

**GRİD TİPİ VERİLER ÜZERİNDE KULLANICI
TANIMLI İŞLEM YAPABİLEN DİNAMİK BİR
MODÜL TASARIMI**

**2015
DOKTORA TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ**

Recep KILINÇ

**GRİD TİPİ VERİLER ÜZERİNDE KULLANICI TANIMLI İŞLEM
YAPABİLEN DİNAMİK BİR MODÜL TASARIMI**

Recep KILINÇ

**Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**KARABÜK
Aralık 2015**

Recep KILINÇ tarafından hazırlanan “GRİD TİPİ VERİLER ÜZERİNDE KULLANICI TANIMLI İŞLEM YAPABİLEN DİNAMİK BİR MODÜL TASARIMI” başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarız.

Yrd.Doç.Dr. Baha ŞEN

Tez Danışmanı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi



Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 11/12/2015

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)

İmzası

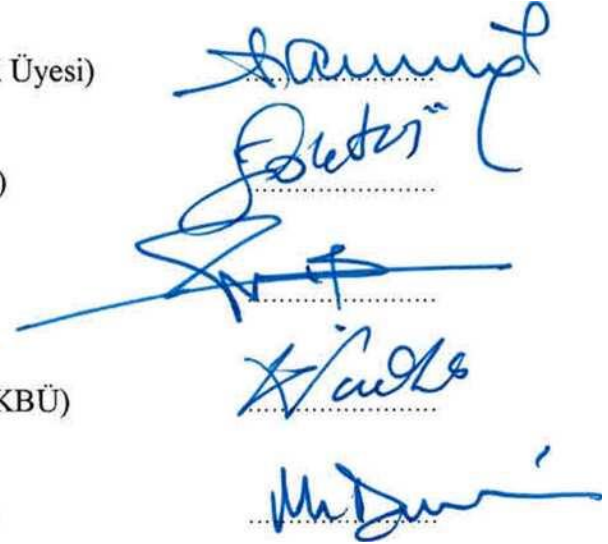
Başkan : Prof. Dr. Abdullah ÇAVUŞOĞLU (YÖK Üyesi)

Üye : Prof. Dr. Halim Haldun GÖKTAŞ (YBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Baha ŞEN (YBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. İlhami Muharrem ORAK(KBÜ)

Üye : Yrd. Doç. Dr. Mehmet DEMİRER (HÜ)



..../..../2015

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Nevin AYTEMİZ

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü



“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Recep KILINÇ

ÖZET

Doktora Tezi

GRİD TİPİ VERİLER ÜZERİNDE KULLANICI TANIMLI İŞLEM YAPABİLEN DİNAMİK BİR MODÜL TASARIMI

Recep KILINÇ

Karabük Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Yrd. Doç.Dr. Baha ŞEN

Aralık 2015, 126 sayfa

Bu çalışma için alanın merkez koordinatları enlem 42.00°, boylam 19.00° olacak şekilde seçilmiş ve RegCM 4.0 modeli ECMWF'nin 1,5°'lik ERA-INTERİM verisiyle oluşturulmuş başlangıç ve sınır koşullarıyla 50 km çözünürlüğünde 23 sigma seviyesinde aerosol ve toz etkisinin hesaba katılmadığı koşullarda çalıştırılmıştır. Model parametre seçiminde okyanus akısında BATS paketi, Konvektif yağış paketinde ise Grell AS74 paketi seçilmiştir. Model 01.01.1989-31.12.2007 dönemi için çalıştırılarak yer seviyesi ve belirli (23 seviye) atmosfer seviyeleri için 2 ve 3 boyutlu meteorolojik ve hidrolojik model çıktıları elde edilmiştir. Elde edilen çıktılar kullanıcı isteğine bağlı olarak seçebileceği istatistiksel yöntemlerin kullanılmasını sağlayacak sistem için gerekli girdi verisini oluşturmaktadır.

Anahtar Sözcükler : Sayısal hava tahmini, iklim modelleri, RegCM.

Bilim Kodu : 902.1.014

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

A USER-DEFINED DYNAMIC MODULE DESIGN CAPABLE OF PROCESS ON THE GRID TYPE OF DATA

Recep KILINÇ

**Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering**

Thesis Advisor:

Assist. Prof. Dr. Baha ŞEN

December 2015, 126 pages

For this study, the area, whose central coordinates of latitude is 42.00° and longitude 19.00° , is chosen, and the model of RegCM 4.0 was run in the conditions in which the effect of the aerosol and dust on the resolution of 50 km at the level of 23 sigma, as well as beginning and border conditions formed with the data of $1,5^\circ$ ERAINTERIM of ECMWF, were ignored. In the selection of the model parameter, the package of BATS for the ocean flow and the package of Grell AS74 for the package of convective rain were taken. The model has gotten 2 and 3 dimension meteorological and hydrological model outputs for particular (23 levels) atmosphere layer and level ground run for the period of 01.01.1989 and 31.12.2007. Those outputs have formed the data of input for the system which supplies access to statistical methods depending on user preferences.

Key Word : Numerical weather prediction, climate models, RegCM.

Science Code : 902.1.014

TEŞEKKÜR

Bu tez alıőmasının planlanmasında, araştırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle alıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren Sayın Hocam Yrd.Doç.Dr. Baha şEN'e ve Yrd.Doç.Dr. Burak şEN'e teőekkürlerimi sunarım.

Aileme de yılmadan yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL.....	ii
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xiv
BÖLÜM 1.	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2.	3
İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ	3
2.1. TARİHSEL İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ	4
2.2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN NEDENLERİ	8
2.2.1. Doğal Sera Etkisi	14
2.2.2. Sera Etkisinin Kuvvetlenmesi Ve Küresel Isınma	16
2.2.3. Troposferde Biriken Gazlar	17
2.2.4. Sıcaklık Değişikliklerine İnsan Katkısı.....	17
2.3. BEKLENEN İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ	20
2.3.1. Sıcaklık Beklentisi	20
2.3.2. Yağış Beklentisi	21
2.3.3. Kar Ve Buz Beklentileri	21
2.3.4. Deniz Seviyesi Beklentisi.....	22
2.4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TÜRKİYE’DE Kİ ETKİLERİ	22
2.5. BEKLENEN KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ	34
BÖLÜM 3.	41

	<u>Sayfa</u>
SAYISAL HAVA TAHMİNİ	41
3.1. İKLİM MODELLERİ.....	42
3.1.1. Küresel (Global) İklim Modelleri	45
3.1.2. Sınırlı Alan (Bölgesel) İklim Modelleri	51
3.1.2.1. MM5 Modeli	53
3.1.2.2. ALADIN Modeli	54
3.1.2.3. PRECIS Modeli	55
3.1.2.4. RegCM Modeli	56
3.1.3. İklimsel Verilerin Analizinde Kullanılan Yöntemler	69
3.1.3.1. Ortalama Hata.....	69
3.1.3.2. Kök Hata kareler Ortalaması (RMSE)	70
3.1.3.3. İki Ortalama Arasındaki Farkın Anlamlığı İçin Student t Testi	70
3.1.3.4. Dizisel İlişkilerin Belirlenmesi.....	72
3.1.4. RegCM Bölgesel İklim Modeli.....	74
3.1.4.1. RegCM Modelinin Çalıştırılması	74
3.1.4.2. RegCM Modelinin Çıktıları	76
BÖLÜM 4.	81
VERİ VE YÖNTEM.....	81
4.1. VERİ.....	81
4.1.1. Gözlem Verileri	81
4.1.2. Modelin Çalıştırılması Sonucunda Oluşan Tahmin Verileri	82
4.2. YÖNTEM.....	85
4.2.1. İnterpolasyon Yöntemleri	85
4.2.1.1. Çift Doğrusal (Bilineer) İnterpolasyon	85
4.2.1.2. En Yakın Komşu Yöntemiyle İnterpolasyon	87
4.2.2. Doğrulama (Verifikasyon) Yöntemleri	87
4.2.2.1. Objektif Doğrulama	88
4.2.2.1. Subjektif Doğrulama	88
4.2.3. İklimsel Verilerin Analizinde Kullanılan Yöntemler	89
4.2.3.1. Ortalama Hata (ME)	89
4.2.3.2. Ortalama Mutlak Hata (MAE)	90

	<u>Sayfa</u>
4.2.3.3. Hata Miktarı Karelerinin Ortalamasının Kök Değeri (RMSE)	90
4.2.3.4. İhtimal Tablosu ve Buna Bağlı Elde Edilen Değerler	90
BÖLÜM 5.	96
SİSTEMİN OLUŞTURULMASI VE UYGULAMA.....	96
5.1. SİSTEMİN MİMARİSİ	96
5.2. VERİLERİN SİSTEME AKTARILMASI	97
5.2.1. Gözlem Verilerinin Sisteme Aktarılması	97
5.2.2. Model (Tahmin) Verilerinin Sisteme Aktarılması.....	97
5.3. SİSTEMİN UYGULANMASI.....	99
BÖLÜM 6.	111
SONUÇ VE ÖNERİLER.....	111
KAYNAKLAR.....	114
ÖZGEÇMİŞ.....	126

