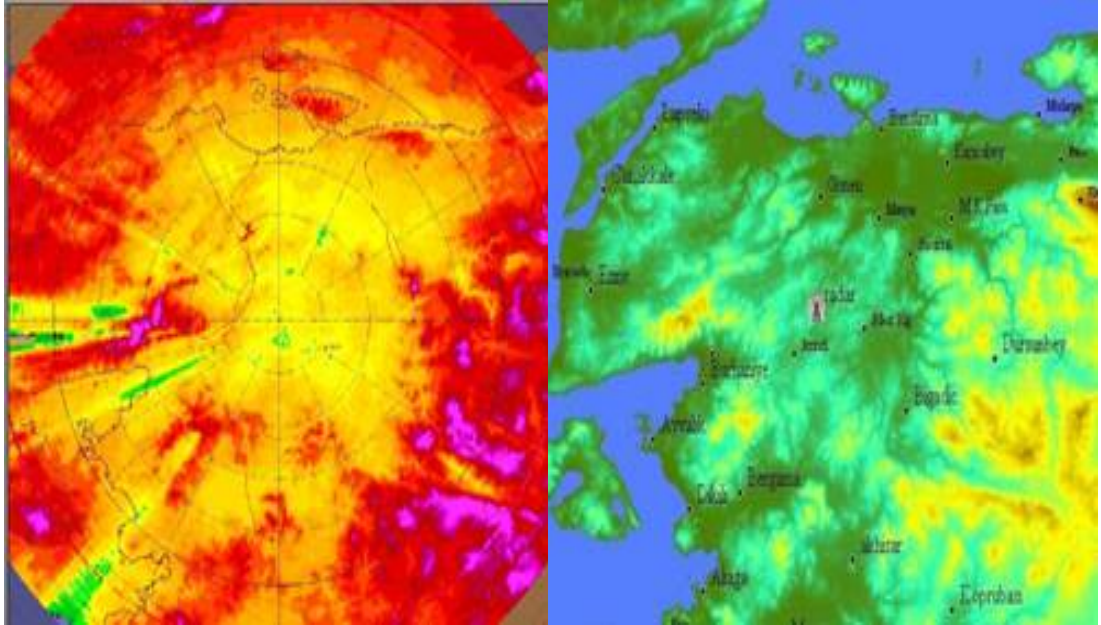
720x720 çözünürlükte log D matrisi oluşturulmuştur. Bölüm 3.2.1.1'in son paragrafında anlatıldığı üzere, Şekil 3.4 ölçeklendirilerek bazı bölgelerin koordinatları belirlenip bu koordinatlar arasında kalan bölgelerin yaklaşık minimum yükseklik açıları ve bu açıları kullanarak HV_{min} değerleri bulunmuştur (Şekil 3.5). Bu üç matrisdeki parametreler ve Balıkesir radarı için belirlenen AF fonksiyonu kullanılarak her bir radar pikseli için tahmini AF değerleri belirlenmiştir. Radar görüntüsü içindeki her bir pikselin tahmini AF değeri ve radar yağışı okunarak, iyileştirilmiş tahmini radar yağışı (R_t) bulunur (Denklem 3.32). Şekil 3.8'de iyileştirilmemiş RAIN48 ürünü, Şekil 3.9'da bu ürünün iyileştirilmiş hali olan SCR ürünü verilmiştir. Şekil 3.10 ise topografik harita ile SCR ürününün görsel karşılaştırılmasını göstermektedir.



Şekil 3.8 24.11.2005 ve 25.11.2005 tarihleri arasında alınan 48 saatlik yağış toplamını veren iyileştirilmemiş RAIN48 ürünü



Şekil 3.9 24.11.2005 ve 25.11.2005 tarihleri arasında alınan 48 saatlik yağış toplamının iyileştirilmiş halini veren SCR ürünü



Şekil 3.10 Topografik harita ile SCR ürününün görsel karşılaştırılması

3.4 MM5 Tahminlerinin KA9 Yazılımı ile İyileştirilmesi

MM5 modelinin 48 saatlik sıcaklık, rüzgar yön ve hızı (vektörel), rüzgar hızı (skaler), yağış, deniz seviyesine indirgenmiş basınç ve nem tahminlerine istatistiksel iyileştirme yapmak amacıyla “Ağırlıklı En Küçük Kareler (LSF)” ve “Ortalama Hata Düzeltmesi (RMBC)” yöntemleri kullanılarak C# dilinde yazılan KA9 adı verilen bir yazılım getirilmiştir.

LSF yönteminde, KA9 manüel ve otomatik olarak çalıştırılabilir. Manüel seçim modunda tarihsel veri kümesi için gün sayısı ve polinom derecesi kullanıcı tarafından seçilebilir. Otomatik modda ise, tahmini yapılacak günün seçilmesiyle birlikte, bu tarihe göre daha önceden belirlenmiş olan tarihsel veri kümesi için gün sayısı ve polinom derecesi otomatik olarak atanır (Çizelge 3.1).

Manüel modda polinom derecesi için yapılan denemelerde 3. derece ile yapılan regresyonun istasyonların bir çoğu için daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Bu nedenle otomatik modda varsayılan polinom derecesi 3 olarak belirlenmiştir. Otomatik modda tarihsel veri kümesindeki gün sayısının seçiminde ise mümkün olduğu kadar aynı meteorolojik özellikleri gösteren günlerin seçilmesine çalışılmıştır. Doğru bir iyileştirme için, tarihsel veri kümesi ile kurulan regresyon eğrisi yeni tahminleri iyi temsil etmelidir.

Çizelge 3.1 Otomatik mod seçildiğinde tarihsel veri kümesi için gün sayısı

1 OCAK - 15 OCAK	30
16 OCAK - 31 OCAK	30
1 ŞUBAT - 15 ŞUBAT	30
16 ŞUBAT - 29 ŞUBAT	30
1 MART - 15 MART	20
16 MART - 31 MART	15
1 NISAN - 15 NISAN	15
16 NISAN - 30 NISAN	15
1 MAYIS - 15 MAYIS	20
16 MAYIS - 31 MAYIS	30
1 HAZİRAN - 15 HAZİRAN	15
16 HAZİRAN - 30 HAZİRAN	20
1 TEMMUZ - 15 TEMMUZ	30
16 TEMMUZ - 31 TEMMUZ	30
1 AĞUSTOS - 15 AĞUSTOS	30
16 AĞUSTOS - 31 AĞUSTOS	30
1 EYLÜL - 15 EYLÜL	20
16 EYLÜL - 30 EYLÜL	15
1 EKİM - 15 EKİM	15
16 EKİM - 31 EKİM	15
1 KASIM - 15 KASIM	20
16 KASIM - 30 KASIM	30
1 ARALIK - 15 ARALIK	20
16- ARALIK - 31 ARALIK	30

KA9 yazılımı, MM5 modelinin saatlik tahminleriyle aynı parametreye ait eş zamanlı gerçekleşen değerler arasında bir zaman serisi oluşturur ve bu verileri kullanarak regresyon analizi yapar. Tarihsel zaman serisini en iyi temsil eden denklemin sabitleri bulunarak regresyon denklemi belirlenir. MM5 modelinin T+48 tahminleri bu denklemin değişkeni yerine girilir ve her saat için iyileştirilmiş sonuçlar elde edilir. Bu tahminler arasından maksimum ve minimum değerler de bulunarak tablo üzerinde gösterilir.

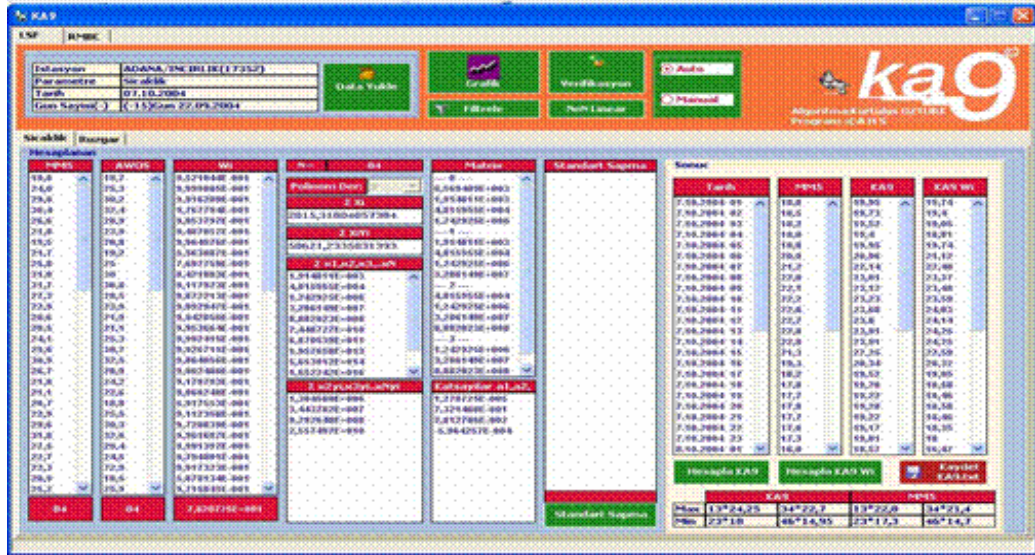
KA9 her tarihsel veri için varyans hesabı yaparak kuartil, MM5 ve AWOS ağırlık katsayılarını hesaplayarak, aykırı verilerin regresyona etkisini azaltır ve ağırlıklı KA9 tahminlerini yapar. Yazılımın grafik bileşeni sayesinde, yapılan tahmin ve iyileştirmelerle gerçekleşen değerler arasında grafiksel karşılaştırma yapabilme özelliği de bulunmaktadır.

Ortalama Hata Düzeltme (RMBC) yönteminde ise, tahmin yapılacak günün seçilmesiyle, KA9 bu tarihten 7 gün geriye giderek her günün aynı saati için MM5 tahmin verileriyle gerçekleşen değerler arasındaki ortalama hatayı hesaplar. Bu değerleri aynı saatler için yapılan yeni tahmin değerlerine ekler veya çıkarır. Sonuç olarak iyileştirilmiş tahmin değerleri bulunur. Bu yöntem sıcaklık, basınç, nem ve rüzgar hızı parametrelerine uygulanabilir. Yalnız, rüzgar hızı negatif bir değer alamayacağı için negatif değerler 0 (sıfır) olarak değiştirilir.

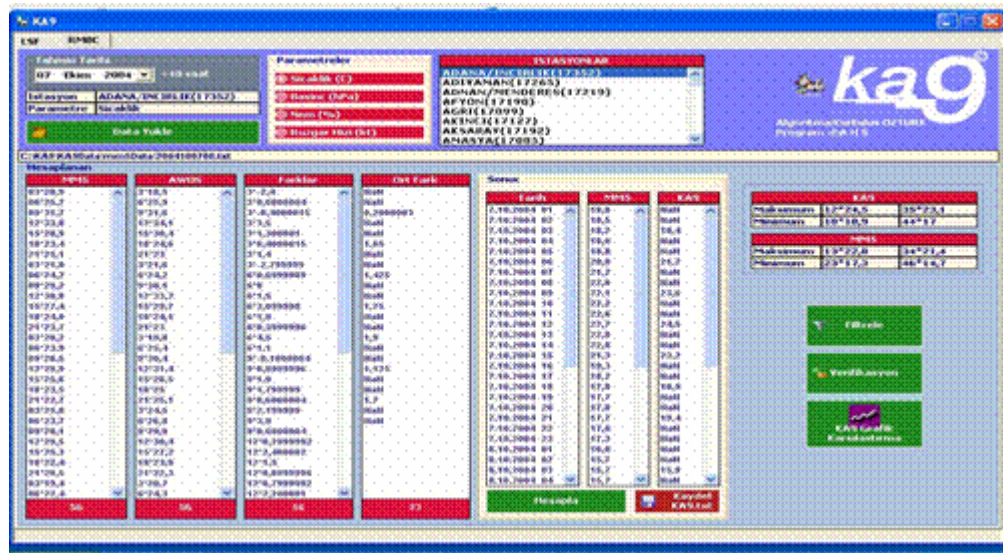
RMBC yönteminde, örneğin KA9'un 24.06.2004, 12:00GMT tahmini için, bu tarihten 7 gün geriye giderek 12:00 GMT'deki MM5 tahmin verileriyle gerçekleşen değerler arasındaki 7 günlük ortalama hata hesaplanır. Çıkan sonuç 24.06.2004 MM5 12:00GMT tahminine eklenir veya çıkarılır. Bu işlem 48 saatlik her saat tahmini için seçilen tarihe göre KA9 tarafından otomatik olarak hesaplanır.