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Sera gazı salımları ve küresel sıcaklıkların uzun yıllar ortalamalarından sapması.....	3
Şekil 2.2. Pleyistosen'den beri gerçekleşen küresel sıcaklık değişimlerinin farklı üç zaman ölçeğindeki şematik gösterimi.....	5
Şekil 2.3. Küresel yıllık ortalama yüzey sıcaklığı sapmalarının 1856-2004 dönemindeki değişimleri.....	7
Şekil 2.4. Atmosferdeki aylık ortalama CO ₂ yoğunlaşması.....	9
Şekil 2.5. SRES senaryoları.....	9
Şekil 2.6. SRES senaryolarına göre 1990-2100 CO ₂ salımları ve yoğunlaşması.....	11
Şekil 2.7. Çeşitli sera gazı salım senaryolarına göre 2100 yılına kadar öngörülen sıcaklık değişimleri.....	12
Şekil 2.8. Normal bir iklim için karbon salımı.....	13
Şekil 2.9. Yıllık kişi başına düşen karbon salınımları.....	13
Şekil 2.10. Sera etkisinin gösterimi.....	15
Şekil 2.11. 1950 öncesi geçmiş 420,000 yıllık döneme ait buz sondaj verileri.....	16
Şekil 2.12. Küresel yıllık ortalama yüzey sıcaklığındaki değişimlerin birleşik okyanus-atmosfer iklim modelinin ürettiği dört küresel yüzey sıcaklığı benzeştirmesi ile karşılaştırılması.....	18
Şekil 2.13. Avrupa da tahıl veriminde beklenen değişim.....	31
Şekil 2.14. Çoklu model ortalamalarına göre kış ve yaz yağışlarında beklenen değişimler.....	35
Şekil 3.1. İklim modelinin şeması.....	43
Şekil 3.2. İklim modellerinin tarihi gelişimi.....	44
Şekil 3.3. İklim modeli öğelerinin şematik gösterimi.....	47
Şekil 3.4. Küresel ölçek ve bölgesel ölçek.....	49
Şekil 3.5. Birleştirilmiş bölgesel yer sistem modeli.....	51
Şekil 3.6. Küresel ve bölgesel iklim modeli'nin şematik gösterimi.....	52
Şekil 3.7. MM5 İklim Modeli'nin sistemsel akış şeması.....	53
Şekil 3.8. ALADIN Modeli tahmin alanlarının uydu üzerinden görünümü.....	55
Şekil 3.9. PRECIS kullanıldığı ülkeleri gösteren harita.....	55

Şekil 3.10. Harita Projeksiyonları.....	63
Şekil 3.11. Model grid yapısı.....	64
Şekil 3.12. Dört grid değerinin bir noktaya enterpolasyonu	65
Şekil 3.13. İki örneklem ortalamasının karşılaştırılmasında izlenecek akış diyagramı.....	72
Şekil 3.14. RegCM modelinin oluşturulmasının şematik gösterimi	75
Şekil 3.15. Üç boyutlu ve dört boyutlu NetCDF verilerin depolanması.....	77
Şekil 4.1. Türkiye’de bulunan başlıca gözlem istasyonlarının dağılımı	81
Şekil 4.2. RegCM çalışma alanının model topoğrafyası	83
Şekil 4.3. Oluşturulan sistemde RegCM modelinin akış şeması	84
Şekil 4.4. Çift doğrusal interpolasyon yöntemi ile bir noktanın kestirimi	85
Şekil 4.5. En yakın komşu interpolasyon yönteminde bir noktanın kestirimi.....	87
Şekil 4.6. Gözlem-tahmin fark haritası	88
Şekil 5.1. Geliştirilen sistemin mimarisi	96
Şekil 5.2. Veri tabanında tutulan İstasyon bilgileri, model çıktı dosyalarından elde edilen parametre değerleri ile gözlem verilerine ait değerler	97
Şekil 5.3. Model dosyalarının veri tablosu(datagrid) üzerinde gösterilmesi.....	99
Şekil 5.4. Atatürk Hava Alanı'na ait 1996 yılı sıcaklık değerleri	100
Şekil 5.5. Atatürk Hava Alanı için 12 günlük BIAS çizgi grafiği	100
Şekil 5.6. Esenboğa Hava Alanı'na ait 1996 yılı model yağış değerleri	102
Şekil 5.7. Esenboğa Hava Alanı için günlük toplam yağış değerleri.....	103
Şekil 5.8. Esenboğa Hava Alanı için hesaplanan değerler	104
Şekil 5.9. Esenboğa Hava Alanı için hesaplanan istatistiksel değerler	104
Şekil 5.10. Esenboğa Hava Alanı için isabet/ıska frekans grafiği	105
Şekil 5.11. İstasyonların model ve gözlem yıllık toplam yağışlarının istasyon lokasyon ve yükseklik koşullarına göre sınıflandırılmış scatter plot grafikleri.....	108
Şekil 5.12. İstasyonların model ve gözlem ortalama yıllık toplam yağışlarının scatter plot grafikleri.....	110

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. Bölgesel iklim benzeşimlerinin karşılaştırılması projesi (PIRCS)'nde kullanılan modeller ve özellikleri.....	37
Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan gözlem istasyonlarına ait bilgiler	82
Çizelge 4.2. İhtimal tablosu.....	91
Çizelge 5.1. Model dosyalarından elde edilen veriler	98
Çizelge 5.2. 18 istasyona ait 1996 yılı ME, MAE ve RMSE değerleri	101
Çizelge 5.3. Yağış verilerinin zamansal gösterimi	102
Çizelge 5.4. Esenboğa Hava Alanı'na ait ihtimal tablosu	103
Çizelge 5.5. Esenboğa Hava Alanı'na ait toplam yağış miktarı doğrulama tablosu.....	104

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

°C	: Santigrat derece
CFC	: Klorofluorokarbon
CH ₄	: Metan
CO ₂	: Karbondioksit
GtC	: GigatonCarbon
H ₂ O	: Su, su buharı
HFC	: Hidrofluorokarbonlar
hPa	: Hektopaskal
km	: Kilometre
m	: Metre
N ₂ O	: Diazotmonoksit
O ₃	: Ozon
PFC	: Perfluorokarbonlar
ppm	: Parts per million
ppmv	: Hacimsel yoğunlaşma (milyonda bir birim)
SF ₆	: Sülfür heksafluorid
SO ₂	: Kükürtdioksit
SO ₄	: Sülfat
ton	: Ton
W/m ²	: Watt/metrekare

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
ACM	: Atmosferik Kimya Modeli
AGCM	: Atmosferik Küresel Dolaşım Modeli
ALADIN	: French Reginal Climate Model (Fransın Bölgesel İklim Modeli)
ARPEGE	: French Reginal Climate Model (Fransın Bölgesel İklim Modeli)
AS74	: Arakawa & Schubert 1974
AVN	: USA Reginal climate model (Amerikan bölgesel İklim Modeli)
B	: Bias
BATS	: Biyosfer-Atmosfer Transfer Modeli
BM	: Birleşmiş Milletler
CCM	: Karbon Dönüşüm Modeli
CFC	: Klorofluorokarbon
COSMO	: Consortium for Small-Scale Modeling (Küçük Ölçekli Modelleme Konsorsiyumu)
CRU	: İklim Araştırma Birimi
ECMWF	: European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (Avrupa Orta Vadeli Hava Tahminleri Merkezi)
ERA-interim	: Global atmospheric reanalysis (Küresel Atmosferik Analiz)
Eta	: Reginal Climate Model (Bölgesel İklim Modeli)
ETS	: Equitable Threat Score (Tehdit Puanı)
FAR	: False Alarm Ratio (Yanlış Alarm Oranı)
GCM	: Küresel iklim modeli
GEM	: Küresel iklim modeli (Kanada)
GM	: Küresel iklim modeli (Almanya)
GRIB	: Gridded Binary (Binary Grid)
GSMH	: Gayri Safi Milli Hâsıla
HadAMP3	: Hadley Merkezi'nin Atmosferik Genel Dolaşım Modeli
HadCM3	: Hadley Merkezi'nin Genel Dolaşım Modeli
HFC	: Hidrofluorokarbon
HIRLAM	: High Resolution Limited Area Model (Yüksek Çözünürlük Sınırlı Alan Modeli)

HSS : Heidke Skill Score xv (Beceri Puanı)
IFS : Integrated Forecast System (Tümleşik Tahmin Sistemi)
IPCC : Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli
İDÇS : Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
JMA : The Japan Meteorological Agency (Japon Meteoroloji Ajansı)
KSS : Hanssen-Kuipers Skill Score (Beceri Puanı)
MAE : Mean Absolute Error (Ortalama Mutlak Hata)
ME : Mean Error (Ortalama Hata)
MM5 : The PSU/NCAR mesoscale model (MM5 olarak bilinmektedir.)
MRF : Küresel iklim modeli (ABD)
MS : Milattan sonra
NASA : National Aeronautics and Space Administration (Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi)
NCAR : National Center for Atmospheric Research (Ulusal Atmosferik Araştırmalar Merkezi)
NOAA : National Oceanic and Atmospheric Administration (Ulusal Okyanus ve Atmosfer İdaresi)
NWP : Sayısal Hava Tahmini
OGCM : Okyanus Küresel Dolaşım Modeli
OR SS : Odds Ratio Skill Score (Beceri Puanı)
PC : Proportion Correct (Doğrulama Oranı)
PFC : Perfluorokarbonlar
PHP : Personel Home Page (Programlama Dili)
POD : Probability of Detection (Tespit Olasılığı)
POFD : Probability Of False Detection (Hata Olasılığı)
PRECIS : Providing Regional Climates for Impacts Studies (Sınırlı alan modeli)
RCM : Regional Climate Model (Sınırlı alan modeli)
RegCM : ICTP Regional Climate Model (Sınırlı alan modeli)
RMSE : Root Mean Square Error (Hata Miktarı Karelerinin Ortalamasının Kök Değeri)
SRES : Special Report on Emissions Scenarios (Emisyon Senaryoları Özel Raporu)
SQL : Structured Query Language (Yapılandırılmış Sorgu Dili)

- TAR : Üçüncü Değerlendirme Raporu
- TEFER : Turkey Earthquake and Flood Recovery Project (Türkiye Deprem ve Sel Kurtarma Projesi)
- Terc-RAMS : Terrestrial Environment Research Center Regional Atmospheric Modeling System (Bölgesel Atmosferik Modelleme Sistemi Araştırma Merkezi)
- TOBB : Türkiye Odalar ve Borsalar Birliği
- TS : Threat Score (Tehdit Puanı)
- ULAKBİM : Ulusal Akademik Ağ ve Bilgi Merkezi (TÜBİTAK)
- UM : Küresel iklim modeli (İngiltere)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Dünya üzerindeki bir yerde herhangi bir anda yaşanan ya da gözlemlenen atmosferik olayların tamamına *hava* denir.

“Yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca yaşanan ya da gözlenen tüm hava koşullarının ortalama özelliklerinin ve oluşma sıklıklarının zamana bağlı dağılımlarının, gözlenen uç değerlerin, şiddetli olayların ve tüm değişkenlik durumlarının tümü” ise *iklim* olarak tanımlanır [1]. Hava ve iklim, insan hayatını, yaşam standardını, sağlığını, ekonomisini doğrudan etkiler. İnsanoğlu, yüzyıllar boyunca, iklim ve çevre koşullarıyla uyumlu bir hayat tarzı oluşturmak için yaşam alanlarını, gıda ve enerji üretimlerini düzenleme ve kendisini buna uydurma çabası içinde olmuştur. *İklim değişikliği*, “iklimin ortalama durumunda veya istatistiksel olarak iklim değişkenliğinde onlarca yıl boyunca süren anlamlı değişimler” olarak tanımlanabilir. İklim değişikliği, doğal süreçler ve arazi kullanımındaki sürekli insan kaynaklı değişiklikler nedeniyle oluşabilir. Bu konuda bilinmesi gereken başka bir önemli kavram ise, iklim değişkenliği veya değişebilirliğidir. İklimsel değişkenlik, “tüm zaman ve alan ölçeklerinde iklimin ortalama durumundaki ve standart sapmalar ile uç olayların oluşumu gibi öteki istatistiklerindeki değişimlerdir.” İklimsel değişebilirlik, iklim sistemi içerisindeki doğal iç süreçlere (içsel değişebilirlik) ya da doğal kaynaklı dış zorlama etmenlerindeki değişimlere (dışsal değişebilirlik) bağlı olarak oluşabilir [1].

İklim sistemi içinde oluşan süreçler ve etkiler, iklim sisteminin içerisinde gelişir. İklim değişikliğinin potansiyel ‘iç’ nedenleri, atmosferin bileşimindeki ve yerkürenin yüzey özelliklerindeki doğal ya da insan kaynaklı önemli değişiklikleri içerir. Örneğin, insan etkinlikleri sonucunda atmosfere salınan sera gazları ve aerosol’ler (çeşitli uçucu küçük parçacıklar) ile volkanik püskürmeler, etki süreleri değişmekle birlikte, iklim değişikliklerine neden olabilecek başlıca iç süreç ve etmenlerdir. Dış

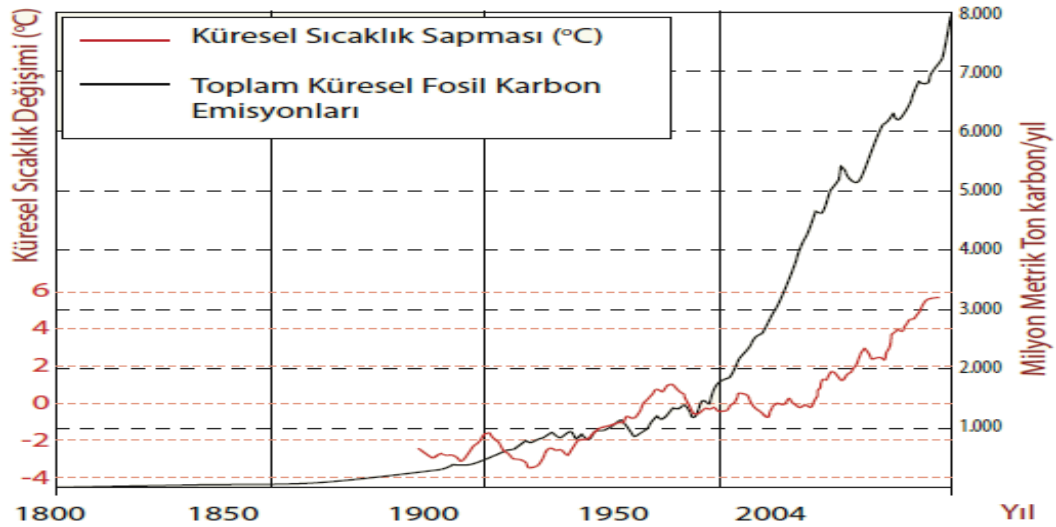
süreç ve etmenlerin neden olduğu değişiklikler ise, iklim sisteminin dışında gelişir. İklim değişikliğinin potansiyel ‘dış’ nedenleri, temel olarak Yer kabuğundaki levha hareketlerini, güneş etkinliklerindeki ve dünya ile güneş arasındaki astronomik ilişkilerdeki değişiklikleri içerir. Bu astronomik ilişkiler, Milankovitch döngüleri olarak da adlandırılan bir dizi dönemsel değişiklikleri içermekte ve uzun dönemli iklim değişikliklerinin açıklanması açısından önemli kanıtlar sunabilmektedir. Küresel iklimi etkileyebilecek olan başlıca astronomik ilişkiler, dünyanın yörüngesindeki şekil değişikliklerini (daha yuvarlak ya da daha eliptik biçimli oluşunu), eksen eğikliğindeki değişiklikleri ve perihel konumundaki salınımları içerir. Sözü edilen bu değişiklikler, Kuvaterner’deki buzul çağlarında olduğu gibi, Yerküre’nin jeolojik geçmişindeki iklim değişikliklerinin oluşmasında ve denetiminde önemli bir görev üstlenmiş olmalıdır. Ancak, iklim değişikliğinin bilinen ‘dış’ nedenlerinin, kısa süreli iklim değişikliklerini, özellikle iklimsel değişkenlikleri açıklaması olanaksızdır.

İklimdeki değişiklikler, buzul ve buzul arası çağlar arasında, dünyanın çeşitli bölgelerinde ortalama sıcaklıklarda oluşan büyük değişiklikler şeklinde ortaya çıktığı gibi, yağış değişimlerini de içermektedir. Günümüzde ki öğrendiklerimize göre, Yerkürenin 4,6 milyar yıllık jeolojik tarihi boyunca iklim sisteminde milyonlarca yıldan günümüze kadar tüm zaman ölçeklerinde doğal nedenlerle birçok değişiklik olmuştur. Jeolojik devirlerdeki iklim değişiklikleri, özellikle buzul hareketleri ve deniz seviyesindeki değişimler yoluyla yalnızca dünya coğrafyasını değiştirmekle kalmamış, çevreyle ilgili sistemlerde de kalıcı değişiklikler oluşturmuştur. Ancak 19. yüzyılın ortalarından beri, iklimdeki doğal değişe bilirlige ek olarak, ilk kez insan faaliyetlerinin de iklimi etkilediği bir döneme girildi. Bu yüzden, günümüzde iklim değişikliği, sera gazı birikimlerini arttıran insan faaliyetleri dikkate alınarak da tanımlanabiliyor. Örneğin, iklim değişikliği, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi’nde (BM İDÇS), “karşılaştırılabilen zamanlarda gözlenen doğal iklim değişimlerine ek olarak doğrudan veya dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda iklimde oluşan değişiklikler” olarak tanımlanmaktadır [1].

BÖLÜM 2

İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Dünyanın çok uzun jeolojik tarihinde iklim sistemi gözönüne alındığında, doğal nedenlerden pek çok değişiklik olmuştur. Jeolojik devirlerdeki iklim değişimleri, buzul hareketleri ve deniz seviyelerindeki değişimler nedeniyle sadece dünya coğrafyasını değiştirmekle kalmamış, çevreyle ilgili sistemlerde de kalıcı değişiklikler meydana gelmiştir [1]. Ancak günümüzde “İklim Değişikliği” denilince, doğal nedenlere bağlı değişim sürecine göre çok daha hızlı gelişen ve insanlığın doğrudan etkilediği değişiklikler için kullanılmaktadır.



Şekil 2.1. Sera gazı salımları ve küresel sıcaklıkların uzun yıllar ortalamalarından sapması [2]. (Sera gazı (karbon) salımlarına ait veriler [3] kaynağından, küresel sıcaklık sapmalarına ait veriler [4] den alınmıştır.)

Buna göre, Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi'nde İklim Değişikliği, “karşılaştırılabilen zamanlarda gözlenen doğal iklim değişimlerine ek olarak doğrudan veya dolaylı olarak küresel atmosferin bileşimini bozan insan faaliyetleri sonucunda iklimde oluşan değişiklikler” olarak tanımlanmaktadır.

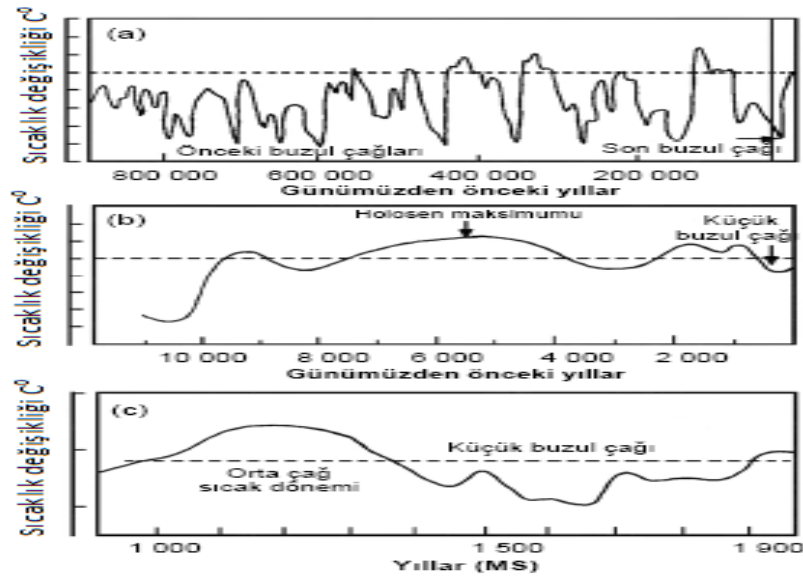
Sözü edilen insan faaliyetleri, fosil yakıtların yakılması, arazi kullanımı değişiklikleri, ormansızlaştırma ve çeşitli sanayi süreçleri gibi faaliyetlerdir. Bunlar, atmosfere salınan sera gazı miktarlarının hızla artmasına neden olmakta ve bu hızlı artışın etkisiyle yüzey sıcaklıklarında ve yağışlarda değişiklikler ortaya çıkmaktadır. Bu ilişki Şekil 2.1’de görülebilir.

2.1. TARİHSEL İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ

Yerkürenin 4,5 milyar yıllık tarihi boyunca iklim sisteminde milyonlarca yıldan günümüze kadar değişen aralıklarla farklılaşmalar olmuştur. Jeolojik devirlerdeki iklim değişiklikleri özellikle buzulların hareketli oluşu ve deniz seviyesindeki değişiklikler yalnızca dünya coğrafyasını değiştirmekle kalmamış, çevreyle ilgili sistemlerde de kalıcı etkileri oluşturmuştur. Örneğin, günümüzden yaklaşık 140-165 milyon yıl önce II. jeolojik Zamanın (Mesozoik) Kretase döneminde, küresel iklimin bugüne kıyasla 10-15 °C daha sıcak ve atmosferdeki karbondioksit (CO₂) birikiminin 4-8 kat daha yüksek olduğu bilinmektedir. Etkileri jeomorfolojik ve klimatolojik olarak en iyi bilinen en son ve en önemli doğal iklim değişiklikleri ise yaklaşık 2.5 milyon yıl sürmüş olan 4. Zamandaki buzul ve buzul arası dönemlerde oluşmuştur. Aynı zamanda insanın ortaya çıktığı zaman olduğu için Antropozoik adı da verilen 4. Zamanın günümüzden yaklaşık 12.000-100.000 yıl önce hüküm süren son buzul çağında yerküre’nin ortalama sıcaklığı bugüne kıyasla 5 °C daha soğuktu. Öte yandan iklim sistemi yaklaşık 10.000 yıldan beri içinde bulunduğu kabul edilen Holosen buzul arası döneminde önceki buzul çağlarına göre daha az değişkenlik göstermiştir. Son araştırma sonuçlarına göre, küresel ortalama sıcaklıkların geçen 10.000 yıldaki herhangi bir yüzyılda 1 °C’den daha fazla değişmiş olması olası görülmemektedir. Bu dönemde atmosferdeki CO₂ birikimi ise yaklaşık 280 ±10 ppm dolayında değişen bir dalgalanma göstermiştir [5].

Tüm alan ve zaman ölçeklerinde gerçekleşen iklim değişiklikleri, hem iklim sistemindeki içsel değişkenliğin, hem de doğal ve antropojen dış etmenlerin bir sonucu olarak oluşabiliyor. Jeolojik zamanlardaki iklim değişikliklerine ilişkin bilimsel kanıtlar, jeoloji, jeomorfoloji, paleoklimatoloji, paleocoğrafya, paleontoloji ve paleoekoloji araştırmaları ile elde edilir. Etkileri jeomorfolojik ve klimatolojik

olarak en iyi bilinen en son ve en önemli doğal iklim değişiklikleri ise, yaklaşık 2 milyon yıl sürmüş olan 4. Zamandaki (Kuvaterner) buzul ve buzul arası dönemlerde oluşmuştur. Kuvaterner'deki iklim değişiklikleri, günümüzde buzullardan alınan örnekler, deniz ve göllerde biriken ince çökelti katmanları, karstik mağaralardaki kalsiyum karbonat birikimleri ve ağaç halkaları gibi çeşitli dolaylı kayıtlar yardımıyla, kendisinden çok daha uzun sürmüş olan önceki jeolojik dönemlerdekilere göre, daha doğru ve ayrıntılı olarak açıklanabiliyor.



Şekil 2.2. Pleyistosen'den beri gerçekleşen küresel sıcaklık değişimlerinin farklı üç zaman ölçeğindeki şematik gösterimi: a) Son bir milyon yıllık dönem; b) son on bin yıllık dönem; c) Son bin yıllık dönem [6] Grafiklerdeki kesikli düz çizgi, 20. yüzyılın başındaki ortalama koşulları temsil eder.

Paleoklimatolojik kayıtlar Yerküre'nin yüzey sıcaklığında tüm zaman ölçeklerinde çok belirgin salınımlar gerçekleştiğini açık bir biçimde kanıtlıyor. Örneğin, Kuvaterner'in son bir milyon yıllık döneminde (Pleyistosen'in önemli bir bölümünü ve Holosen'in tümünü içerir), yüzey sıcaklıklarının çeşitli zaman ölçeklerinde gösterdiği belirgin dalgalanmalar çok dikkat çekicidir (Şekil 2.2). Geniş alanlara ilişkin ortalama sıcaklıklardaki 4-5 °C genlikli uzun süreli dalgalanmalar, buzul çağlarının yaygınlaşmasına ve gerilemesine neden olmuştur. Kuzey yarımkürenin orta ve yüksek enlemlerinde binlerce yıl etkili olan buzul çağları, büyük bir olasılıkla, gelen güneş ışınımının Yerküre'nin yörüngesindeki değişiklikler yüzünden azalması ve yüzey sıcaklıklarında geniş ölçekli dalgalanmalara neden olması ile

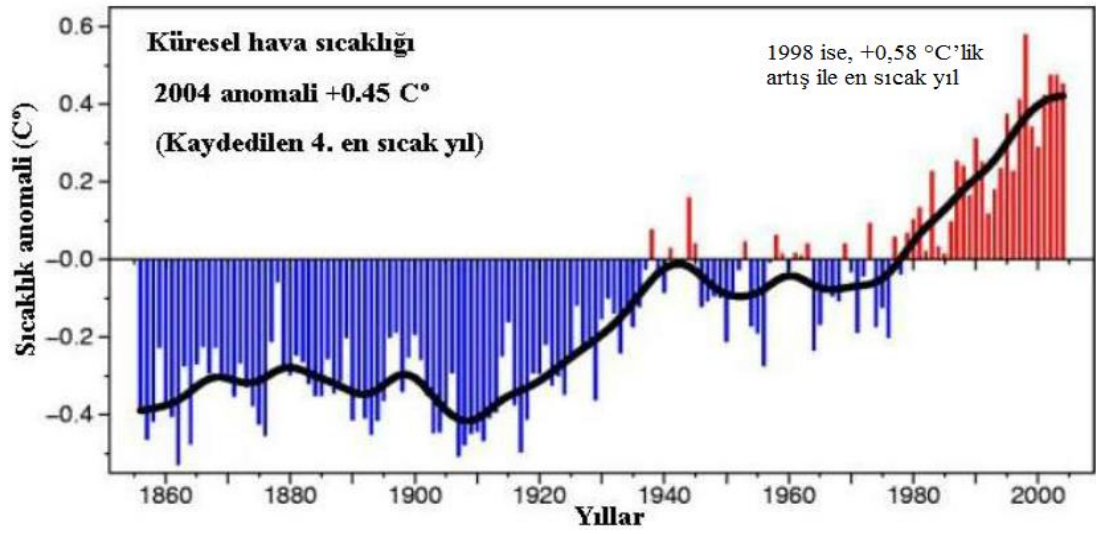
bağlantılıdır. Ancak, buzul koşullarının ortaya çıkması için, Milankovitch kuramını tek neden olarak kabul etmek gerekemeyebilir [6]. Günümüzde, buzul çağlarının başka nedenleri üzerinde de duruluyor. Örneğin, Yerküre günümüzden on bin yıl önce son büyük buzul çağından (Würm) çıkarken, sıcaklıklardaki artış eğilimi tüm Kuzey Atlantik bölgesinde ve Güney Yarımküre'nin bazı bölgelerini de içeren çeşitli yerlerde, kısa bir dönem için bile olsa tersine dönmüştür. Derin Atlantik okyanusu dolaşımındaki değişikliklerin neden olduğu düşünülen bu soğuma dönemi, yaklaşık 500 yıl sürmüştür [7,8].

Konuyla ilgili birçok çalışma [9,10], yüzey sıcaklıklarının bugünden daha yüksek olduğu son buzul çağının sonundan beri uzunlukları farklı çeşitli dönemlerin varlığını vurgulamıştır. Şekil 2.2'de Würm buzul çağı sonrasındaki yaklaşık on bin yıllık döneme (Holosen) bakıldığında, küresel sıcaklık kaydının, Pleyistosen'deki buzul ve buzularası çağlara göre daha sıcak ve çok daha kararlı bir gidiş gösterdiği görülür. Bu dönemin başlıca özelliklerinden birisi, günümüzden yaklaşık beş bin yıl önce Holosen maksimumu (buzul sonrası iklim optimumu) adı verilen sıcak bir dönemin varlığıdır (Şekil 2.2). Bu dönemde, Antarktika ve Avrupa'daki yaz sıcaklıkları günümüzden 2-3 °C daha yüksekti [11].

Tarihsel çağlara yaklaştıkça, uzunlukları ve etkileri birbirinden farklı çeşitli tarihsel iklim değişiklikleri gerçekleşmiştir. MS 1000-1300 yılları arasında oluşan orta çağ sıcak dönemi ve MS 1450-1850 döneminde oluşan küçük buzul çağı, Kuzey Yarımküre'de özellikle Avrupa'da etkili olmuştur (Şekil 2.2). Buzul sonrası döneme göre daha az etkili ve daha kısa süreli bir ısınmanın olduğu ortaçağ sıcak döneminde, yaz sıcaklıkları, batı ve orta Avrupa'da olasılıkla günümüzden 1 °C daha sıcaktı.

Küçük buzul çağında ise, özellikle Kuzey Yarımkürede dağ buzullarında ve Arktik deniz buzunda belirgin bir ilerleme gerçekleşti. Bu dönemde, Kuzey Yarımküre'nin (örneğin, 17 yüzyılım ikinci yarısında Britanya'da) özellikle kış mevsimlerinin çok sert geçtiği ve insan yaşamı ile tarım ve hayvancılık etkinliklerinde önemli olumsuz etkilerin olduğu biliniyor.

Temel olarak insan etkinlikleri sonucunda atmosferin bileşiminde ortaya çıkan önemli değişiklikler sonucunda, yüzey sıcaklıklarında 19. yüzyılın sonlarında başlayan ısınma, 1980'li yıllarla birlikte daha da belirginleşerek, hemen her yıl bir önceki yıla göre daha sıcak olmak üzere, küresel sıcaklık rekorları kırdı ve küresel ortalama yüzey sıcaklığı, 20. yüzyılın başından günümüze değin yaklaşık olarak 0,7 °C arttı [12-16].



Şekil 2.3. Küresel yıllık ortalama yüzey sıcaklığı sapmalarının 1856-2004 dönemindeki değişimleri [17].