Gerçekleşen değerler için AWOS verileri kullanılmıştır. AWOS verileri, hem saatlik elde edilebilir olması hem de insan faktörünün sistematik olmayan hatalarını içermemesi nedeniyle tercih edilmiştir. İl, ilçe ve hava meydanlarında kurulu olan toplam 57 AWOS verisi kullanılarak, saatlik MM5 tahminlerine KA9 vasıtasıyla

iyileştirme yapmak mümkün olmuştur. Her 3 saatte bir manüel yöntemle ölçüm yapan 32 istasyon ile birlikte toplam 89 istasyona şu an itibariyle KA9 uygulanabilmektedir. Şekil 3.11'de KA9'un LSF arayüzü, Şekil 3.12'de ise KA9'un RMBC arayüzü görünümü verilmiştir:



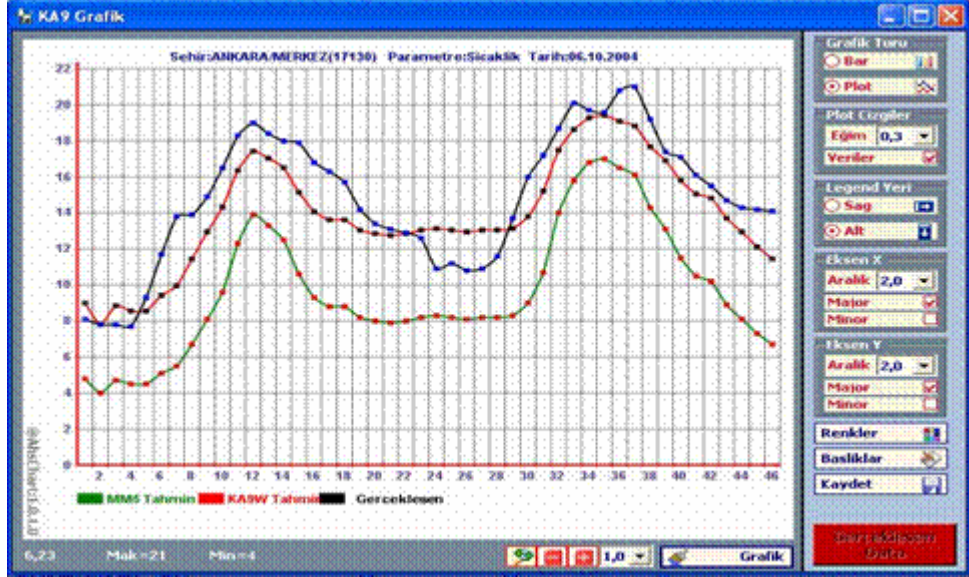
Şekil 3.11 KA9 LSF Arayüzü



Şekil 3.12 KA9 RMBC Arayüzü

KA9 grafik arayüzü sayesinde, MM5 tahminleri, iyileştirilen KA9 tahminleri ve tahmin gününe ait gerçekleşen değerler grafiksel olarak karşılaştırılabilir (Şekil 3.13). MM5 ve KA9 tahminlerinin karşılaştırılması, içinde bulunan gün yapılabilecekken, üç

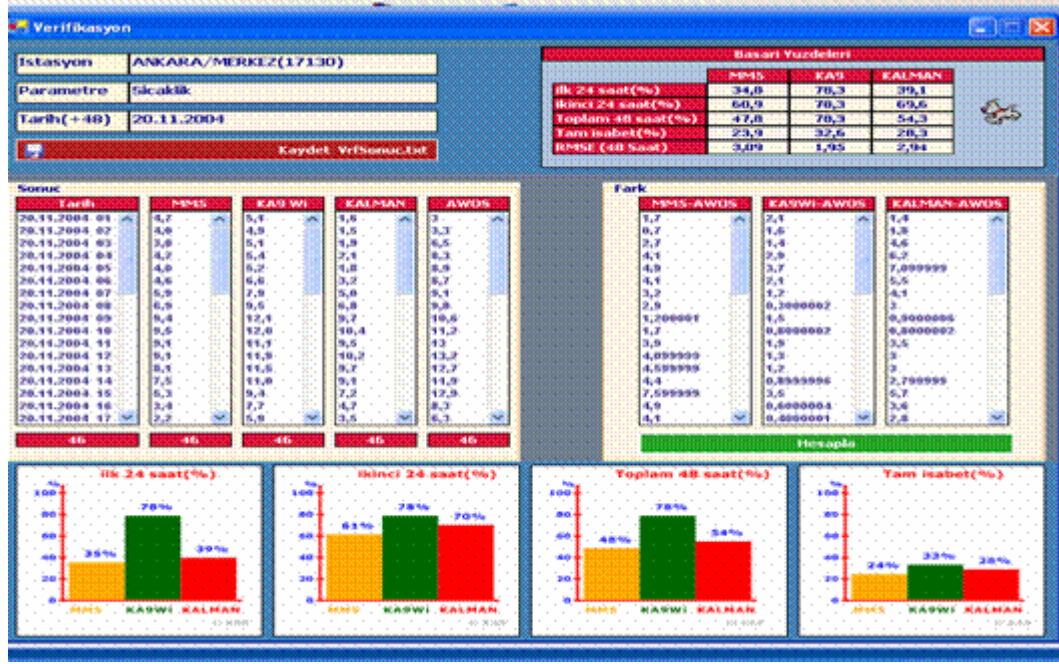
parametrenin karşılaştırılması, doğal olarak gerçekleşen değerlerin veri tabanına ulaşmasıyla mümkün olacaktır. Yani, içinde bulunulan günden en erken iki gün öncesi için üç değerin karşılaştırılması yapılabilecektir.



Şekil 3.13 KA9 Grafik Arayüzü

KA9 programında, MM5, KA9, Kalman (sadece sıcaklık) tahminleri ile gerçekleşen değerler arasındaki farkları baz alan bir verifikasyon özelliği de mevcuttur. Sıcaklık için ± 2 °C, basınç için $\pm 1,5$ hPa, nem için $\pm \%10$, rüzgar hızı için ± 5 kt limitleri içerisindeki farklar başarılı, Sıcaklık için ± 1 °C, basınç için $\pm 0,5$ hPa, nem için $\pm \%5$, rüzgar hızı için ± 3 kt limitleri içerisindeki farklar ise tam isabet kabul edilmiştir.

MM5, KA9 ve Kalman yöntemleri için başarı yüzdeleri, hata, ortalama hata ve RMSE değerleri hesaplanır ve grafikleri çizilir (Şekil 3.14). Bu işlem için de gerçekleşen verilere ihtiyaç duyulduğundan, içinde bulunulan günden en erken iki gün öncesi işlevsel olacaktır.



Şekil 3.14 KA9 Verifikasyon Arayüzü

Hatalı ya da “boş (null)” olan dosyalar tarihsel zaman serisinden otomatik olarak çıkarılır. Çıkarılan dosya ile aynı saatte olan, yani bu dosyanın karşılığı olan dosya da seriden aynı anda çıkarılır.

Satır ve sütun kaymaları, eksik veriler nedeniyle seriler içerisine yanlış değerlerin girişini engellemek amacıyla her parametre için eşik değerleri belirlenmiştir. “Filtrele” fonksiyonu yardımıyla sıcaklık için -50 ve +50 °C, basınç için 800 ve 1100 hPa, rüzgar yönü için 0 ve 360°, rüzgar hızı için 0 ve 100 knot, nem için 0 ve 100 arasında olmayan değerler ve bu değerlere karşılık gelen gözlem değeri birlikte seriden çıkarılır.

Rasgele seçilen istasyonlar için yapılan değerlendirmeler sonucunda bazı istasyonlar için MM5 tarafından yapılan tahminlerin iyileştirme ihtiyacı duymayabileceği, bazılarında Kalman filtrelemesinin iyi sonuçlar verdiği, büyük bir bölümde de KA9’un kullandığı istatistiksel yöntemlerin başarılı olduğu görülmüştür. Bu nedenle program sonuçlarının operasyonel olarak kullanılabilmesi için, herhangi bir istasyona yapılacak iyileştirmenin hangi yöntemle yapılması gerektiğinin bilinmesi gereklidir. Üstelik bu yöntemler, aynı istasyon için farklı tarihlerde değişiklik gösterebilir. Bu sorunun çözülmesi için şöyle bir yöntem tavsiye edilmiştir: KA9 her gün zamanlanmış bir saatte

otomatik olarak çalışacak, 1. dereceden 5. dereceye kadar WLSF yöntemi ve RMBC yöntemi sonuçları ile MM5 ve Kalman tahminlerinin RMSE değerlerini her istasyon için bir dosyada toplayacaktır (Çizelge 3.2). Tahmini yapılacak istasyon için hangi yöntemin RMSE değerlerinin ilgili ay için ortalaması en küçükse, o yöntemin çıktıları iyileştirme değeri olarak kullanılacaktır (Çizelge 3.3). Aylık tutulan dosyaya yeni bir RMSE değeri girdiğinde aylık ortalama RMSE değeri otomatik olarak güncellenerek uygun yöntem belirlenecektir.

Çizelge 3.2 Tüm yöntemlerin günlük RMSE değerlerinin ve aylık ortalama RMSE değerlerinin tutulduğu dosya

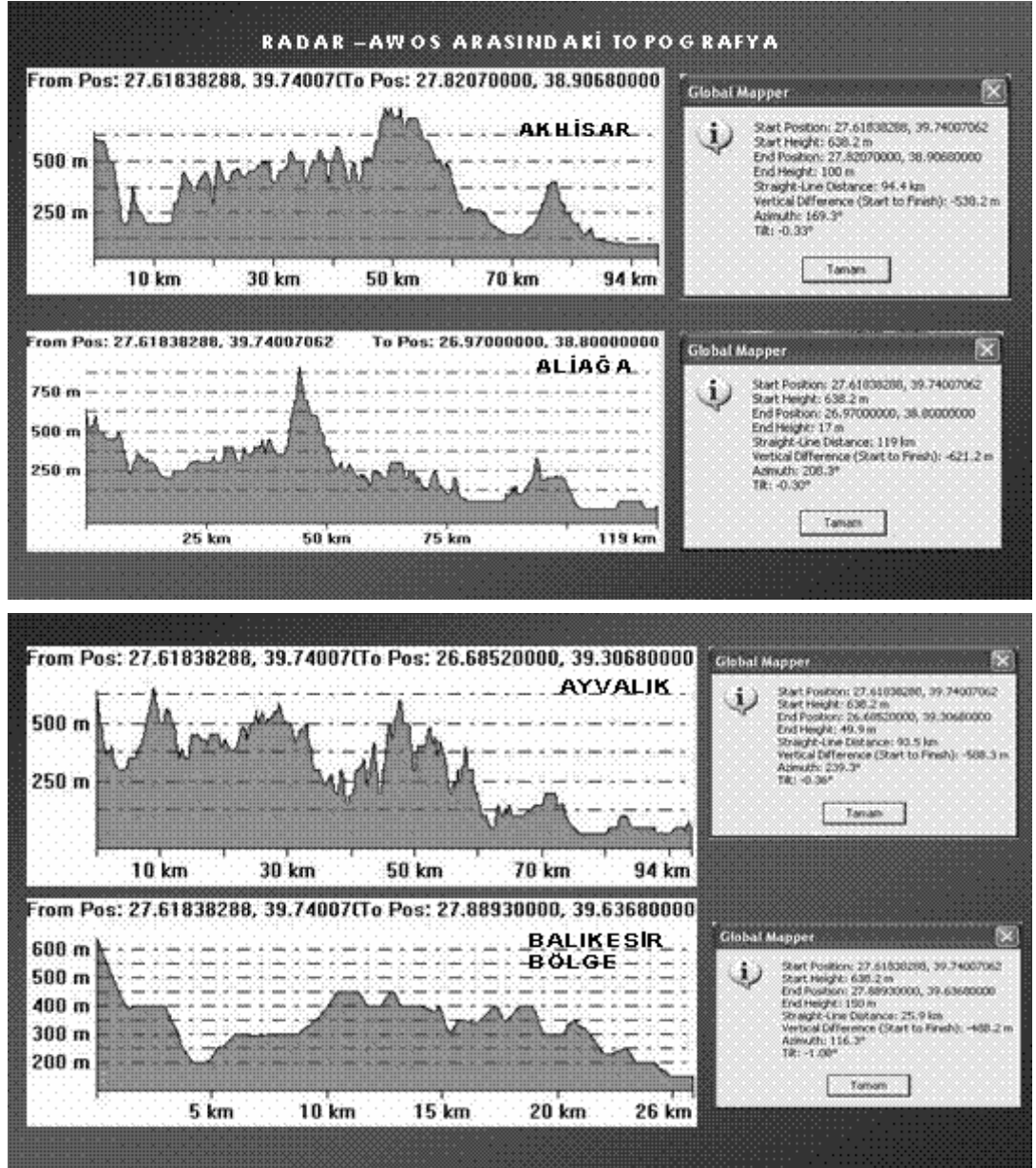
tarih	ka9(1)	ka9(2)	ka9(3)	ka9(4)	ka9(5)	ka9(r)	mm5	kalman
01.10.2004	2,4	3,1	2,5	4,6	5,1	3,2	6,1	2,2
02.10.2004	2,4	4,1	2	5,3	5,7	3,8	7,2	4,3
03.10.2004	2,1	3,5	2,5	4,6	5,2	3,2	3	4,8
04.10.2004	0,8	3,1	2,2	4,8	5,1	4,5	3	4,2
05.10.2004	2,4	3,7	1,3	4,7	5,4	6,9	3,8	1,1
06.10.2004	1,2	3,2	1,3	5,2	3,2	3,2	4	1,9
07.10.2004	3,5	3,1	1,7	3,2	5,1	3,2	4,2	3,2
08.10.2004	2,1	4,3	0,9	4,6	5	3,2	3	4,3
09.10.2004	2,4	3,1	2,5	4,6	5,1	3,2	3	4,3
10.10.2004								
11.10.2004								
12.10.2004								
13.10.2004								
14.10.2004								
15.10.2004								
16.10.2004								
17.10.2004								
18.10.2004								
19.10.2004								
20.10.2004								
21.10.2004								
22.10.2004								
23.10.2004								
24.10.2004								
25.10.2004								
26.10.2004								
27.10.2004								
28.10.2004								
29.10.2004								
30.10.2004								
31.10.2004								
ortalama	2,1	3,5	1,9	4,6	5	3,8	4,1	3,4

Çizelge 3.3 Aylık ortalama RMSE değerlerine göre belirlenmiş istasyonların iyileştirme yöntemleri ve T+48 tahminleri

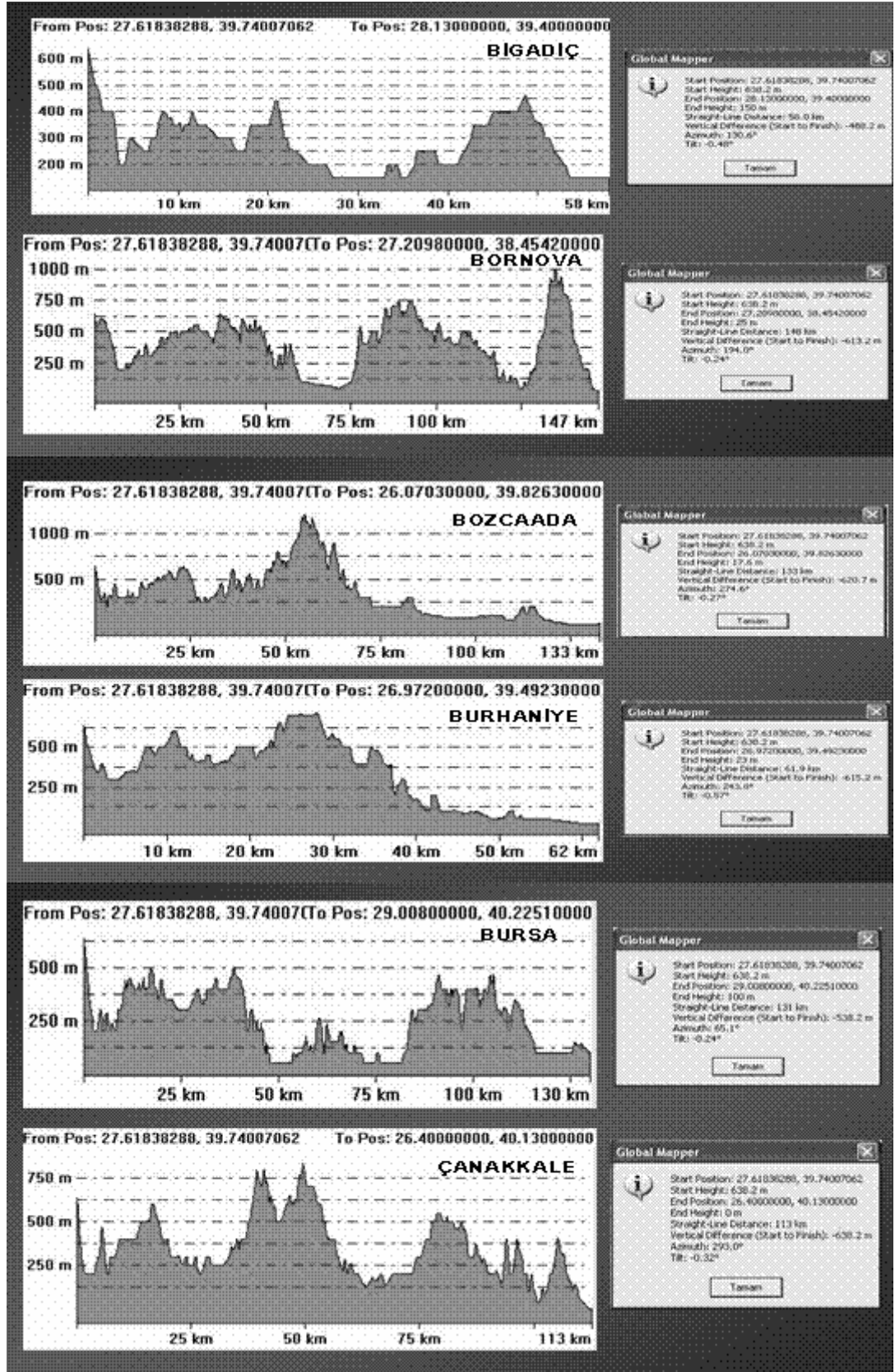
ISTNO	1	2		46	47	48	Yöntem
17020	10,5	10,1		11,9	12	12,1	ka9(3)
17022	15,9	16,1		18	18	18,8	kalman
17026	17,9	18,3		18	17,8	18,2	ka9(4)
17031	12,5	12,5		12,5	12,5	13,3	mm5
17033	12,5	12,5		12,5	12,5	15,9	ka9(3)
17034	18	17,8		17,2	17,5	17,2	ka9(3)
17038	12,5	12,5		12,5	12,5	17,6	ka9(4)
17040	12,5	12,5		12,5	12,5	12,6	kalman
17045	12,5	12,5		12,5	12,5	12,5	mm5
17050	17	16,1		15	14,3	13,5	ka9(1)
17052	14,9	14,4		14,3	13,4	13	kalman
17112	18,5	18		18,7	17,9	17,3	ka9(4)
17114	16,6	16,2		17,1	18	18,1	mm5
17116	14,1	13,8		14,7	14	13,6	ka9(3)
17119	16,1	15,3		15,3	16,4	16,5	ka9(3)
17120	13	12,9		14,5	13,6	13	ka9(4)
17126	11,8	11,3		12,7	11,3	10,7	kalman
17127	10,9	10,2		9,3	8,1	7	mm5
17128	10,2	9,2		8,3	7,2	6,1	ka9(1)
17129	12,5	12,5		12,5	12,5	8,8	kalman
.	.	.		.	.	.	.
.	.	.		.	.	.	.
.	.	.		.	.	.	.
.	.	.		.	.	.	.
17135	16,4	15,5		14	13,1	12,3	ka9(3)
17140	12,5	12,5		12,5	12,5	9,8	ka9(4)
17152	15,6	15,4		18,7	18,2	18	ka9(5)
17155	10,5	9,6		10,1	9,1	8,5	ka9(3)
17160	15,7	15,3		12,7	11,8	11,4	kalman
17165	12,5	12,5		12,5	12,5	14	ka9(4)
17170	15,4	12,5		15,9	15,3	14,3	mm5
17186	17,9	17,6		18,7	18,1	17,6	ka9(3)
17188	12,7	12,2		13,7	12,8	12,1	ka9(3)
17190	14,2	13,2		12,2	11,4	10,8	ka9(4)
17192	12,5	12,5		12,5	12,5	12,5	kalman
17295	17,1	17,6		19,7	19,5	18,5	ka9(3)
17298	21	20,8		22	21,7	20,9	ka9(3)
17300	21,7	21,8		20,3	19	18,5	ka9(4)
17302	25,1	25		22,5	22,1	21,8	kalman
17320	12,5	12,5		12,5	12,5	20,9	mm5
17330	12,5	12,5		12,5	12,5	12,5	ka9(1)
17340	22,5	22,2		24,1	23,4	23	kalman
17352	12,5	12,5		12,5	12,5	22,5	ka9(3)
17370	12,5	12,5		25,8	25,9	26,9	ka9(3)
17375	22,2	21,5		20,7	21,2	19,8	ka9(4)

4. ARAŞTIRMA BULGULARI

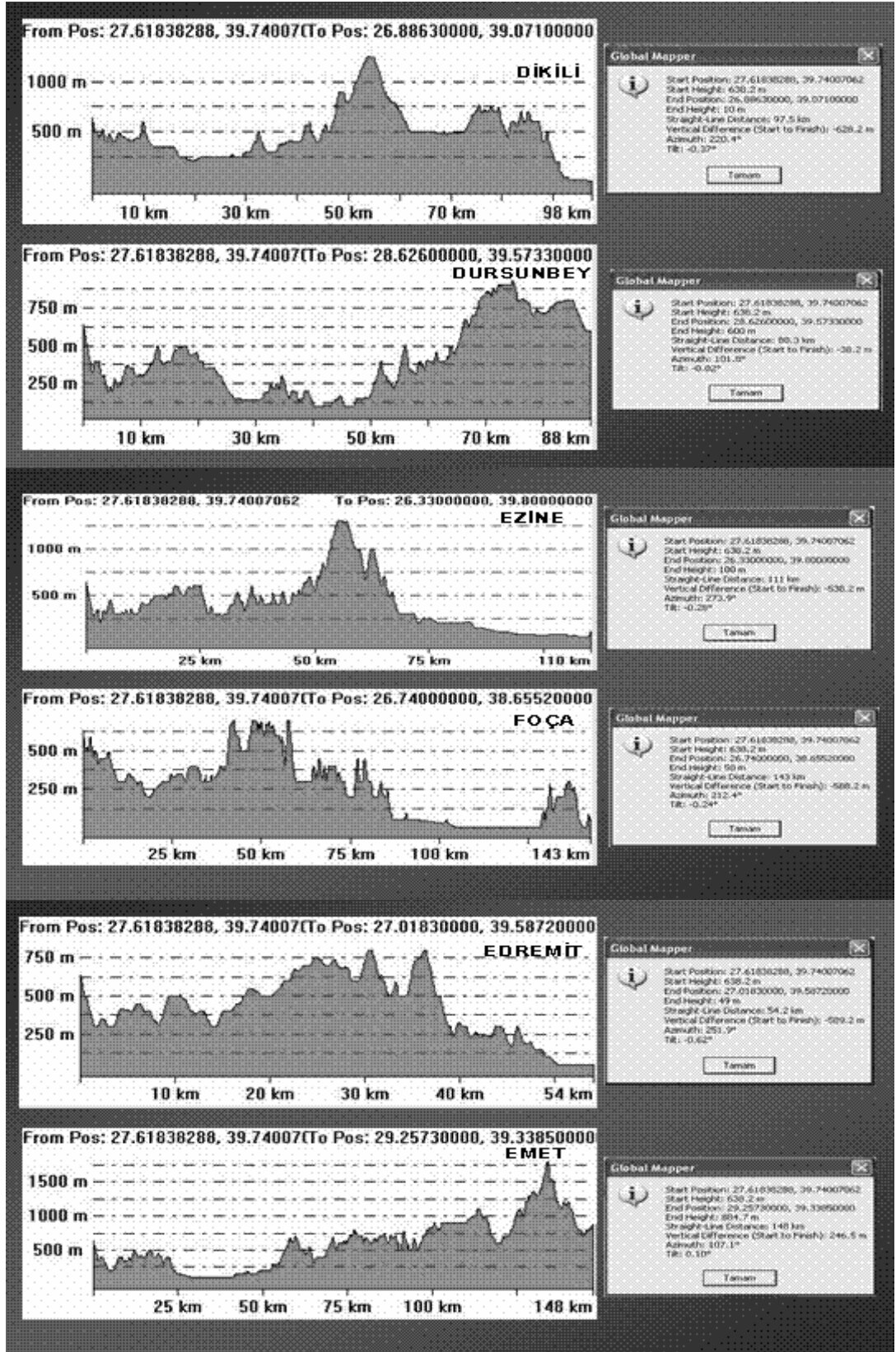
Aşağıda verilen Şekil 4.1 sayısal harita yazılımları kullanılarak elde edilmiştir. Radarın 150 km'lik kaplama alanı içerisinde kalan AWOS istasyonları ile radar arasındaki topografyanın durumunu göstermektedir.



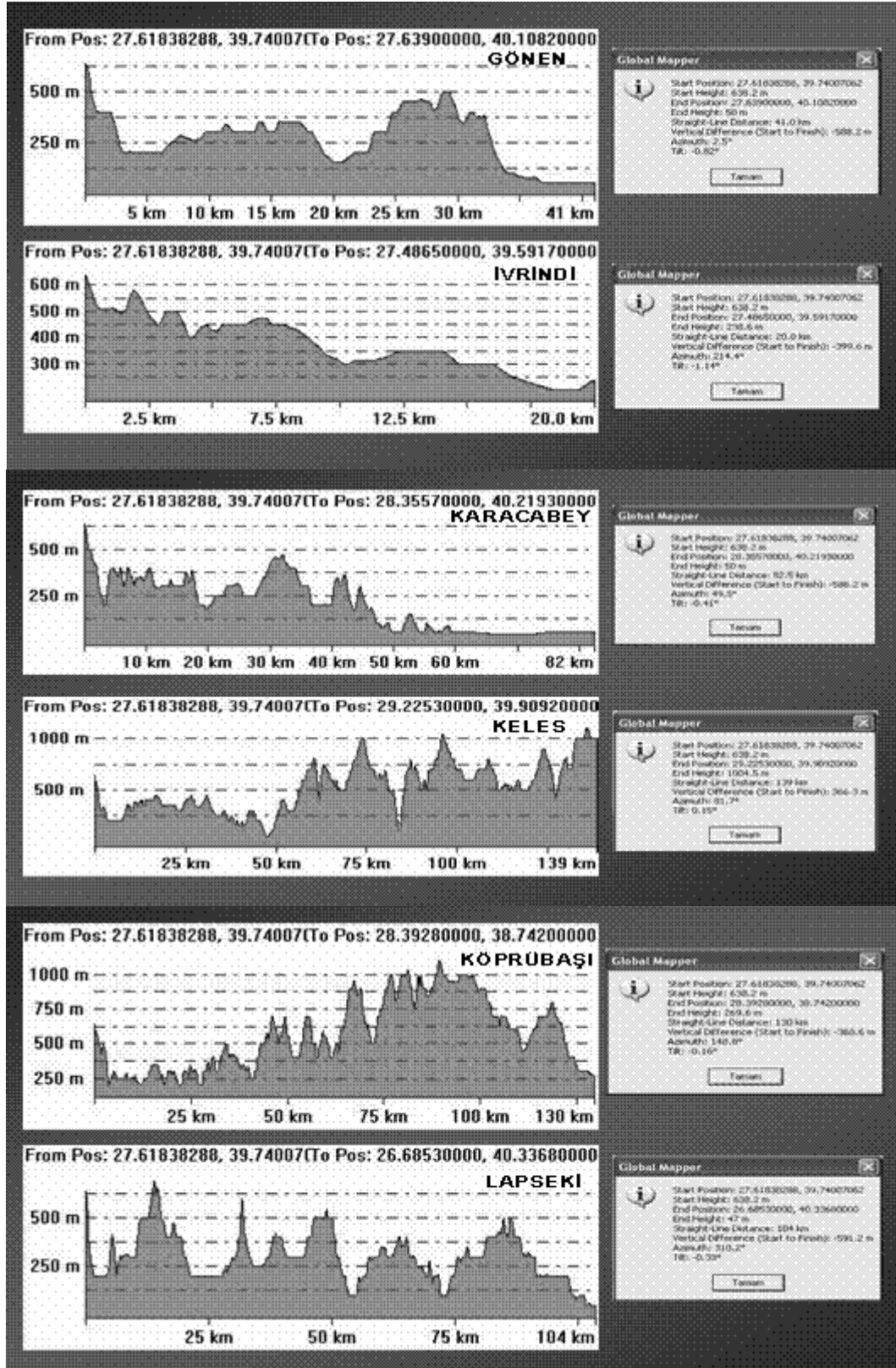
Şekil 4.1Radar-AWOS arasındaki topografyanın durumu