Şekil 2.3'de küresel olarak, 1990'lı ve 2000'li yıllar aletli gözlem kayıtlarındaki en sıcak yıllar; 1998 ise, +0,58 °C'lik artış ile en sıcak yıl oldu [14,16]. Benzer ısınma eğilimleri ve yüksek sıcaklık rekorları, Güney Yarımkürenin ve özellikle Kuzey Yarımkürenin yıllık ortalama sıcaklıklarında da gözleniyor. Şekil 2.3'de küresel ölçüm sonuçlarına göre, 2005 yılı 0,485 °C'lik bir artış ile tüm kürenin 0,648 °C ile de kuzey yarım kürenin en sıcak ikinci yılı oldu. Ayrıca, minimum (gece en düşük) hava sıcaklıklarında yaklaşık her on yılda 0,2 °C olarak gerçekleşen artış, maksimum (gündüz en yüksek) hava sıcaklıklarındaki artışın yaklaşık iki katı oldu.

IPCC'nin son değerlendirmeleri de, iklim sistemindeki ısınmanın kuvvetlendiğini gösteriyor [13]. Küresel ortalama yüzey sıcaklıkları için güncellenen yüz yıllık (1906–2005) doğrusal eğilimin büyüklüğü, 0,74 °C'ye ulaşmıştır ($0,74 \pm 0,18$ °C). Doğrusal ısınma eğilimi, son 50 yıllık dönemde geçen 100 yıllık dönemin yaklaşık

iki katı olmuştur (0,13 °C/10 yıl). Şehirleşmenin etkisi, daha çok yerel düzeydedir ve sıcaklık değerleri üzerindeki etkilerinin (karalar üzerinde 0,006 °C/10 yıl'dan daha küçük) göz ardı edilebilir düzeyde olduğu kabul edilmiştir. Temel olarak atmosferin alt ve orta troposfer katmanlarına karşılık gelen en alt 8 kilometrelik bölümündeki hava sıcaklıkları da, geçen 40 yıllık dönemde belirgin bir artış eğilimi gösterdi. Paleoiklim çalışmalarından elde edilen yeni bulgulara dayanan son değerlendirmelere göre, geçen yarım yüzyıldaki ısınma, en azından önceki 1,300 yıldakine göre olağandıdır [13].

Öte yandan yirminci yüzyılda, orta enlem ve kutupsal kar örtüsü, kutupsal kara ve deniz buzları ile orta enlemlerin dağ buzulları eriyerek azalırken, gel-git ve deniz seviyesi ölçüm kayıtlarına göre küresel ortalama deniz seviyesi, yaklaşık 0,17 m (0,12-0,22 m arasında) yükseldi ve okyanusların ısı içerikleri arttı [12,13].

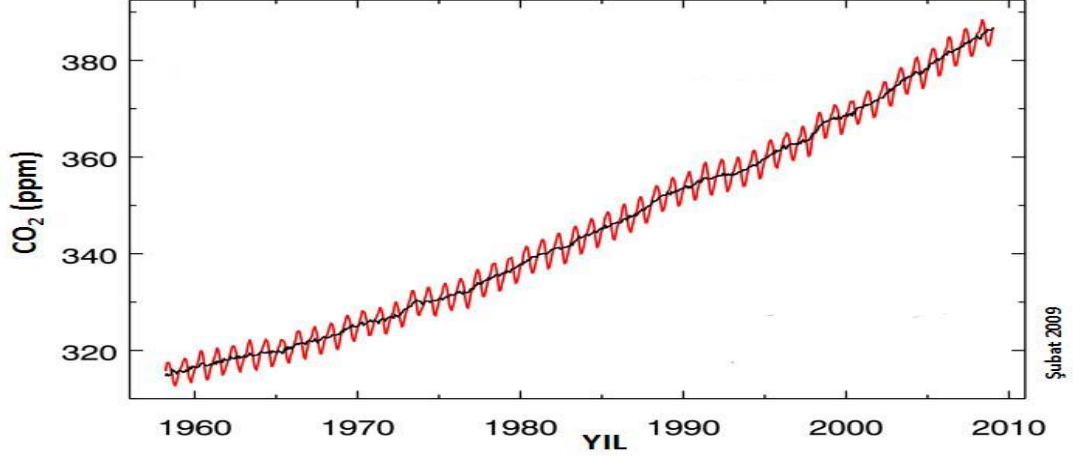
Deniz seviyesi yükselmesinin belirlenmesinde karşılaşılan başlıca belirsizlik, düzey yerkabuğu hareketlerinin gel-git ve deniz seviyesi ölçümlerinin üzerindeki etkisidir. Yağışlar kuzey yarımkürenin orta ve yüksek enlem bölgelerinde her on yılda yaklaşık % 0,5 ile % 1 arasında artarken, subtropikal karaların önemli bir bölümünde her on yılda yaklaşık % 3 azaldı [12].

2.2. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN NEDENLERİ

Genel olarak doğal sera etkisi, kuvvetlenen sera etkisi, sülfat parçacıklarının küresel iklim üzerindeki etkileri ve güneş ışınımındaki değişiklikler olarak dört ana sınıfta incelenebilir.

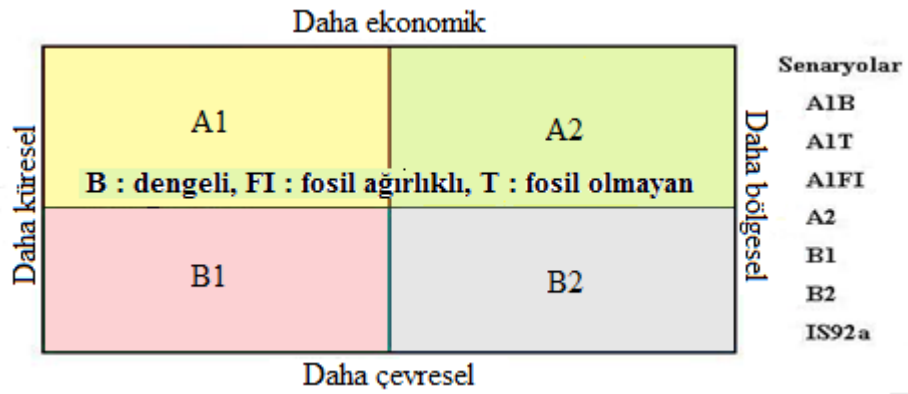
Atmosferdeki sera gazları miktarı (başta karbondioksit olmak üzere) son yüz yıl içerisinde, insan faaliyetinin bir sonucu olarak, hızla artmaktadır. Çok büyük bir kısmı fosil yakıt tüketiminden kaynaklanan insan kaynaklı karbon salımları 1850'lerde senelik 50 milyon metrik ton seviyesinden 2000'de yıllık 6,5 milyar ton seviyesine ulaşmıştır. En yüksek ısı hapsedme kapasitesine sahip olan temel seragazı karbondioksitin atmosferdeki miktarı ise endüstri çağı öncesindeki 290 ppmv seviyesinden 2004'te 377 ppmv seviyesine ulaşmıştır [18]. (Şekil 2.4)'deki grafik bu

gelişmeyi güncel olarak göstermektedir. Üstelik Hükümetlerarası İklim Değişikliği Panelinin 2001 tarihli üçüncü değerlendirme raporuna göre günümüzdeki karbondioksit miktarları son 420 milyon seneden beri ve belki de son 20 milyon seneden beri aşılmamıştır.



Şekil 2.4. Atmosferdeki aylık ortalama CO₂ yoğunlaşması (Mauna Loa / Hawaii)(www.esrl.noaa.gov) [18].

Şekil 2.5’de Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli 1. Çalışma gurubu tarafından Mart 2000 de kabul edilen ‘Salım Senaryoları Özel Raporu’ senaryoları [19], A1, A2, B1, B2 olmak üzere 4 ana grupta toplamıştır. Bu sınıflandırmada;



Şekil 2.5. SRES senaryoları [19].

A1 (A1F1, A1T, A1B) senaryo ailesi gelecek dünyada çok hızlı bir ekonomik büyüme, dünya nüfusunun yüzyılın ortasında en yüksek düzeyine ulaştığını ve ondan

sonra azaldığını, yeni ve etkin teknolojilerin hızlı bir giriş yaptığını varsayar. Ana temalar bölgeler arasındaki yakınsallık, kapasite geliştirme ve artan kültürel ve sosyal etkileşim ile kişi başına yıllık gelirlerde bölgesel farklılıkların önemli ölçüde azalmasıdır. A1 senaryo ailesi enerji sitemindeki teknolojik değişimin alternatif yönlerine göre 3 gruba ayrılır. Üç A1 grubu teknolojik önemlerine göre ayrılırlar: fosil ağırlıklı (A1FI), fosil olmayan enerji kaynakları (A1T) veya tüm enerji kaynaklarının dengede olduğu (A1B).

A2 senaryo ailesi oldukça heterojen bir dünyayı temsil eder. Bu senaryoda kişisel güven ve bölgesel kimliklerin korunacağı varsayılmaktadır. Verimlilik örnekleri nüfusun sürekli artması nedeniyle bölgeler arasında oldukça yavaş yönelim gösterir. Ekonomik gelişme öncelikle bölgesel kaynaklı olup kişi başına kapital ekonomik gelişme ve teknolojik değişim daha parçalı ve daha yavaştır diğer senaryolara göre.

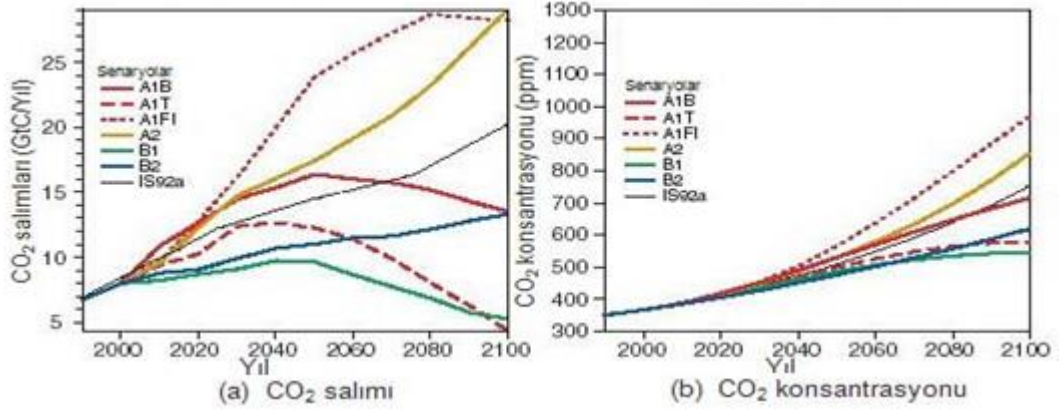
B1 senaryo ailesi küresel nüfus artışını A1 senaryosu gibi yüzyılın ortasında en yüksek düzeye ulaşmasını ve daha sonrasında azalmasını öngörmektedir. Fakat ekonomik yapıda hızlı bir değişimle temiz ve yeniden kazanım-etkin teknolojilerin girişiyle ve maddesel yoğunluğun azaltılmasıyla hizmet ve bilgi ekonomisine yönelmiştir. Ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirliğe küresel çözümlere adaletin geliştirilmesinin yanı sıra iklim insiyatifinde eklenmesini vurgulamaktadır.

B2 iklim senaryo ailesi ekonomik, sosyal ve çevresel sürdürülebilirliğe bölgesel çözümlerin vurgulandığı bir dünya tanımlamaktadır. Bu dünyada A2 senaryosunda öngörülen daha düşük oranda sürekli artan bir dünya nüfusu, ortalama bir ekonomik gelişme ve A1 ve B1 senaryolarındakinden daha çok çeşitli ve daha az hızlı teknolojik değişim öngörülmekte. Senaryo çevresel korumaya ve sosyal adalete doğru yönelirken mahalli ve bölgesel seviyelere odaklanmıştır.

SRES senaryolarına göre 1990-2100 yılları arasında öngörülen CO₂ salımları ve yoğunlaşması Şekil 2.6'de gösterilmiştir.

SRES senaryoları birikimli CO₂ salımına göre dört grupta sınıflandırılmaktadır (IPCC 2000). CO₂ salımının 1990-2100 yılları arasında birikimli toplamalarına göre;

- 1100 GtC dan az = Düşük
- 1100 ile 1450 GtC arası= Orta –Düşük
- 1450 ile 1800 GtC arası= Orta-Yüksek
- 1800 GtC fazla =Yüksek olarak nitelendirilmektedir.

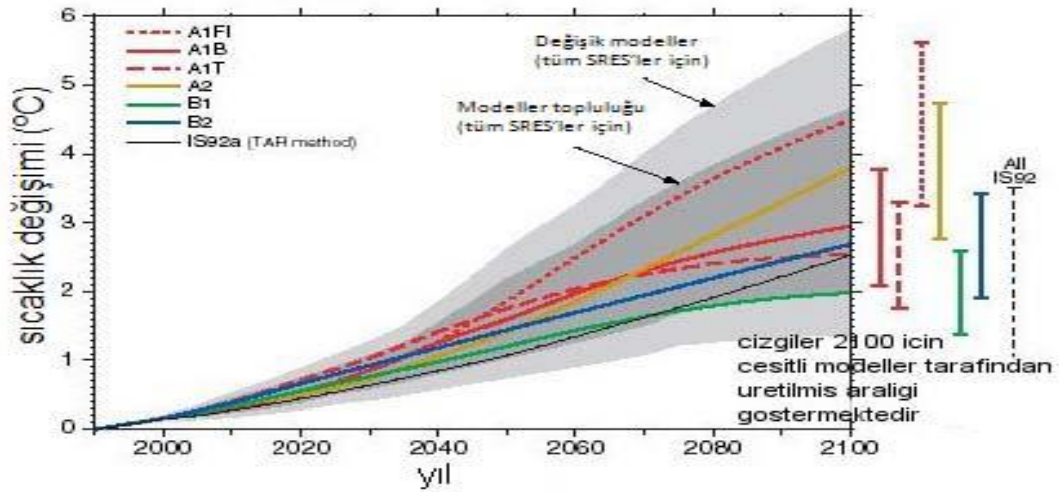


Şekil 2.6. SRES senaryolarına göre 1990-2100 a) CO₂ salımları ve b) yoğunlaşmaları [19].

IPCC'nin geleceğe dair kestirimleri dikkate alındığında ortaya çok daha ciddi bir tablo çıkmaktadır. Önümüzdeki yüzyıl içerisinde, farklı (iyimser ve kötümser) karbon salım senaryolarına bağlı olarak beklenen sıcaklık artışı 1,4 ila 5,8 °C arasındadır. Son buzul çağında dünya ortalama sıcaklığı bugüne göre yaklaşık 6 °C daha soğuktu. Bu noktada en iyimser karbon senaryosu ve ona karşılık gelen 1,4 ile 2,5 °C aralığındaki sıcaklık artış beklentisi üzerinde durulabilir (Şekil 2.6, yeşil eğriler): Bu senaryo ekonomik toplumsal ve çevresel sürdürülebilirlik için küresel çözümlerin üretildiğini, küresel adalet yolunda adımların atıldığını varsayar. Buna bağlı olarak küresel karbon salımları derhal azalmaya başlar, bu azalma 2040'lardan itibaren hız kazanır ve yüzyıl sonu salım değerleri bugünkü değerlerin yaklaşık dörtte birine kadar geriler. İşte bu radikal değişim senaryosunun ürettiği iklim değişimi dahi (ortalama 2 °C sıcaklık artışı) güvenli bir atmosfer vaat etmemektedir (Şekil 2.5).

Eğer uygarlık zaman yitirmeksizin günümüzdeki küresel karbon salım değerlerini yüzyıl içinde yaklaşık dörtte bir seviyesine indirecek şekilde güçlü bir enerji dönüşümü yaşarsa bu senaryoda öngörülen hedefler başarılabilir. Bununla birlikte burada üç tür problemle karşı karşıya kalınmaktadır. Birincisi, böylesi bir enerji

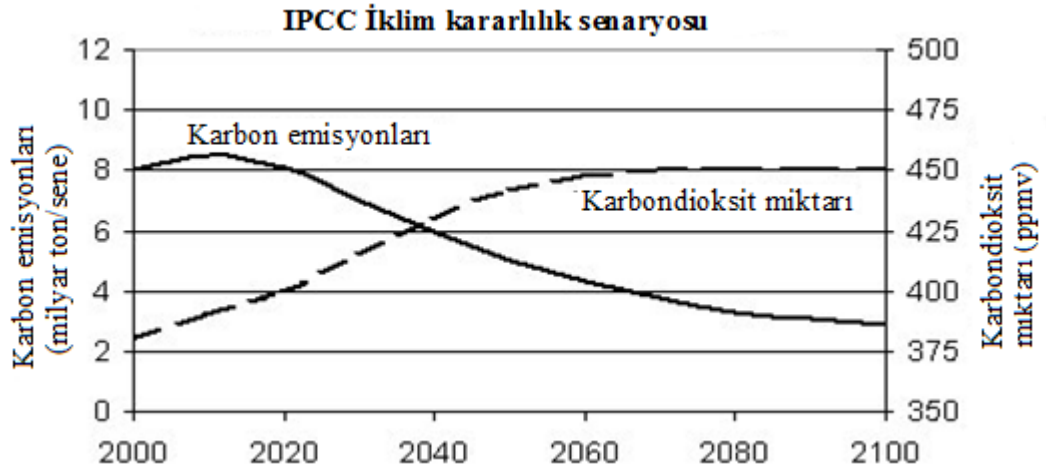
dönüşümü nasıl ve hangi sürede başarılacaktır ki bu durum küresel adalet perspektifiyle ele alınması gereken politik bir süreç olarak tanımlanmaktadır. Zira halen Kyoto protokolü altında bile küresel karbon salım değerleri artmaya devam etmektedir. İkincisi, atmosferik sera gazları temel dinamiğiyle ilgili bir durumdur. Pek çok kişinin zannettiğinin aksine, küresel karbon salımları azaldığında atmosferdeki karbondioksit miktarı da azalmamaktadır.



Şekil 2.7. Çeşitli sera gazı salım senaryolarına göre 2100 yılına kadar öngörülen sıcaklık değişimleri [19].

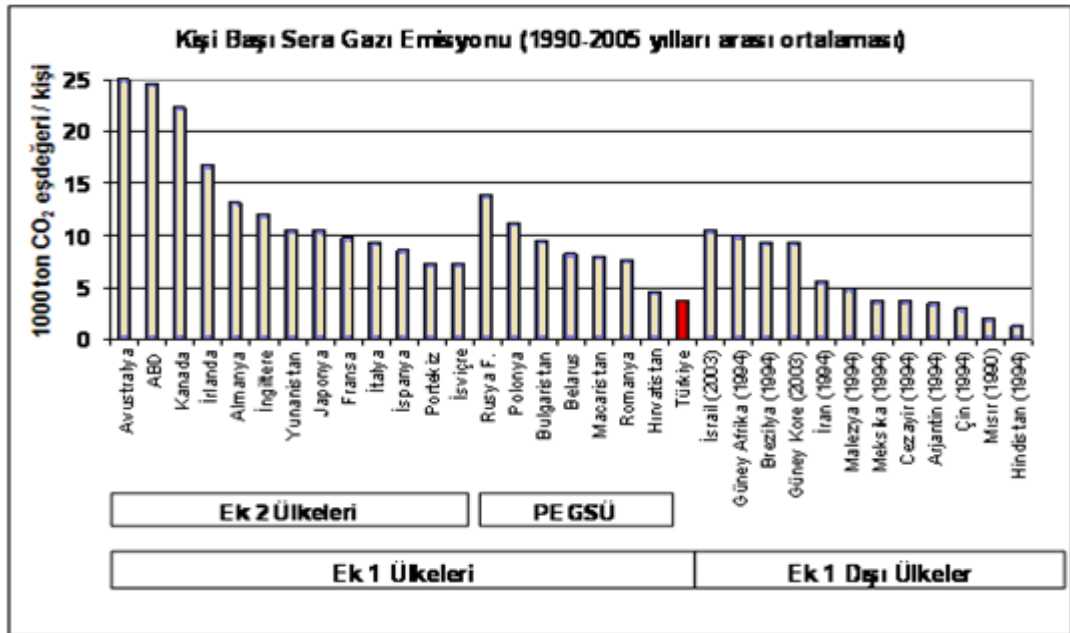
Atmosferdeki karbondioksit miktarının azalabilmesi için karbon salımlarının karbon soğurulmasından (atmosferdeki karbondioksitin okyanuslar ve bitkiler tarafından alınması, soğurulması süreci) daha aşağı seviyelere çekilmesi gerekmektedir. Üçüncüsü ise atmosferdeki sera gazı miktarı sabitlendiğinde dahi, iklimin kendisini bu miktara adapte etmesi belki bir yüzyıl kadar daha sürebilecektir. Çünkü güneşten alınan kısa dalga ışıma ve uzaya yansıyan uzun dalga ışıma arasında dengenin yeniden kurulabilmesi için yerküre ısınmaya bir süre daha devam edecektir [20].