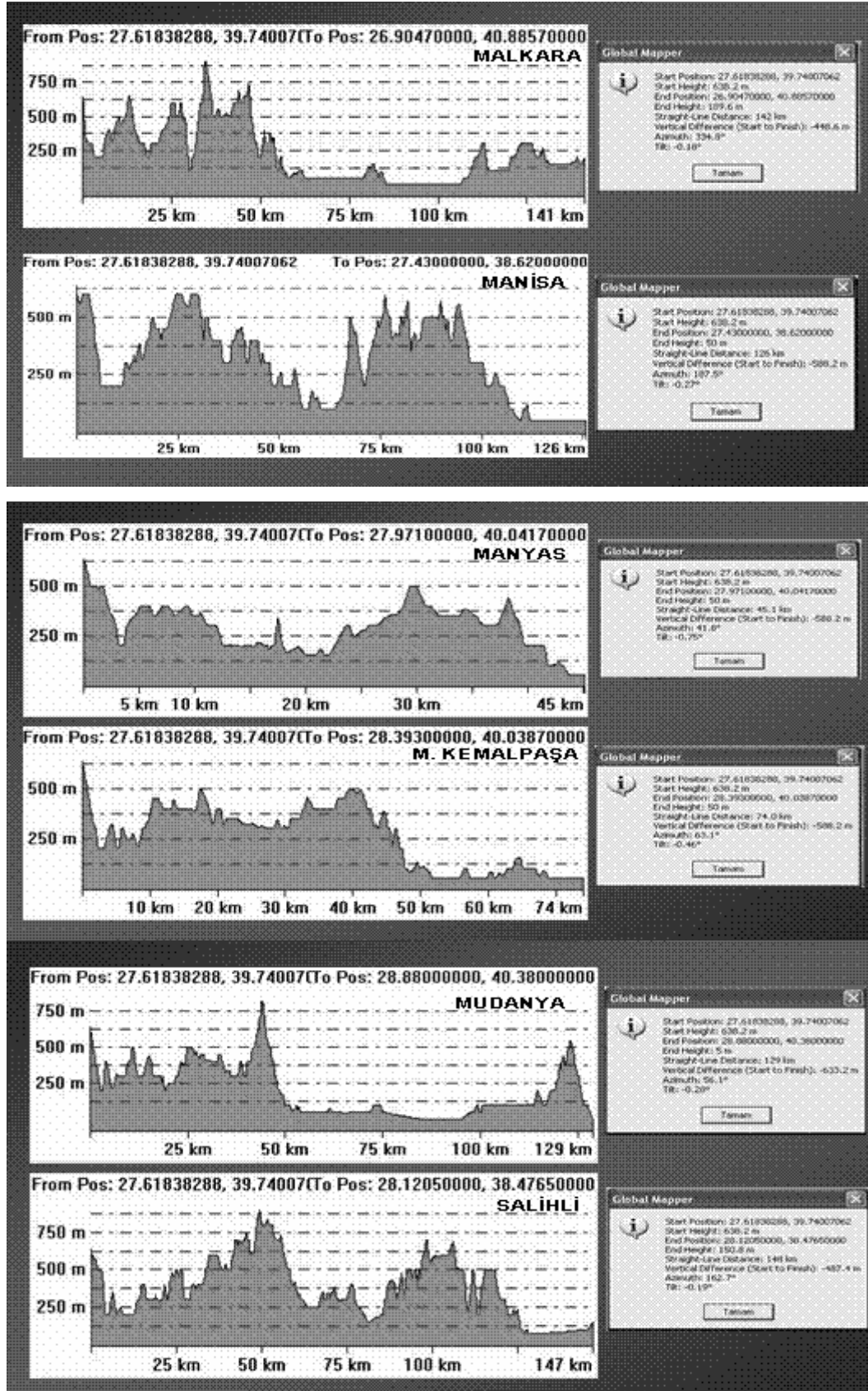
Şekil 4.1 Radar-AWOS arasındaki topografyanın durumu (devam)



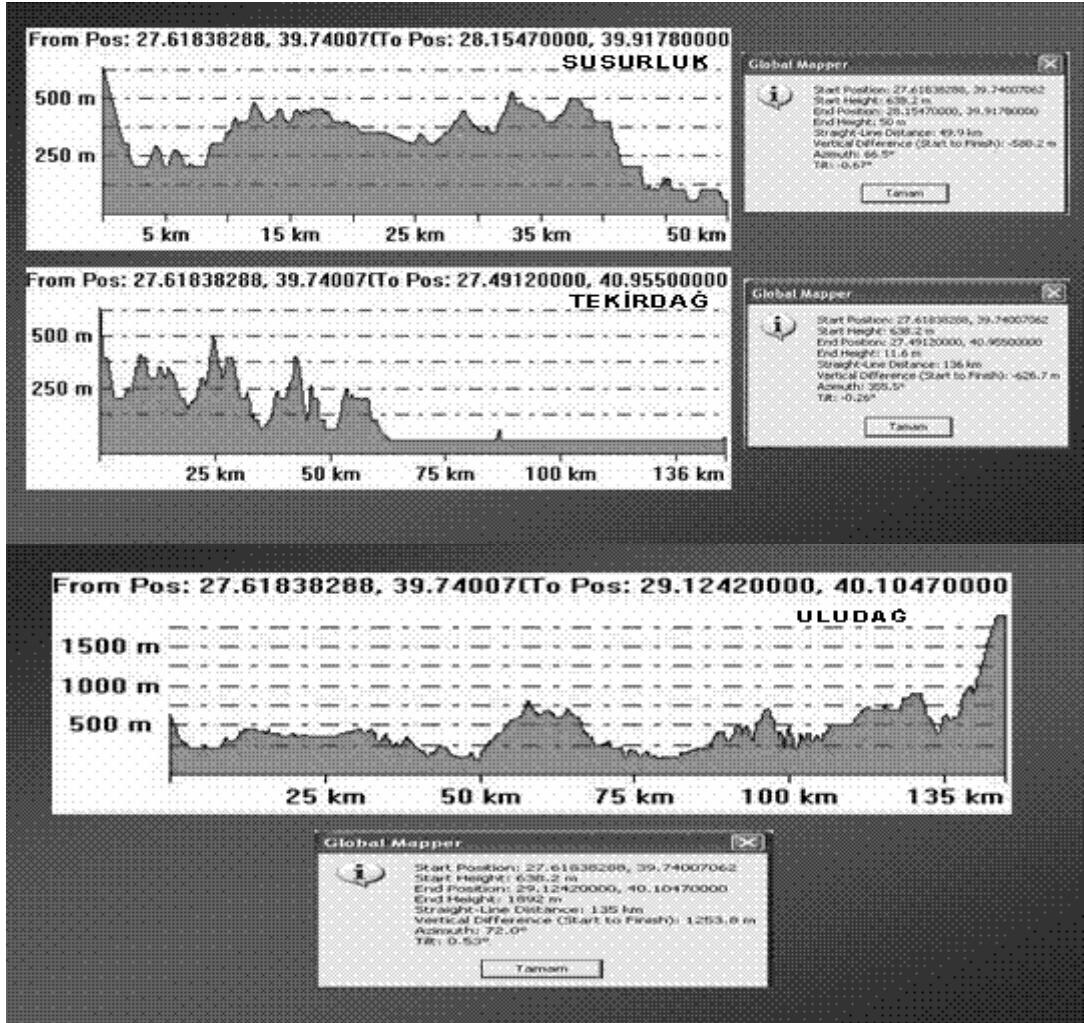
Şekil 4.1 Radar-AWOS arasındaki topografyanın durumu (devam)



Şekil 4.1 Radar-AWOS arasındaki topografyanın durumu (devam)



Şekil 4.1 Radar-AWOS arasındaki topografyanın durumu (devam)



Şekil 4.1 Radar-AWOS arasındaki topografyanın durumu (devam)

Balıkesir Radarı'nın 150 km'lik kaplama alanı içerisinde bulunan 33 AWOS'a ait koordinat (enlem, boylam ve X, Y, Z olarak) bilgileri Çizelge 4.1'de, bu AWOS'lara ait radar yükseklik açısı, HV_{min} , HG, D ve log D değerleri Çizelge 4.2'de, bu çalışmada kullanılan 16 AWOS'a ait, D ve log D, HV_{min} , HG, R, G ve AF değerlerine ait istatistiksel bilgiler Çizelge 4.3'de, Balıkesir Radarı'nın 120 km'lik kaplama alanı içerisinde bulunan tüm radar piksellerine ait, D ve log D, HV_{min} , HG ve AF değerlerine ait istatistiksel bilgiler de Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Balıkesir Radarı'nın 150 km'lik kaplama alanı içerisinde bulunan AWOS'lara ait koordinat (enlem, boylam ve X, Y, Z olarak) bilgileri

İSTASYON	LAT (ENLEM) (Derece)	LON (BOYLAM) (Derece)	X (m)	Y (m)	Z (m)
Balıkesir-Radar	39,7401	27,6184	4345645,1826	2273624,0237	4077581,5878
Akhisar	38,9068	27,8207	4389576,1889	2316388,0910	4005825,3773
Aliğa	38,8000	26,9700	4430130,8517	2254343,3729	3996566,8334
Ayvalık	39,3068	26,6852	4409521,9767	2216328,3741	4040380,4690
Balıkesir-Bölge	39,6368	27,8893	4341334,8674	2297580,5619	4068735,0603
Bandırma	40,3255	27,9912	4293745,3790	2282175,8981	4127480,3028
Bergama	39,1300	27,1800	4401288,5180	2260013,2752	4025129,7168
Bigadiç	39,4000	28,1300	4346436,9487	2323706,6380	4048400,0755
Bornova	38,4542	27,2098	4442028,4865	2283856,3195	3966491,2828
Bozcaada	39,8263	26,0703	4399962,2738	2152694,9784	4084960,9765
Burhaniye	39,4923	26,9720	4386690,1702	2232430,6616	4056337,3321
Bursa	40,2251	29,0080	4258888,1556	2361517,6791	4118953,2394
Çanakkale	40,1300	26,4000	4368049,4751	2168318,5900	4110864,6457
Dikili	39,0710	26,8863	4416510,0219	2239295,7413	4020032,7944
Dursunbey	39,5733	28,6260	4315388,3164	2355367,0970	4063291,6923
Edremit	39,5872	27,0183	4378896,2857	2232924,2605	4064478,6168
Emet	39,3385	29,2573	4303666,7604	2410892,7965	4043107,4929
Ezine	39,8000	26,3300	4391843,2105	2173446,1161	4082709,2787
Foça	38,6552	26,7400	4448152,6332	2241079,9992	3983989,0121
Gönen	40,1082	27,6390	4321530,1888	2262988,2428	4109006,0720
İvrindi	39,5917	27,4865	4360221,7574	2268482,1846	4064864,6551
Karacabey	40,2193	28,3557	4285863,0917	2313073,5946	4118463,0585
Keles	39,9092	29,2253	4269656,2563	2388708,2946	4092038,3669
Köprübaşı	38,7420	28,3928	4376345,0834	2365573,5374	3991532,9649
Lapseki	40,3368	26,6853	4343909,5360	2183365,7992	4128442,0293
M.KemalPaşa	40,0387	28,3930	4295757,9306	2322029,4323	4103085,7871
Malkara	40,8857	26,9047	4300055,4887	2181983,0879	4174822,4462
Manisa	38,6200	27,4300	4423011,4662	2295610,3110	3980931,1385
Manyas	40,0417	27,9710	4312553,9315	2290226,4689	4103341,4637
Mudanya	40,3800	28,8800	4254386,8870	2346610,4967	4132103,7320
Salihli	38,4765	28,1205	4403805,1102	2353438,1996	3968437,8604
Susurluk	39,9178	28,1547	4312999,4279	2308218,2671	4092778,3016
Tekirdağ	40,9550	27,4912	4273009,1712	2223553,7135	4180654,4183
Uludağ	40,1047	29,1242	4261645,2394	2374356,2679	4108708,0726

Çizelge 4.2 Balıkesir Radarı'nın 150 km'lik kaplama alanı içerisinde bulunan AWOS'lara (33 adet otomatik istasyon) ait radar yükseklik açısı, HV_{min} , topografik yükseklik HG, radara olan uzaklık D ve log D değerleri

İSTASYON	YÜKSEKLİK AÇISI (derece)	HV_{min} (m)	HG (m)	D (km)	log (D)
Balıkesir-Radar	0	0	672	0,00	0
Akhisar	0,2	1525,122	100	94,38	1,975
Aliağa	0,2	1913,426	17	118,63	2,074
Ayvalık	0,2	1512,766	49,9	93,53	1,971
Balıkesir-Bölge	0,2	801,847	150	25,90	1,413
Bandırma	0,2	1234,093	50	72,50	1,86
Bergama	0,2	1297,782	169	77,67	1,906
Bigadiç	0,2	1071,924	150	57,97	1,733
Bornova	0,2	2464,373	25	147,43	2,169
Bozcaada	0,4	2635,099	10,3	132,77	2,123
Burhaniye	0,2	1113,445	23	61,91	1,792
Bursa	0,2	2123,799	100	130,24	2,115
Çanakkale	0,2	1811,919	0	112,69	1,96
Dikili	0,6	2252,426	10	97,53	1,989
Dursunbey	0,2	1439,021	600	88,33	1,946
Edremit	0,2	1033,508	49,7	54,16	1,734
Emet	0,2	2468,540	884,7	147,63	2,169
Ezine	0,6	2545,414	100	110,44	2,039
Foça	0,2	2364,564	50,7	142,57	2,154
Gönen	0,2	914,030	50	41,01	1,613
İvrindi	0,2	765,447	237,9	20,02	1,301
Karacabey	0,2	1359,726	50	82,47	1,916
Keles	0,2	2286,280	1004,5	138,66	2,142
Köprübaşı	0,2	2112,164	269,6	129,62	2,113
Lapseki	0,2	1664,927	47	103,62	2,015
M.KemalPaşa	0,2	1252,735	50	74,04	1,869
Malkara	0,4	2829,222	181	141,18	2,15
Manisa	0,2	2040,379	50	125,74	2,105
Manyas	0,2	949,0130	50	45,10	1,654
Mudanya	0,2	2099,642	5	128,95	2,114
Salihli	0,2	2459,379	143,9	147,19	2,168
Susurluk	0,2	992,857	50	49,93	1,698
Tekirdağ	0,2	2227,628	11,2	135,67	2,132
Uludağ	0,2	2210,759	1892	134,80	2,13

Çizelge 4.3 Balıkesir Radarı'nın 120 km'lik kaplama alanı içerisinde bulunan AWOS'lara ait, radara olan uzaklık D ve log D, HV_{min} , topografik yükseklik HG, toplam radar yağışı R, toplam AWOS yağışı ve değerlendirme faktörü AF değerlerine ait istatistiksel bilgiler (Balıkesir Bölge, Dursunbey, İvrindi ve Ezine istasyonları çalışma tarihinde arızalı oldukları için çıkarılmışlardır.)