Şekil 2.8'de söz konusu değişimin nasıl gerçekleşmesi gerektiğini göstermektedir. Dünya genelinde ekonomik büyüme, endüstrileşme ve zenginlik fosil yakıt tüketimi ve karbon salınımlarını artırmaktadır. Dünya ekonomisi büyüdükçe buna bağlı olarak daha fazla karbon atmosfere salınmıştır.



Şekil 2.8. Normal bir iklim için karbon salımı [19,20].

Tüketim, enerji tüketimi, GSMH (Gayri Safi Milli Hâsıla) ve karbon salım değerleri, hepsi son 150 yıl içerisinde üstel olarak büyümüştür. [20].



Şekil 2.9. Yıllık kişi başına düşen karbon salımları [21].

Yıllık dünya karbon salınımı ortalaması 2005 yılı itibariyle 1 ton civarındadır. Bu rakam ABD (Amerika Birleşik Devletleri) için 5 ton/yıl, Japonya ve Batı Avrupa için ise 2 ile 5 ton/yıl arasındadır. Güney Yarımküre ülkeleri için bu rakamın ortalaması 0,6 iken, 50'den fazla kalkınmakta olan ülke için ise 0,2'den azdır (Şekil 2.9).

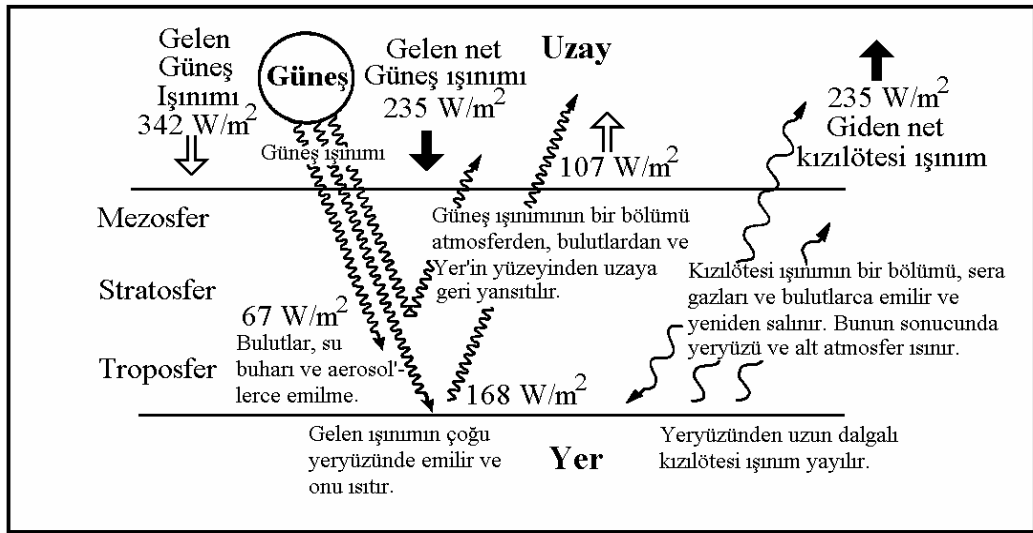
Toplam nüfusun bu yüzyılın sonunda 10 milyar seviyesinde sabitlenebildiği bir dünyada atmosferdeki sera gazı miktarının büyük felaketleri tetiklemeyecek makul bir seviyede dengeye oturtulabilmesi için dünya ortalamasının zaman yitirilmeden aşamalı olarak 0,3 ton/yıl/kişi değerine düşürülmesi gerekmektedir [21].

2.2.1. Doğal Sera Etkisi

Yeryüzündeki tüm yaşam biçimleri için vazgeçilmez bir ortam olan atmosfer, temel olarak birçok gazın karışımından oluşur. Atmosferdeki başlıca gazlar durumundaki azot (% 78,08) ve oksijen (% 20,95), temiz ve kuru hava hacminin % 99'unu oluşturur. Kalan yaklaşık % 1'lik kuru hava bölümü, etkisiz bir gaz olan argon (% 0,93) ile nicelikleri çok küçük olan bazı eser gazlardan oluşur. Atmosferdeki birikimi çok küçük olmakla birlikte, önemli bir sera gazı olan CO₂, % 0,0377 oranı ile dördüncü sırada yer alır. Doğal sera gazlarının en önemlileri, başta en büyük katkıyı sağlayan su buharı (H₂O) ve karbondioksit (CO₂) olmak üzere, metan (CH₄), diazotmonoksit (N₂O) ve ozon (O₃) gazlarıdır.

İklim sistemi için önemli olan doğal etmenlerin başında sera etkisi gelir. Bitki seraları kısa dalgalı güneş ışınımını geçirmekte, buna karşılık uzun dalgalı yer (kıızıl ötesi ya da termik) ışınımının büyük bölümünün kaçmasına engel olmaktadır. Sera içinde tutulan termik ışınım seranın ısınmasını sağlayarak, hassas ya da ticari değeri bulunan bitkiler için uygun bir yetiştirme ortamı oluşturur. Atmosfer de benzer bir davranış sergiler: Bulutsuz ve açık bir havada, kısa dalgalı güneş ışınımının önemli bir bölümü atmosferi geçerek yeryüzüne ulaşır ve orada emilir (Şekil 2.10). Ancak, Yerkürenin yüzeyinden salınan kıızıl ötesi ışınımının bir bölümü, uzaya kaçmadan önce çoğunluğu alt atmosferde (troposfer) bulunan ışınımsal olarak etkin sera gazlarınca emilir ve sonra tekrar salınır. Enerji akılarının nicelikleri dikkate alındığında, gelen güneş ışınımının (342 W/m²) yaklaşık % 31'i (107 W/m²) yüzeyden, atmosferdeki aerosol'lerden ve bulut tepelerinden yansiyarak uzaya geri döndüğü görülür (Şekil 2.10). Bu yüzden, Yerkürenin ortalama albedosu yaklaşık % 31 ve güneş ışınımının net girdisi % 69'dur (235 W/m²). Gelen net güneş ışınımının, yaklaşık üçte ikisi (168 W/m²) yüzey ve üçte biri (67 W/m²) atmosferce emilir. Güneş enerjisinin Yerküre/atmosfer sisteminde tutulan bu % 69'luk bölümü, iklim

sistemini oluşturan ana bileşenlerce (atmosfer, hidrosfer, litosfer ve biyosfer) emilir ve onların ısınmasını sağlar. Sonuç olarak, güneş ışınımının net girdisi (235 W/m^2), kızılötesi yer ışınımının net çıktısı (235 W/m^2) ile dengelenir (Şekil 2.10). Yeryüzü, sera etkisi sayesinde, bu sürecin bulunmadığı ortam koşullarına göre yaklaşık $33 \text{ }^\circ\text{C}$ daha sıcaktır. “Atmosferdeki gazların gelen güneş ışınımına karşı geçirgen, buna karşılık geri salınan uzun dalgalı yer ışınımına karşı çok daha az geçirgen olması nedeniyle, Yerküre’nin beklenenden daha fazla ısınmasını sağlayan ve ısı dengesini düzenleyen doğal süreç” sera etkisi olarak adlandırılır [14].



Şekil 2.10. Sera etkisinin gösterimi [14].

Yerküre'nin sıcaklık dengesinin kuruluşundaki en önemli süreç olan doğal sera etkisi, temel olarak, atmosferin kısa dalgalı güneş ışınımını geçirme, buna karşılık uzun dalgalı yer ışınımını tutma eğiliminde olması nedeniyle oluşur. Yerküre/atmosfer sistemine giren kısa dalgalı güneş enerjisi ile geri salınan uzun dalgalı yer ışınımını ortalama koşullarda dengededir. Güneş ışınımı ile yer ışınımı arasındaki bu dengeyi ya da enerjinin atmosferdeki ve atmosfer ile kara ve okyanus arasındaki dağılışı değiştirilen herhangi bir etmen, iklimi de etkiler. Yerküre/atmosfer sisteminin enerji dengesindeki bu değişiklikler, ısınmsal zorlama olarak adlandırılır. İDÇS ve Kyoto Protokolü'nce denetlenen sera gazları (CO_2 , CH_4 , N_2O , hidrofluorokarbonlar (HFC'ler), perfluorokarbonlar (PFC'ler) ve sülfür heksafluorid (SF_6)), en önemli ısınmsal zorlama etmenleridir. Ayrıca, aerosoller,

güneş ışınımı ve albedo değişiklikleri ve stratosferdeki ozon tabakasının incelmesine neden olan klorofluorokarbonlar (CFC'ler) gibi başka ısınmsal zorlama etmenleri de vardır.

2.2.2. Sera Etkisinin Kuvvetlenmesi Ve Küresel Isınma

Atmosferdeki insan kaynaklı sera gazı birikimlerinde sanayi devriminden beri gözlenen artış sürmektedir. Özellikle atmosferdeki birikiminin büyüklüğü, artış hızı ve 50-200 yıl arasında değişen yaşam süresi dikkate alındığında, CO₂'nin önemi daha iyi anlaşılır. 1958 yılından beri yapılmakta olan Mauna Loa ölçümlerine göre, Yerküre atmosferindeki CO₂ birikimi çok hızlı bir biçimde artmaktadır (Şekil 2.11).