Parametre	D (km)	Log D (dBkm/10)	HV_{min} (km)	HG (km)	R (mm)	G (mm)	AF	AF (dB)
Ortalama (mean)	77,32	1,86	1,37	0,06	19,63	50,24	0,39	-4,32
Standart sapma (sd)	24,39	0,14	0,39	0,046	15,65	31,46	0,15	1,49
Ortanca (median)	75,85	1,89	1,28	0,05	14,01	39,40	0,36	-3,91
Min	41,01	1,61	0,91	0,0001	3,80	20,80	0,09	-9,12
Max	118,63	2,09	2,25	0,169	63,10	125,40	0,58	-3,21

Çizelge 4.4 Balıkesir Radarı'nın 120 km'lik kaplama alanı içerisinde bulunan tüm radar piksellerine ait, radara olan uzaklık D ve log D, HV_{min} , topografik yükseklik HG ve değerlendirme faktörü AF değerlerine ait istatistiksel bilgiler

Parametre	D (km.)	Log D (dBkm/10)	HV_{min} (km)	HG (km)	AF
ortalama(mean)	92,05	1,92	0,30	1,63	0,296
Standart sapma (sd)	34,26	0,22	0,32	0,53	0,154
Min	0,09	-1,04	0,00	0,67	0,004
Max	170,70	2,23	3,57	2,04	0,697

$w=1$, $w=G$ ve $w=R$ ağırlık faktörlerine göre belirlenmiş, tahmini iyileştirilmiş radar yağışları ile gerçekleşen yağışlar karşılaştırılarak elde edilen istatistiksel parametreler Çizelge 4.5'de, $w=1$, $w=G$ ve $w=R$ ağırlık faktörlerine göre belirlenmiş regresyon katsayıları ise Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.5 R, w=1, w=G ve w=R ağırlık faktörlerine göre belirlenmiş tahmini iyileştirilmiş radar yağışları ile gerçekleşen yağışlar G değerleri karşılaştırılarak bulunan istatistiksel parametreler

Radar-AWOS karşılaştırması	Ortalama Hata (mm)	RMSE (mm)	NBIAS	SI
R - G	30,61	36,04	0,61	0,72
R_t - G (w=1)	19,94	37,38	0,40	0,74
R_t - G (w=G)	17,64	23,52	0,42	0,56
R_t - G (w=R)	16,46	18,78	0,39	0,45

Çizelge 4.5’de verilen NBIAS, AWOS’ların ortalama yağışına göre normalize edilmiş hata değeridir. Saçılma İndeksi (SI) ise RMSE’nin AWOS ortalama yağışına bölümü ile elde edilmiştir. Bu değere FSE (Fractional Standart Error) de denir (Sayfa 19). Bu değerlerin sıfıra yakınlığı, regresyon analiz sonuçlarının tutarlılığını ifade eder.

Çizelge 4.6 w=1, w=G ve w=R ağırlık faktörlerine göre belirlenmiş regresyon katsayıları

Ağırlık Faktörü	a₀	a_D	a_{HV}	a_{HG}
w=1	-19,560	13,919	-7,643	-3,466
w=G	-11,356	9,564	-6,884	-14,777
w=R	1,695	-0,682	-2,237	-9,665

Çizelge 4.6’da görüldüğü üzere, RMSE değeri en küçük olan R_t değeri w=R ağırlık faktörü kullanılarak bulunan değerdir. Buna göre en iyi regresyon denklemi Denklem 4.1’deki gibi yazılabilir:

$$(AF)_j (dB) = 1.695 - 0.682 \log(D_j) - 2.237(HV_{\min})_j - 9.665 HG_j \quad (4.1)$$

Çizelge 4.7 ve Çizelge 4.8 ise KA9 programı kullanılarak bazı istasyon ve tarihler için çeşitli yöntemlerle elde edilen iyileştirilmiş tahmin değerlerinden bazıları, MM5 model tahmini ve Kalman filtrelemesi tahmini ile gerçekleşen AWOS değerleri arasındaki RMSE değerlerini vermektedir. Çizelge 4.7, Ankara istasyonu için 2004 yılı Kasım ayına ait sıcaklık değerlerinin ilk 24 saatlik MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC ve Kalman iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE değerlerini, Çizelge 4.8 ise Ankara istasyonu için 2004 yılı Kasım ayına ait sıcaklık değerlerinin ikinci 24 saatlik MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC ve Kalman iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE değerlerini vermektedir. Ankara istasyonu için 2004 yılı Kasım ayına ait sıcaklık değerlerinin toplam 48 saatlik MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC ve Kalman iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE değerleri Çizelge 4.9’da, Erzurum istasyonu için 2005 yılı Nisan ayına ait sıcaklık değerlerinin toplam 48 saatlik MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC ve Kalman iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE değerleri Çizelge 4.10’da, Artvin istasyonu için 2005 yılı Kasım ayına ait nem değerlerinin toplam 48 saatlik MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC ve Kalman iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE değerleri Çizelge 4.11’de, Artvin istasyonu için 2005 yılı Kasım ayına ait nem değerlerinin toplam 48 saatlik MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC ve Kalman iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE değerleri Çizelge 4.12’de ve İstanbul/Atatürk Meydan, Şubat 2005, nem değerlerinin toplam 48 saatlik MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE değerleri ise Çizelge 4.13’de verilmiştir. Şekil 4.2 ise 25-30 Temmuz 2004 tarihleri arasında Ankara’da gerçekleşen sıcaklıklar ile MM5 ve KA9 (WLSF), KA9 (RMBC) tahminlerinin grafiksel karşılaştırılmasını göstermektedir.

Çizelge 4.7 Ankara, Kasım 2004, sıcaklık parametresi için ilk 24 saat MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC ve Kalman iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE'leri

İSTASYON: ANKARA, PARAMETRE: SICAKLIK, KASIM 2004				
İLK 24 SAAT	RMSE			
Tarih	MM5	KA9 (WLSF_3)	KA9 (RMBC)	KALMAN
01.11.2004	2,72	1,7	1,08	1,32
02.11.2004	4,05	3,64	1,86	1,81
03.11.2004	3,63	2,46	2,31	1,96
04.11.2004	5,57	4,06	3,66	2,43
05.11.2004	4,94	3,11	1,95	2,73
06.11.2004	2,37	2,74	1,6	0,7
07.11.2004	3,74	2,99	1,39	1,31
08.11.2004	3,5	1,95	1,33	1,38
09.11.2004	3,67	2,33	0,75	0,68
10.11.2004	3,79	2,36	1,35	1,34
11.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
12.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
13.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
14.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
15.11.2004	1,56	2,21	2,77	3,02
16.11.2004	3,88	1,59	2	1,71
17.11.2004	3,37	2,05	1,44	1,81
18.11.2004	4,8	7,2	2,51	5,75
19.11.2004	2,38	1,72	1,73	2,12
20.11.2004	3,53	2,51	2	3,49
21.11.2004	1,74	2,98	2,16	2,13
22.11.2004	4,14	4,93	1,85	3,2
23.11.2004	3,35	1,39	1,32	2,99
24.11.2004	2,41	2,34	1,48	1,4
25.11.2004	3,21	1,65	3,87	1,52
26.11.2004	3,14	1,59	1	1,9
27.11.2004	3,35	1,57	1,62	4,13
28.11.2004	1,7	0,62	2,53	2,23
29.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
30.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
ORTALAMA	3,36	2,57	1,90	2,21

Çizelge 4.8 Ankara, Kasım 2004, sıcaklık parametresi için ikinci 24 saatlik MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC ve Kalman iyileştirme yöntemleri tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE'leri

İSTASYON: ANKARA, PARAMETRE: SICAKLIK, KASIM 2004				
İKİNCİ 24 SAAT	RMSE			
Tarih	MM5	KA9 (WLSF_3)	KA9 (RMBC)	KALMAN
01.11.2004	3,97	3,06	1,82	1,75
02.11.2004	4,73	3,29	2,52	1,47
03.11.2004	5,7	3,79	4,12	1,85
04.11.2004	6,21	5,13	4,22	2,43
05.11.2004	4,24	3,04	1,99	0,96
06.11.2004	6,05	3,36	3,06	2,36
07.11.2004	5,16	2,85	3,11	2,15
08.11.2004	3,92	2,52	1,85	1,5
09.11.2004	5,62	3,34	2,75	1,61
10.11.2004	5,4	3,03	2,88	2
11.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
12.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
13.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
14.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
15.11.2004	2,3	1,33	0,96	2,71
16.11.2004	2,8	1,35	1,53	2,04
17.11.2004	3,81	5,03	1,85	1,3
18.11.2004	5,1	8,04	2,86	4,6
19.11.2004	4,58	3,79	2,67	3,81
20.11.2004	2,58	3,48	1,89	2,26
21.11.2004	2,17	4,02	2,48	2,04
22.11.2004	2,3	3,03	1,29	1,39
23.11.2004	3,91	3,41	1,67	2,54
24.11.2004	5,26	2,91	2,41	3,19
25.11.2004	4,64	1,54	2,13	0,99
26.11.2004	3,74	1,58	1,47	2,01
27.11.2004	4,1	1,71	1,75	3,23
28.11.2004	1,55	1,19	2,66	2,19
29.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
30.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
ORTALAMA	4,16	3,16	2,33	2,18

Çizelge 4.9 Ankara, Kasım 2004, sıcaklık parametresi için 48 saatlik MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC ve Kalman iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE'leri

İSTASYON: ANKARA, PARAMETRE: SICAKLIK, KASIM 2004				
TOPLAM 48 SAAT	RMSE			
Tarih	MM5	KA9 (WLSF_3)	KA9 (RMBC)	KALMAN
01.11.2004	3,61	2,7	1,62	1,62
02.11.2004	4,4	3,47	2,21	1,65
03.11.2004	4,78	3,19	3,34	1,91
04.11.2004	5,9	4,63	3,95	3,16
05.11.2004	4,6	3,08	1,97	2,05
06.11.2004	4,6	3,06	2,44	1,74
07.11.2004	4,5	2,92	2,41	1,78
08.11.2004	3,72	2,25	1,61	1,44
09.11.2004	4,75	2,88	2,01	1,23
10.11.2004	4,66	2,72	2,25	1,71
11.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
12.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
13.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
14.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
15.11.2004	1,96	1,82	2,08	2,87
16.11.2004	3,38	1,47	1,78	1,89
17.11.2004	3,6	3,84	1,66	1,58
18.11.2004	4,95	7,63	2,69	5,21
19.11.2004	3,65	3,79	2,25	3,08
20.11.2004	3,09	3,48	1,94	2,94
21.11.2004	1,96	3,54	2,33	2,08
22.11.2004	3,48	4,23	1,64	2,59
23.11.2004	3,63	2,58	1,5	2,78
24.11.2004	4,32	2,69	2,08	2,61
25.11.2004	3,99	1,6	3,13	1,28
26.11.2004	3,45	1,58	1,26	1,95
27.11.2004	3,75	1,64	1,69	3,71
28.11.2004	1,63	0,95	2,6	2,21
29.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
30.11.2004	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
ORTALAMA	3,85	2,99	2,19	2,29

Çizelge 4.10 Erzurum, Nisan 2005, sıcaklık parametresi için 48 saat MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC ve Kalman iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE'leri

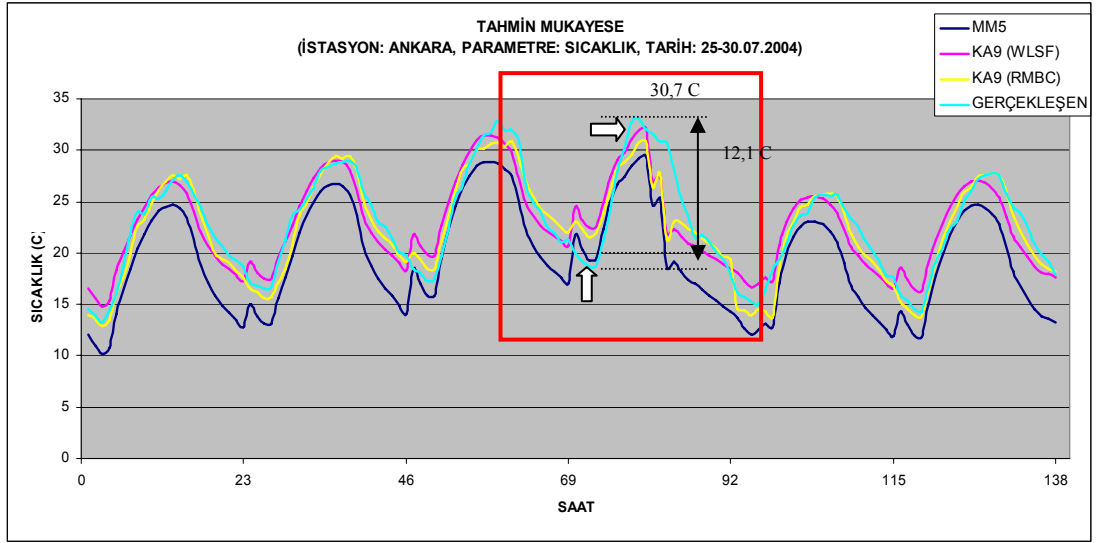
İSTASYON: ERZURUM, PARAMETRE: SICAKLIK, NİSAN 2005				
TOPLAM 48 SAAT	RMSE			
Tarih	MM5	KA9 (WLSF_3)	KA9 (RMBC)	KALMAN
01.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
02.04.2005	2,36	7,36	3,65	2,12
03.04.2005	3,39	19,13	3,14	2,88
04.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
05.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
06.04.2005	1,77	1,9	1,46	1,15
07.04.2005	1,59	2,33	1,82	1,4
08.04.2005	2,26	3,66	3,54	2,74
09.04.2005	3,71	3,58	3,67	3,64
10.04.2005	2,36	1,97	1,65	2,18
11.04.2005	1,97	1,77	0,98	1,89
12.04.2005	2,82	2,48	1,74	2,94
13.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
14.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
15.04.2005	2,93	2,82	3,69	2,1
16.04.2005	3,15	2,98	3,33	1,98
17.04.2005	3,96	3,77	3,11	3,06
18.04.2005	3,87	3,62	2,52	2,68
19.04.2005	4,49	4,21	3,49	3,5
20.04.2005	2,29	1,52	1,94	1,93
21.04.2005	2,46	1,89	2,42	1,85
22.04.2005	1,83	2,48	3,21	1,79
23.04.2005	2,94	3,53	3,75	2,95
24.04.2005	1,73	2,27	1,98	1,42
25.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
26.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
27.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
28.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
29.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
30.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK
ORTALAMA	2,73	3,86	2,69	2,33

Çizelge 4.11 Artvin, Nisan 2005, nem parametresi için 48 saatlik MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE'leri

İSTASYON: ARTVİN, PARAMETRE: NEM, NİSAN 2005				
TOPLAM 48 SAAT	RMSE			
Tarih	MM5	KA9 (WLSF_3)	KA9 (RMBC)	KALMAN
01.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	-
02.04.2005	7,88	1,49	2,37	-
03.04.2005	5,39	1,14	3,56	-
04.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	-
05.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	-
06.04.2005	2,95	1,65	3,99	-
07.04.2005	1,95	4,3	5,43	-
08.04.2005	2,44	6,57	6,61	-
09.04.2005	2,02	6,41	5,33	-
10.04.2005	1,29	4,75	3,25	-
11.04.2005	2,47	5,04	3,11	-
12.04.2005	3,42	6,35	3,33	-
13.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	-
14.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	-
15.04.2005	0,65	4,41	2,02	-
16.04.2005	1,32	2,74	1,95	-
17.04.2005	3,53	3,91	2,72	-
18.04.2005	2,82	2,25	1,89	-
19.04.2005	1,39	1,19	0,86	-
20.04.2005	1,67	1,47	0,89	-
21.04.2005	3,4	3,3	2,87	-
22.04.2005	3,07	2,6	2,6	-
23.04.2005	4,06	4,39	4,56	-
24.04.2005	4,49	5,9	6,03	-
25.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	-
26.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	-
27.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	-
28.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	-
29.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	-
30.04.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	-
ORTALAMA	2,96	3,68	3,34	-

Çizelge 4.12 İstanbul/Atatürk Meydan, Şubat 2005, nem değerlerinin 48 saatlik MM5 tahmini ve KA9 WLSF, KA9 RMBC iyileştirme yöntemlerinin tahminleri ile gözlenen değerlerin RMSE'leri

İSTASYON: İSTANBUL/ATATÜRK MEYDAN, PARAMETRE: BASINÇ, ŞUBAT 2005				
TOPLAM 48 SAAT	RMSE			
Tarih	MM5	KA9 (WLSF_3)	KA9 (RMBC)	KALMAN
01.02.2005	1,86	1,96	1,82	-
02.02.2005	5,33	5,29	5,01	-
03.02.2005	4,74	4,29	4,79	-
04.02.2005	3,43	2,99	3,38	-
05.02.2005	0,9	1,81	1,02	-
06.02.2005	1,45	1,86	1,59	-
07.02.2005	1,61	1,09	1,83	-
08.02.2005	0,97	1,84	0,92	-
09.02.2005	0,82	2,48	1,1	-
10.02.2005	0,64	1,68	0,59	-
11.02.2005	1,15	2,31	1,1	-
12.02.2005	3,37	4,08	3,2	-
13.02.2005	2,87	3,36	2,41	-
14.02.2005	2,98	2,96	2,56	-
15.02.2005	2,12	2,39	2,13	-
16.02.2005	1,52	2,19	1,58	-
17.02.2005	1,1	1,95	1,1	-
18.02.2005	1,04	1,44	1,07	-
19.02.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	-
20.02.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	-
21.02.2005	0,7	0,8	0,87	-
22.02.2005	1,27	1,18	1,46	-
23.02.2005	1,39	1,4	1,48	-
24.02.2005	0,91	0,8	0,98	-
25.02.2005	1,73	1,36	1,58	-
26.02.2005	1,87	1,91	1,83	-
27.02.2005	2,25	2,67	2,3	-
28.02.2005	VERİ YOK	VERİ YOK	VERİ YOK	-
ORTALAMA	1,92	1,91	2,24	-



Şekil 4.2 25-30 Temmuz 2004 tarihleri arasında Ankara’da gerçekleşen sıcaklıklar ile MM5 ve KA9 (WLSF), KA9 (RMBC) tahminlerinin grafiksel karşılaştırılması

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında radar yağış ölçümlerinin ve MM5 tahmin değerlerinin iyileştirilmesi hedeflenmiş ve bunun için istatistiksel yöntemler kullanılmıştır. 2005 kış döneminde radar tarama programında 0.3° , 0.7° , 1.2° , 2.0° , 3.0° , 4.5° , 6.0° , 9.0° , 13.0° , 17.0° ve 22.0° yükseklik açıları kullanılarak 05.03.2005 ve 06.03.2005 tarihleri arasındaki 48 saatlik toplam yağışı veren RAIN48 ürünü incelendiğinde radar ve AWOS toplam yağışları arasında oldukça büyük fark olduğu görülmüştür. Radar 48 saatte toplam 6,91 mm yağış ölçerken, AWOS'lardan alınan toplam yağış 411,2 mm olmuştur. Bunun nedenlerinden en önemlisi, minimum açı olan 0.3° 'nin Balıkesir bölgesi için çok büyük olmasına bağlı olarak radarın yağış ekolarını tespit edememesi olarak açıklanabilir. Bu tarihler için yapılan regresyon analizi, radar ve AWOS yağış değerleri arasında çok büyük farklar olması ve birçok bölgede AWOS'larda önemli miktarda yağış varken, radarda hiç yağış olmaması nedeniyle mantıklı sonuçlar vermemiştir. 2005 yaz dönemine geçilmesiyle açılar değiştirilmiş ve 24.11.2005 ve 25.11.2005 tarihleri arasındaki RAIN48 ürünü incelenmiştir. Radar yağışının iyileştirilmesi için radar ve AWOS veri çiftleri incelendiğinde radardan elde edilen iki günlük yağış toplamı (toplam 314 mm, ortalama 19,63 mm) ile AWOS yağışları (toplam 803,8 mm, ortalama 50,24 mm) arasında yaklaşık 2,5 kat fark tespit edilmiştir. Radarın AWOS'lara göre toplam yağışları 2,5 kat daha az ölçmesinin nedenleri Bölüm 2.5'de anlatılan hata kaynaklarıdır. Bu çalışmada düşey reflektivite profili, parlak bant, ışın geometrisi hataları ve orografik etkilerin neden olduğu hatalar bir regresyon denkleminin zamandan bağımsız parametreleri olarak anlatılmaya çalışılmış ve her bir parametre geliştirilen bilgisayar programları ile 720×720 'lik matrisler olarak elde edilmiştir. Bu parametreler radar ve AWOS arasındaki uzaklık D, AWOS'un yüksekliği HG ve AWOS üzerindeki bir hedefin radardan görülebileceği minimum yükseklik HV_{min} parametreleridir. Uzak mesafelerde veya ışının topografik bir engele çarpması nedeniyle radar AWOS üzerinde çok yüksek noktaları görebilmekte, altında kalan yağış hücrelerinin yansımalarını alamamaktadır. Bu durum minimum yükseklik açısı yüksek olan Dikili ve Ezine bölgeleri için radardan alınan yağış değerlerinde oldukça açık bir şekilde ortaya çıkmıştır. Işın engellenmesi, radarın AWOS'tan daha az yağış ölçmesinin nedenlerinden biridir. Teorik olarak, geliştirilen bu algoritma ve programlarla radar

görüntüsü üzerindeki tüm piksellerin D , HV_{min} ve HG parametreleri ve bu parametreleri kullanarak her bir piksel için tahmini AF değeri belirlenebilir. Fakat, bu işlemlerin çok uzun sürmesi ve çok yüksek performanslı bilgisayar (süper bilgisayar, paralel programlama) gerektirmesi nedeniyle, tahmini AF değerleri bu tez çalışmasında yalnızca AWOS'ların bulunduğu pikseller için tespit edilmiştir. Bu programların süper bilgisayarlar ile birlikte kullanılması ile, gelecekte radardan tüm radar piksellerine doğru yollar üzerinde olan tüm pikseller için aynı işlemler gerçekleştirilip, her bir radar pikseli için D , HV_{min} ve HG parametreleri belirlenebilir. Radar görüntüsündeki herhangi bir piksel için, DEM kullanılarak HG ve D parametrelerine ulaşmak mümkündür. Tüm piksellere iyileştirme yapabilmek için eksik olan tek parametre, yukarıda anlatılan nedenlerden ötürü HV_{min} parametresidir. Balıkesir radarının 120 km'lik kaplama alanı içerisinde bulunan 16 AWOS istasyonundan 15'i için minimum yükseklik açısı 0.2° 'dir (Dikili için 0.6°). Bu nedenle gelecekte süper bilgisayarlarla her bir radar pikseli için HV_{min} parametresi belirleninceye kadar, AWOS noktaları için bulunan minimum yükseklik açıları, topografya görüntüsü ve DEM kullanılarak, AWOS noktaları dışında kalan pikseller için yaklaşık HV_{min} değerleri belirlenmiş ve HV_{min} matrisi elde edilmiştir. Daha tutarlı HV_{min} değerleri elde edebilmek için radar tarama programında kullanılan yükseklik açılarının 0 ile 1 derece arasının daha sıklaştırılması tavsiye edilebilir. Bu açıların kullanılması, Balıkesir çevresinin topografyasının çok yüksek olmaması nedeniyle mantıklı görülebilir. Ancak topografik yükseltileri daha çok olan bir bölge için bu açıların tarama programına eklenmesinin uygun olmayacağı düşünülmektedir.

AWOS-Radar veri çiftlerini incelerken, bazı AWOS istasyonlarının, bu tez çalışmasında öngörülen mantığa ters düşen yağış değerleri verdiği ortaya çıkmıştır. Herhangi bir piksel için, HV_{min} ve D değerleri arttıkça AF değerinin küçülmesi yani Radar-AWOS arasındaki hata oranının artması beklenmektedir. Oysa bazı AWOS-Radar veri çiftlerinde bu duruma ters düşen değerler vardır. Bunun nedeni, çok yüksek veya çok düşük yağışlarda AWOS'ların farklı ölçüm davranışı göstermesi, AWOS'un yağış sensöründeki elektronik bir arıza ya da kalibrasyon hatası olabilir. Bu tarz tutarsızlık gösteren istasyonlar regresyon analizinden çıkarılmıştır.

Regresyon analizi sonucu elde edilen ortalama hata ve RMSE değerleri incelendiğinde ağırlık faktörü kullanılmadan yapılan regresyon analizinin RMSE değerinin (37,38 mm), regresyon öncesi Radar-AWOS RMSE değerinden (36,04 mm) daha yüksek olduğu görölmüştür. Bunun nedeni aykırı değerlerin yani ortalama yağışa göre çok yüksek olan değerlerin hatalarının ortalama hataya göre çok düşük olmasıdır (Örn. Çanakkale, Lapseki). Bu tür değerlerin olduğu veri kümeleri için regresyon analizi oldukça yanlış sonuçlar verebilmektedir. Bu nedenle ağırlık katsayıları kullanılmış ve $w=R$ ağırlık katsayısı kullanılarak yapılan regresyon analiziyle aykırı değerlerin regresyona etkisi azaltılarak RMSE değerleri oldukça düşürölmüştür (RMSE:18,78 mm, ortalama hata:16,42 mm). Analiz sonucu en iyi RMSE değerini $w=R$ ağırlık katsayısının verdiği görölmüştür. Bu durum radarın yüksek yağışları hafif yağışlara oranla daha doğru tespit edebildiği şeklinde açıklanabilir. Sonuç olarak 16 istasyondan 15'inin değeri iyileştirilmiş, biri için ise mutlak hata değeri hemen hemen aynı kalmıştır. Regresyon öncesi, radar ve AWOS yağışları incelendiğinde en yüksek oranda hata yapılan istasyonun Dikili olduğu tespit edilmiştir. Bunun olası nedeni Dikili ile radar arasındaki topografyaya bağlı olarak minimum yükseklik açısının yüksek olmasıdır (0.6°). Radar, Dikili'nin üzerindeki yağış hücrelerinden ancak 2252,426 m ve daha üzeri yükseklikte olanların ekolarını tespit edebilmektedir. Bu nedenle radarın bu noktada AWOS'lardan çok daha az yağış ölçmesi normaldir.

Analiz sonucu elde edilen regresyon katsayılarının işaretleri beklendiği gibi negatif çıkmıştır. Buna göre, uzak ve yüksek bölgelerde ve HV_{min} değeri büyük olan noktalarda radar yağışları gerçekteşen değerin altındadır. Fakat analiz sonucu elde edilen SCR ürünü, iyileştirilmeden önceki RAIN48 ürünü ve topografik görüntü karşılaştırıldığında, regresyon denkleminin dağlık bölgelerde mantık dışı çok yüksek yağış değerleri verdiği görölmüştür. Bunun nedeni regresyon denklemindeki HG değerinin katsayısının yüksek oluşudur. Balıkesir civarındaki AWOS'lar dağlık bölgelere değil, deniz seviyesine yakın yerlere kuruludur. Regresyonda kullanılan tüm istasyonlar arasında maksimum HG değeri 0,169 km iken, aynı alan içerisindeki tüm radar piksellerine bakıldığında maksimum HG değeri 2,04 km'dir. Yani regresyonda kullanılan AWOS HG değerleri, iyileştirme yapılacak tüm radar piksellerini çok iyi temsil edememektedir. Bu durumda AWOS yüksekliklerine oranla çok yüksek olan bölgelerde HG değerinin AF değerine

etkisi çok yüksek olmakta ve anlamsız sonuçlar vermektedir. Bu nedenle SCR ürününün çok yüksek bölgeler için yaptığı iyileştirmelerin değerlendirmeye alınmaması tavsiye edilir (Öztürk and Yılmaz 2006).

Daha tutarlı Radar-AWOS veri kümeleri, her saatinde mümkün olduğu kadar ortalama değerlere yakın bir eş biçimlilik gösteren yağışlı bir periyot, tüm radar piksellerini temsil edebilecek bir çeşitlilik gösteren AWOS HG değerleri; dolayısıyla yüksek bölgelerde alınacak gözlemler ve pikselin gerçek değerini veren daha tutarlı HV_{min} değerleri kullanıldığında, tüm radar piksellerine daha gerçekçi iyileştirmeler yapacak bir AF denklemi ve SCR ürününü elde etmek mümkün olacaktır. Bu tez çalışmasında geliştirilen metot ve bilgisayar kodları, ileride istenilen başka bir radarın yağışlarının iyileştirilmesi için de kullanılabilir.

MM5 model tahminlerinin iyileştirilmesi için WLSF ve RMBC yöntemleriyle iyileştirme yapmayı amaçlayan KA9 adında bir yazılım geliştirilmiştir. Rasgele seçilen istasyonlar için yapılan değerlendirmeler sonucunda bazı istasyonlarda MM5 tahminlerinin iyileştirme ihtiyacı duymayabileceği, bazılarında Kalman filtrelemesinin iyi sonuçlar verdiği, büyük bir bölümde de KA9'un kullandığı istatistiksel yöntemlerin başarılı olduğu görülmüştür. Özellikle gözlenen değerlerin düzgün seyrettiği, genel seyre göre ani düşüş ve yükselişlerin olmadığı dönemlerde RMBC yönteminin oldukça iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir.

MM5 tahminlerine yapılan istatistiksel iyileştirmelerin zaman zaman hatalı olabildiği görülmüştür. Tarihsel bir veri kümesine dayalı olarak, model tahminleri ile gerçekleşen değerler arasındaki tarihsel eğilime göre yeni tahmin üreten bu metotlar, model tahmini ve gerçekleşen değerler arasında genel eğilime aykırı aşırı sapma ve tutarsızlıklar olduğu takdirde hatalı sonuçlar üretmektedir. Şekil 4.4'de görüleceği üzere, 25 Temmuz 2005 tarihinden itibaren MM5 model tahminleri sürekli gerçekleşen değerlerin altında kalırken, 70 ve 75. saatler arasında gerçekleşen değerlerin üzerinde seyretmiştir. 83. saatte ise MM5 tahmininin gerçekleşen değerden $12,1^{\circ}$ fazla olduğu gözlemlenmiştir. Genel eğilimden bu tür aşırı sapmalar, model tahminlerinin iyileştirilmesine engel teşkil etmektedirler.

Açıklanan nedenlerden ötürü, program sonuçlarının operasyonel olarak kullanılabilmesi için, herhangi bir istasyon değerine yapılacak iyileştirmenin hangi yöntemle yapılacağının bilinmesi gerekir. Üstelik bu yöntemler, aynı istasyon için farklı tarihlerde değişiklik gösterebilir. Bu sorunun çözülmesi için KA9 her gün zamanlanmış bir saatte otomatik olarak çalışmalı, 1. dereceden 5. dereceye kadar WLSF yöntemi ve RMBC yöntemi sonuçları ile MM5 ve Kalman tahminlerinin RMSE değerlerini her istasyon için bir dosyada toplamalıdır. Tahmini yapılacak istasyon için hangi yöntemin RMSE değerlerinin ilgili ay için ortalaması en küçükse, o yöntemin çıktıları iyileştirme değeri olarak kullanılabilir. Aylık tutulan dosyaya yeni bir RMSE değeri girdiğinde aylık ortalama RMSE değeri otomatik olarak güncellenerek uygun yöntem belirlenecektir.

KAYNAKLAR

- Atlas, D. 1964. Advances in radar meteorology. Adv.Geophysd. 10, 317-478.
- Başokur, A.T. 2002. Doğrusal ve doğrusal olmayan problemlerin ters çözümü. Tmmob Jeofizik Mühendisleri Odası Eğitim Yayınları No:4. Ankara, 23-25.
- Bayazıt, M. 1996. İnşaat mühendisliğinde olasılık yöntemleri. İTÜ Kütüphane Kataloğu. İstanbul, 1-38.
- Battan, L.J. 1973. Radar observation of the atmosphere. University of Chicago press. Chicago.
- Collier, C.G. 1986. Accuracy of rainfall estimates by radar, J. Hydrol, 83, 207-223.
- Crozier, C. 1986. King weather radar operations manual and users guide, Research report no. 1, Toronto weather radar research station, Ontario.
- Doviak, R.J. and Zrnic, D.S. 1984. Doppler radar and weather observations. Academic Press, London.
- Gabella, M. and Perona, G. 1998. Simulation of the orographic influence on weather radar using a geometric-optics approach. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, Vol.15, No.6, pp 1485-1494.
- Gabella, M., Joss, J. and Perona, G. 2000. Optimizing quantitative precipitation estimates using a noncoherent and a coherent radar operating on the same area. Journal of Geophysical Research, Vol.105, No.D2, pp 2237-2245.
- Gabella, M., Joss, J., Perona, G. and Galli, G. 2001. Accuracy of rainfall estimates by two radars in the same Alpine environment using gauge adjustment, J. Geophys. Res., 106, 5139-5150.
- Marshall, J.S. and Palmer, W. MC. 1948. The distribution of raindrop with size. J. Meteorol., 5, 165-166.
- Öztürk, K. 2001. Elektromagnetik dalgaların saçılımı ve meteorolojik radarlarındaki uygulamaları. Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Ankara, 35-39.
- Öztürk, K. and Yilmazer, A. U. 2006. Improvement of accuracy of radar rainfall estimates in west Turkey. J. Atmospheric Research (submitted for publication).
- Probert-Jones, J.R. 1962. The radar equation in meteorology. Quart. J.R. Met. Soc., 88, 485-495.

Rinehart, R. 2001. Radar for meteorologist. Rinehart Publications, Columbia, 62-63

Zawadzki, I. 1975. On radar-rainage comparison, J. Appl. Meteor., 14, pp. 1430-1436.

EKLER

EK 1 : Balıkesir radarının 150 km’lik kaplama alanı içerisinde kalan 33 AWOS istasyonu için minimum yükseklik açıları

EK 2 : Balıkesir radarının 150 km’lik kaplama alanı içerisinde kalan 33 AWOS istasyonu için farklı birçok açıda ulaşılabilecek HV_{min} yükseklikleri

EK 3 : İstasyonlar için elde edilen piksel koordinatları

EK 4 : İstasyonlar ve komşuluklarındaki 8 piksel ile bunların ortalamalarının yağış bilgileri

EK 1 Balıkesir radarının 150 km.lik kaplama içerisinde kalan 33 AWOS istasyonu için minimum yükseklik açıları

İSTASYON	MINİMUM GÖRÜNÜR YÜKSEKLİK AÇISI (derece)
akhisar	0.0
aliaga	0.2
ayvalik	0.0
balikesir_bolge	0.0
bandirma	0.0
bergama	0.1
bigadic	0.0
bornova	0.0
bozcaada	0.4
burhaniye	0.0
bursa	0.0
canakkale	0.1
dikili	0.5
dursunbey	0.0
edremit	0.2
emet	0.1
ezine	0.5
foca	0.0
gonen	0.0
ivrindi	0.0
karacabey	0.0
keles	0.1
koprubasi	0.1
lapseki	0.1
malkara	0.3
manisa	0.0
manyas	0.0
m.kemalpasa	0.0
mudanya	0.1
salihli	0.1
susurluk	0.0
tekirdag	0.0
uludag	0.1

EK 2 Balıkesir radarının 150 km.lik kaplama içerisinde kalan 33 AWOS istasyonu için farklı birçok açıda ulaşılabilir HV_{min} yükseklikleri

AÇI (°)	HV (m.)						
	Akhisar	Aliağa	Ayvalık	Balıkesir-Bölge	Bandırma	Bergama	Bigadiç
0,0	1195,701	1499,380	1186,311	711,440	981,033	1026,678	869,578
0,1	1360,414	1706,406	1349,540	756,644	1107,564	1162,231	970,752
0,2	1525,122	1913,426	1512,766	801,847	1234,093	1297,782	1071,924
0,3	1689,827	2120,440	1675,987	847,050	1360,618	1433,329	1173,094
0,4	1854,527	2327,446	1839,204	892,252	1487,141	1568,873	1274,263
0,5	2019,221	2534,445	2002,416	937,453	1613,661	1704,413	1375,429
0,6	2183,910	2741,436	2165,622	982,654	1740,176	1839,949	1476,592
0,7	2348,593	2948,419	2328,821	1027,853	1866,688	1975,480	1577,752
0,8	2513,269	3155,391	2492,015	1073,051	1993,194	2111,007	1678,908
0,9	2677,938	3362,354	2655,201	1118,248	2119,696	2246,527	1780,061
1,0	2842,599	3569,306	2818,379	1163,443	2246,193	2382,042	1881,210
1,1	3007,252	3776,247	2981,550	1208,637	2372,683	2517,551	1982,355
1,2	3171,896	3983,175	3144,712	1253,829	2499,168	2653,053	2083,495
1,3	3336,531	4190,091	3307,865	1299,019	2625,646	2788,548	2184,631
1,4	3501,156	4396,994	3471,008	1344,207	2752,117	2924,035	2285,761
1,5	3665,771	4603,883	3634,141	1389,393	2878,581	3059,514	2386,885
1,6	3830,375	4810,757	3797,263	1434,576	3005,038	3194,985	2488,004
1,7	3994,968	5017,617	3960,375	1479,757	3131,486	3330,447	2589,116
1,8	4159,550	5224,460	4123,475	1524,936	3257,926	3465,901	2690,223
1,9	4324,119	5431,288	4286,562	1570,112	3384,357	3601,344	2791,322
2,0	4488,676	5638,098	4449,638	1615,285	3510,779	3736,777	2892,414
4,5	8596,994	10800,991	8520,984	2743,278	6667,210	7118,161	5416,531
6,0	11054,776	13889,361	10956,655	3418,284	8555,698	9141,194	6926,795
9,0	15946,285	20035,197	15804,179	4762,109	12314,568	13167,770	9933,044
13,0	22398,844	28141,001	22198,753	6535,651	17273,785	18479,989	13899,706
17,0	28743,429	36109,640	28486,366	8280,464	22150,863	23704,007	17801,117
22,0	36475,719	45819,162	36149,280	10408,177	28095,800	30071,562	22557,364
	Bornova	Bozcaada	Burhaniye	Bursa	Çanakkale	Dikili	Dursunbey
0,0	1949,840	1708,360	897,348	1669,242	1418,602	1231,241	1130,714
0,1	2207,111	1940,056	1005,397	1896,524	1615,263	1401,450	1284,869
0,2	2464,373	2171,745	1113,445	2123,799	1811,919	1571,656	1439,021
0,3	2721,627	2403,426	1221,491	2351,067	2008,570	1741,856	1593,169
0,4	2978,870	2635,099	1329,535	2578,326	2205,214	1912,052	1747,313
0,5	3236,102	2866,762	1437,576	2805,577	2401,852	2082,242	1901,452
0,6	3493,323	3098,416	1545,614	3032,818	2598,482	2252,426	2055,586
0,7	3750,531	3330,059	1653,649	3260,049	2795,103	2422,604	2209,715
0,8	4007,726	3561,691	1761,679	3487,269	2991,716	2592,774	2363,837
0,9	4264,906	3793,311	1869,706	3714,477	3188,320	2762,937	2517,953
1,0	4522,072	4024,918	1977,729	3941,673	3384,913	2933,092	2672,062
1,1	4779,223	4256,512	2085,747	4168,856	3581,496	3103,239	2826,164
1,2	5036,357	4488,092	2193,760	4396,026	3778,068	3273,376	2980,257
1,3	5293,473	4719,657	2301,767	4623,181	3974,629	3443,504	3134,342
1,4	5550,572	4951,207	2409,769	4850,321	4171,177	3613,621	3288,418
1,5	5807,652	5182,740	2517,765	5077,445	4367,712	3783,728	3442,485

EK 2 Balıkesir radarının 150 km.lik kaplama içerisinde kalan 33 AWOS istasyonu için farklı birçok açıda ulaşılabilir HV_{min} yükseklikleri (devam)

1,6	6064,713	5414,257	2625,755	5304,553	4564,233	3953,824	3596,542
1,7	6321,753	5645,756	2733,738	5531,644	4760,740	4123,908	3750,588
1,8	6578,772	5877,237	2841,714	5758,716	4957,233	4293,980	3904,624
1,9	6835,770	6108,698	2949,683	5985,771	5153,710	4464,039	4058,649
2,0	7092,744	6340,140	3057,644	6212,806	5350,172	4634,085	4212,662
4,5	13507,474	12117,735	5753,235	11880,427	10254,791	8879,415	8057,811
6,0	17344,224	15573,611	7366,073	15270,557	13188,736	11419,130	10358,209
9,0	24978,333	22450,341	10576,441	22016,539	19027,425	16473,633	14936,619
13,0	35045,004	31519,229	14812,315	30913,156	26728,451	23141,053	20976,414
17,0	44939,084	40433,661	18978,379	39658,427	34299,516	29696,742	26915,426
22,0	56991,695	51294,273	24057,092	50313,179	43525,082	37686,090	34153,816
	Edremit	Emet	Ezine	Foça	Gönen	İvrindi	Karacabey
0,0	844,461	1953,309	1389,087	1866,987	770,881	695,565	1071,870
0,1	938,985	2210,929	1581,822	2115,779	842,456	730,506	1215,799
0,2	1033,508	2468,540	1774,553	2364,564	914,030	765,447	1359,726
0,3	1128,030	2726,142	1967,278	2613,340	985,603	800,388	1503,649
0,4	1222,550	2983,734	2159,997	2862,107	1057,175	835,328	1647,568
0,5	1317,067	3241,315	2352,709	3110,863	1128,745	870,268	1791,483
0,6	1411,582	3498,885	2545,414	3359,608	1200,313	905,207	1935,394
0,7	1506,094	3756,442	2738,112	3608,341	1271,880	940,145	2079,299
0,8	1600,603	4013,985	2930,800	3857,062	1343,444	975,082	2223,199
0,9	1695,109	4271,515	3123,480	4105,769	1415,007	1010,019	2367,093
1,0	1789,611	4529,029	3316,150	4354,463	1486,566	1044,954	2510,981
1,1	1884,110	4786,528	3508,809	4603,141	1558,123	1079,888	2654,861
1,2	1978,604	5044,011	3701,458	4851,804	1629,677	1114,821	2798,735
1,3	2073,093	5301,476	3894,096	5100,451	1701,227	1149,752	2942,601
1,4	2167,578	5558,923	4086,721	5349,080	1772,774	1184,682	3086,459
1,5	2262,057	5816,352	4279,334	5597,692	1844,318	1219,610	3230,308
1,6	2356,532	6073,761	4471,934	5846,284	1915,857	1254,536	3374,148
1,7	2451,000	6331,150	4664,520	6094,858	1987,393	1289,461	3517,979
1,8	2545,463	6588,517	4857,091	6343,411	2058,924	1324,383	3661,799
1,9	2639,919	6845,863	5049,648	6591,944	2130,451	1359,304	3805,610
2,0	2734,369	7103,186	5242,189	6840,455	2201,973	1394,222	3949,410
4,5	5092,658	13526,606	10048,970	13043,984	3987,843	2266,167	7539,628
6,0	6503,724	17368,552	12924,414	16754,486	5056,464	2787,961	9687,563
9,0	9312,564	25012,990	18646,743	24137,558	7183,766	3826,798	13962,644
13,0	13018,849	35093,268	26194,413	33873,531	9991,019	5197,881	19602,523
17,0	16664,277	45000,707	33614,842	43442,948	12752,465	6546,817	25148,550
22,0	21108,600	57069,569	42657,029	55100,555	16119,468	8191,864	31908,319
	Keles	Köprübaşı	Lapseki	M.KemalPaşa	Malkara	Manisa	Manyas
0,0	1802,344	1659,770	1303,260	994,301	1843,800	1601,524	791,588
0,1	2044,316	1885,971	1484,096	1123,519	2090,168	1820,954	870,301
0,2	2286,280	2112,164	1664,927	1252,735	2336,528	2040,379	949,013
0,3	2528,236	2338,350	1845,753	1381,948	2582,880	2259,796	1027,723
0,4	2770,182	2564,528	2026,574	1511,158	2829,222	2479,206	1106,432
0,5	3012,119	2790,697	2207,388	1640,365	3075,554	2698,607	1185,140

EK 2 Balıkesir radarının 150 km.lik kaplama içerisinde kalan 33 AWOS istasyonu için farklı birçok açıda ulaşılabilir HV_{min} yükseklikleri (devam)

0,6	3254,045	3016,857	2388,197	1769,567	3321,875	2918,000	1263,846
0,7	3495,960	3243,007	2568,997	1898,765	3568,184	3137,383	1342,549
0,8	3737,863	3469,146	2749,791	2027,959	3814,481	3356,755	1421,250
0,9	3979,753	3695,273	2930,576	2157,147	4060,765	3576,117	1499,948
1,0	4221,629	3921,388	3111,352	2286,330	4307,035	3795,466	1578,644
1,1	4463,492	4147,490	3292,119	2415,507	4553,290	4014,804	1657,336
1,2	4705,339	4373,579	3472,876	2544,678	4799,530	4234,128	1736,025
1,3	4947,171	4599,653	3653,622	2673,842	5045,754	4453,439	1814,711
1,4	5188,986	4825,712	3834,358	2802,999	5291,961	4672,735	1893,392
1,5	5430,784	5051,756	4015,082	2932,148	5538,151	4892,017	1972,070
1,6	5672,564	5277,783	4195,794	3061,290	5784,321	5111,283	2050,743
1,7	5914,325	5503,794	4376,493	3190,423	6030,473	5330,532	2129,411
1,8	6156,067	5729,786	4557,179	3319,548	6276,605	5549,764	2208,075
1,9	6397,789	5955,761	4737,851	3448,663	6522,717	5768,979	2286,734
2,0	6639,490	6181,716	4918,509	3577,770	6768,807	5988,175	2365,387
4,5	12673,090	11822,386	9428,707	6801,210	12911,928	11460,178	4329,308
6,0	16282,010	15196,404	12126,808	8729,777	16586,319	14733,358	5504,449
9,0	23463,082	21910,343	17496,380	12568,394	23897,584	21246,755	7843,759
13,0	32932,941	30764,741	24579,108	17632,770	33538,959	29836,910	10930,694
17,0	42241,084	39468,552	31542,808	22613,204	43015,501	38281,230	13967,160
22,0	53580,784	50072,850	40028,948	28684,045	54560,105	48569,721	17669,360
	Mudanya	Salihli	Susurluk	Tekirdağ	Uludağ		
0,0	1649,586	1945,683	818,574	1754,125	1740,291		
0,1	1874,617	2202,535	905,716	1990,880	1975,529		
0,2	2099,642	2459,379	992,857	2227,628	2210,759		
0,3	2324,659	2716,214	1079,997	2464,368	2445,981		
0,4	2549,668	2973,039	1167,135	2701,099	2681,195		
0,5	2774,669	3229,852	1254,271	2937,821	2916,399		
0,6	2999,660	3486,654	1341,405	3174,532	3151,593		
0,7	3224,641	3743,444	1428,536	3411,233	3386,777		
0,8	3449,612	4000,220	1515,665	3647,922	3621,949		
0,9	3674,571	4256,983	1602,791	3884,598	3857,108		
1,0	3899,517	4513,730	1689,913	4121,262	4092,255		
1,1	4124,452	4770,462	1777,032	4357,912	4327,388		
1,2	4349,372	5027,178	1864,147	4594,547	4562,507		
1,3	4574,278	5283,876	1951,257	4831,167	4797,610		
1,4	4799,170	5540,557	2038,364	5067,771	5032,698		
1,5	5024,046	5797,219	2125,466	5304,358	5267,769		
1,6	5248,906	6053,861	2212,563	5540,928	5502,823		
1,7	5473,749	6310,483	2299,655	5777,480	5737,859		
1,8	5698,574	6567,085	2386,741	6014,013	5972,877		
1,9	5923,381	6823,664	2473,822	6250,527	6207,875		
2,0	6148,169	7080,221	2560,897	6487,020	6442,853		
4,5	11759,714	13484,521	4735,067	12390,665	12308,683		
6,0	15116,321	17315,037	6035,990	15921,897	15817,309		
9,0	21795,632	24936,750	8625,629	22948,481	22798,938		
13,0	30604,404	34987,092	12042,779	32214,805	32006,035		
17,0	39263,411	44865,142	15403,934	41323,104	41056,177		
22,0	49813,182	56898,250	19501,836	52419,629	52081,934		

EK 3 İstasyonlar için elde edilen piksel koordinatları

İSTASYON	Piksel koordinatı *
Akhisar	(413 ; 638)
Aliağa	(195 ; 673)
Ayvalık	(122 ; 507)
Balıkesir Bölge	(430 ; 394)
Bandırma	(456 ; 165)
Bergama	(248 ; 563)
Bigadiç	(492 ; 473)
Burhaniye	(195 ; 443)
Çanakkale	(049 ; 230)
Dikili	(173 ; 583)
Dursunbey	(619 ; 416)
Edremit	(207 ; 411)
Ezine	(031 ; 340)
Gönen	(361 ; 239)
İvrindi	(327 ; 410)
Karacabey	(550 ; 200)
Lapseki	(122 ; 161)
M.Kemal Paşa	(559 ; 261)
Manyas	(451 ; 260)
Susurluk	(498 ; 301)

* : 720x720 alanda (0 ; 0) koordinatı sol alt köşeye göre alınmış piksel koordinatlarıdır. İstasyonlar radardan maksimum 120 km. uzaklıktaki istasyonlardır.

EK 4 İstasyonlar ve komşuluklarındaki 8 piksel ile bunların ortalamalarının yağış bilgileri*

Piksel No	Piksel Koordinatı**		Yağış x1000 (mm)
Akhisar			
1	413	82	4069.00
2	412	82	3802.00
3	414	82	4121.00
4	412	83	3290.00
5	413	83	3340.00
6	414	83	3343.00
7	412	81	4081.00
8	413	81	4334.00
9	414	81	4416.00
		ortalama	3866.22
Aliğa			
1	195	47	1455.00
2	194	47	1378.00
3	196	47	1556.00
4	194	48	1517.00
5	195	48	1580.00
6	196	48	1560.00
7	194	46	1428.00
8	195	46	1368.00
9	196	46	1448.00
		ortalama	1476.67
Ayvalık			
1	122	216	0.000000
2	121	216	0.000000
3	123	216	0.000000
4	121	217	0.000000
5	122	217	0.000000
6	123	217	0.000000
7	121	215	0.000000
8	122	215	0.000000
9	123	215	0.000000
		ortalama	0.000000
Balıkesir-Bölge			
1	430	326	520.000
2	429	326	542.000
3	431	326	502.000
4	429	327	596.000
5	430	327	605.000
6	431	327	584.000
7	429	325	482.000
8	430	325	460.000
9	431	325	464.000
		ortalama	528.333

EK 4 İstasyonlar ve komşuluklarındaki 8 piksel ile bunların ortalamalarının yağış bilgileri* (devam)

Bandırma			
1	456	555	265.000
2	455	555	225.000
3	457	555	286.000
4	455	556	207.000
5	456	556	251.000
6	457	556	277.000
7	455	554	203.000
8	456	554	229.000
9	457	554	254.000
		ortalama	244.111
Bergama			
1	248	157	0.000000
2	247	157	0.000000
3	249	157	0.000000
4	247	158	0.000000
5	248	158	0.000000
6	249	158	0.000000
7	247	156	0.000000
8	248	156	0.000000
9	249	156	0.000000
		ortalama	0.000000
Bigadiç			
1	492	247	1473.00
2	491	247	1434.00
3	493	247	1484.00
4	491	248	1348.00
5	492	248	1427.00
6	493	248	1529.00
7	491	246	1466.00
8	492	246	1408.00
9	493	246	1358.00
		ortalama	1436.33
Burhaniye			
1	195	277	0.000000
2	194	277	0.000000
3	196	277	0.000000
4	194	278	0.000000
5	195	278	0.000000
6	196	278	0.000000
7	194	276	0.000000
8	195	276	0.000000
9	196	276	0.000000
		ortalama	0.000000

EK 4 İstasyonlar ve komşuluklarındaki 8 piksel ile bunların ortalamalarının yağış bilgileri* (devam)

Çanakkale			
1	49	490	0.000000
2	48	490	0.000000
3	50	490	0.000000
4	48	491	0.000000
5	49	491	0.000000
6	50	491	0.000000
7	48	489	0.000000
8	49	489	0.000000
9	50	489	0.000000
		ortalama	0.000000
Dikili			
1	173	137	5548.00
2	172	137	5722.00
3	174	137	6117.00
4	172	138	5893.00
5	173	138	5636.00
6	174	138	5998.00
7	172	136	5719.00
8	173	136	5562.00
9	174	136	6089.00
		ortalama	5809.33
Dursunbey			
1	619	304	193.000
2	618	304	187.000
3	620	304	180.000
4	618	305	0.00000
5	619	305	200.000
6	620	305	180.000
7	618	303	176.000
8	619	303	187.000
9	620	303	183.000
		ortalama	185.750
Edremit			
1	207	309	0.000000
2	206	309	0.000000
3	208	309	0.000000
4	206	310	0.000000
5	207	310	0.000000
6	208	310	0.000000
7	206	308	0.000000
8	207	308	0.000000
9	208	308	0.000000
			0.000000

EK 4 İstasyonlar ve komşuluklarındaki 8 piksel ile bunların ortalamalarının yağış bilgileri* (devam)

Ezine			
1	31	380	0.000000
2	30	380	0.000000
3	32	380	0.000000
4	30	381	0.000000
5	31	381	0.000000
6	32	381	0.000000
7	30	379	0.000000
8	31	379	0.000000
9	32	379	0.000000
		ortalama	0.000000
Gönen			
1	361	481	722.000
2	360	481	594.000
3	362	481	791.000
4	360	482	623.000
5	361	482	724.000
6	362	482	760.000
7	360	480	605.000
8	361	480	663.000
9	362	480	703.000
		ortalama	687.222
İvrindi			
1	327	310	999.000
2	326	310	1071.00
3	328	310	918.000
4	326	311	1122.00
5	327	311	1110.00
6	328	311	1067.00
7	326	309	1034.00
8	327	309	914.000
9	328	309	835.000
		ortalama	1007.78
Karacabey			
1	550	520	0.000000
2	549	520	0.000000
3	551	520	0.000000
4	549	521	0.000000
5	550	521	0.000000
6	551	521	0.000000
7	549	519	0.000000
8	550	519	0.000000
9	551	519	0.000000
		ortalama	0.000000

EK 4 İstasyonlar ve komşuluklarındaki 8 piksel ile bunların ortalamalarının yağış bilgileri* (devam)

Lapseki			
1	122	559	747.000
2	121	559	685.000
3	123	559	847.000
4	121	560	708.000
5	122	560	788.000
6	123	560	879.000
7	121	558	710.000
8	122	558	734.000
9	123	558	832.000
		ortalama	770.000
M.Kemalpaşa			
1	559	459	0.000000
2	558	459	0.000000
3	560	459	0.000000
4	558	460	0.000000
5	559	460	0.000000
6	560	460	0.000000
7	558	458	0.000000
8	559	458	0.000000
9	560	458	0.000000
		ortalama	0.000000
Manyas			
1	451	460	2350.00
2	450	460	2476.00
3	452	460	2225.00
4	450	461	2372.00
5	451	461	2253.00
6	452	461	2166.00
7	450	459	2515.00
8	451	459	2408.00
9	452	459	2333.00
		ortalama	2344.22
Susurluk			
1	498	419	795.000
2	497	419	809.000
3	499	419	847.000
4	497	420	811.000
5	498	420	855.000
6	499	420	925.000
7	497	418	835.000
8	498	418	785.000
9	499	418	806.000
		ortalama	829.778

* : 720x720 alanda (0 ; 0) koordinatı sol üst köşeye göre alınmış piksel koordinatlarıdır.

** : 25.11.2005 tarihi saat 20:00'a ait yağışlar örnek olarak alınmıştır

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı: Kurtuluş ÖZTÜRK

Doğum Yeri: Ankara

Doğum Tarihi: 24.06.1975

Medeni Hali: Evli

Yabancı Dili: İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Ankara Lisesi (1989-1992)

Lisans : Orta Doğu Teknik Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi
Fizik Bölümü(1993-1998)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Fizik Mühendisliği Anabilim Dalı (1999-2001)

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü

Hava Tahminleri Daire Başkanlığı (2000-...)