Şekil 2.11. 1950 öncesi geçmiş 420.000 yıllık döneme ait buz sondaj verileri (Vostok) ile 1950-1990 dönemi Law Dome ve Mauna Loa ölçümlerine göre atmosferdeki CO₂ birikimindeki uzun süreli değişimler ve IPCC IS92a senaryosuna göre 1990-2100 dönemine ilişkin CO₂ göstergeleri [22].

Şekil 2.11' de yayımlanan son ölçüm sonuçları çözümlendiğinde, sanayi öncesinde yaklaşık 280 ppm ve 1958 yılında yaklaşık 315 ppm olan atmosferdeki yıllık ortalama CO₂ birikiminin, 2004'te 377,4 ppm'e ulaştığı görülür [18]. Atmosferdeki CO₂ birikiminin günümüzdeki düzeyi geçmiş 420.000 yıllık kayıttaki doğal CO₂ birikimi değişimlerinin (yaklaşık 180-300 ppm arasında değişiyor) çok üzerindedir

(Şekil 2.11). Sera gazı birikimlerindeki bu artışlar, Yerkürenin uzun dalgalı ışınım yoluyla soğuma etkinliğini zayıflatarak, onu daha fazla ısıtma eğilimindeki bir pozitif ışınımsal zorlamanın oluşmasını sağlar. Bu yüzden, “Yerküre/atmosfer ortak sisteminin enerji dengesine yapılan pozitif katkı”, kuvvetlenen sera etkisi olarak adlandırılır [14]. Bu ise, Yerküre atmosferindeki doğal sera gazları (su buharı, CO₂, CH₄, N₂O ve O₃) yardımıyla yüz milyonlarca yıldan beri çalışmakta olan doğal sera etkisinin kuvvetlenmesi anlamını taşır.

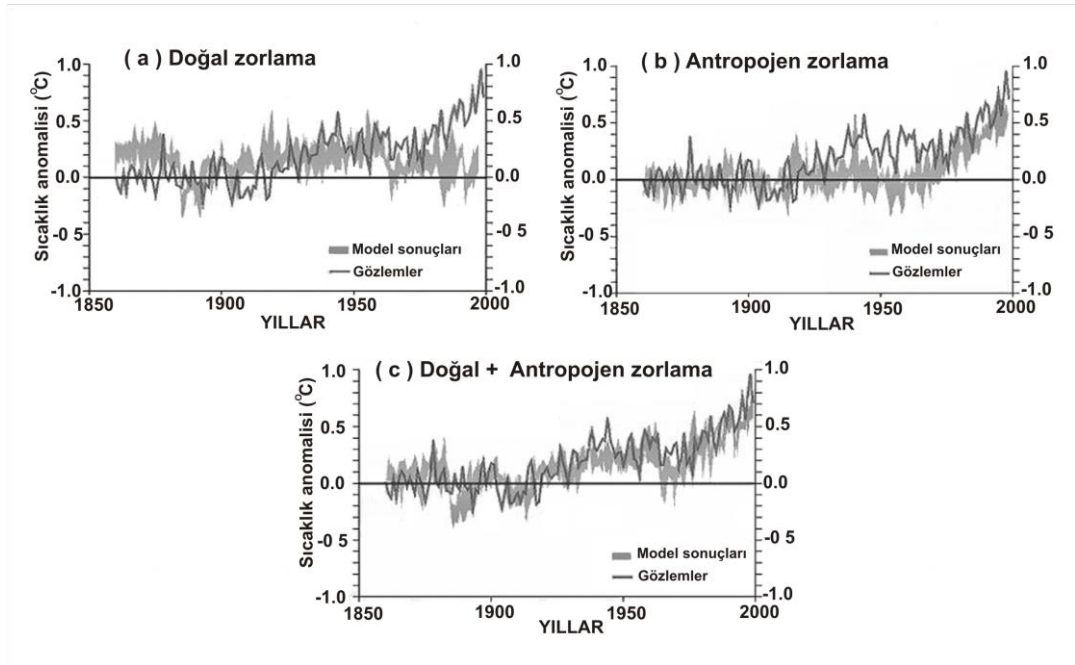
2.2.3. Troposferde Biriken Gazlar

Troposferdeki insan kaynaklı gazlar, özellikle fosil yakıtların yanmasından çıkan kükürtdioksit (SO₂) kaynaklı sülfat (SO₄) aerosolleri, Güneş ışınımını yeryüzüne ulaşmadan tutar ve uzaya yansıtır. Uçucu parçacık birikimlerindeki değişiklikler, bulut tutarını ve bulutun yansıtma özelliğini değiştirebilir. Genel olarak, troposferdeki parçacıklarda gözlenen artışlar, iklimi soğutma eğilimindeki bir negatif ışınımsal zorlama oluşturur. Sera gazlarının yaşam süreleri on yıllardan yüzyıllara değişmekte, buna karşılık uçucu parçacıkların yaşam süreleri birkaç gün ile birkaç hafta arasında kalmaktadır. Bu yüzden gazların atmosferdeki birikimleri, gaz salımlarındaki değişikliklere çok daha hızlı bir biçimde yanıt verebilir. Öte yandan, büyük ölçekli volkanik püskürmeler sonucunda atmosfere salınan kül parçacıkları da, güneşten gelen kısa dalgalı ışınımın bir bölümünü yeryüzüne ulaşmadan uzaya geri yansıtarak, yeryüzünün ve troposferin soğumasına neden olabilir.

2.2.4. Sıcaklık Değişikliklerine İnsan Katkısı

Özellikle son 50 yıllık dönemdeki ısınmaya insanın katkısını (antropojen zorlama) nesnel olarak açıklayabilmek amacıyla, aletli gözlem kayıtlarındaki değişiklikler ile gözlenen sıcaklık değişikliklerinin model benzeştirmeleri karşılaştırılır [12]. Geçen yüzyılda Yerkürenin yüzey sıcaklıklarında gözlenen ısınma, büyük olasılıkla tek başına iklim sisteminin içsel değişkenliğinin bir sonucu değildir. Model benzeştirmesindeki yıllar arası değişimler ile sıcaklık gözlem kaydındaki değişimler arasında 20. yüzyılın ilk yarısında iyi bir pozitif ilişki varken, bu ilişki ikinci yarıda hem yıldan yıla değişimler hem de uzun süreli eğilimin doğası açısından ortadan

kalkmıştır. Yapılan bu karşılaştırmaya göre, volkanik püskürmeler ve güneş ışınımındaki değişimler, 20. yüzyılın ikinci yarısındaki ısınmayı açıklamak için yetersizken, bu zorlamalar yüzyılın ilk yarısında gözlenen ısınmaya katkı sağlamış olabilir (Şekil 2.12 (a)). Yeni bulgu ve kanıtlara göre IPCC 2007’de daha kuvvetli bir biçimde yapılan değerlendirmeler dikkate alındığında, “20. yüzyılın ortasından beri küresel ortalama sıcaklıklarda gözlenen artış, büyük olasılıkla, atmosferdeki insan kaynaklı sera gazı birikimlerinde gözlenen artış nedeniyle oluşmuştur.” Ayırt edilebilen insan etkileri, şimdi, okyanusların ısınması, ana karasal ortalama sıcaklıklar, sıcaklık uç değerleri ve rüzgâr desenlerini de içeren, iklimin başka özelliklerine de uzanmaktadır.



Şekil 2.12. Küresel yıllık ortalama yüzey sıcaklığındaki değişimlerin birleşik okyanus-atmosfer iklim modelinin ürettiği dört küresel yüzey sıcaklığı benzeştirmesi ile karşılaştırılması [25].

Model benzeştirmelerinin gözlenen değişimlerle karşılaştırılması, a) yalnız güneş ışınımındaki değişiklikleri ve volkanik püskürmeleri içeren doğal zorlama bandıyla; b) atmosferde iyi karışan sera gazlarının birikimlerindeki değişimleri, troposfer ve stratosferdeki ozon birikimlerindeki değişimleri ve kestirimsel sülfat aerosollerinin doğrudan ve dolaylı etkilerini dikkate alan antropojen zorlama bandıyla ve c) doğal ve insan kaynaklı tüm zorlama etmen ve süreçlerinin etkilerini birlikte dikkate alan,

bir doğal + antropojen zorlama bandı yardımıyla yapılmıştır. Kalın çizgi, ölçümlere dayalı yıllık ortalama sıcaklık gözlem dizisini gösterirken, gri bant dört modelin benzeştirme sonuçlarını birlikte gösterir [25].

Sera gazlarını ve sülfat aerosollerini antropojen zorlama etmeni olarak kabul eden iklim değişikliğini arama ve bir nedene bağlama çalışmalarının sonuçlarına göre, antropojen sülfat aerosolleri ve doğal etmenlerle (volkanik püskürmeler ve güneş ışınımındaki değişiklikler) ilişkili zorlamalardaki belirsizliklere karşın, yaklaşık son 50 yılın iklim kaydında insan kaynaklı bir sinyalin varlığını ortaya koyan yeni kanıtlar bulunuyor. Bu dönemde etkili olan sülfat birikimleri ve doğal zorlamalar negatif olduğu için, gözlenen ısınmayı açıklayamazken (Şekil 2.12 (b)), çoğu çalışma geçen 50 yılda sera gazlarının artan birikimleri nedeniyle oluşan ısınmanın hesaplanan oran ve büyüklüğünün, gözlenen ısınmayla karşılaştırılabilir düzeyde ya da ondan daha büyük olduğunu gösteriyor (Şekil 2.12 (b)). 1860-2000 dönemi küresel sıcaklık dizisindeki yıldan yıla değişimler ve uzun süreli eğilim açısından yapılan karşılaştırma için en tutarlı sonuç ise, antropojen ve doğal zorlama etmenlerinin modellerde birlikte kullanılmasıyla elde edilen benzeştirmelerdir (Şekil 2.12 (c)). Bunların dışında, organik karbon, siyah karbon, biyokütle aerosolleri ve arazi kullanımındaki değişiklikler, vb. gibi bilinen bazı antropojen zorlama etmenleri de, iklim değişikliğinin nedenlerini açıklama çalışmalarında kullanılmıştır.

Buraya kadar yapılan açıklamalar dikkate alındığında, *küresel ısınma*, “Sanayi devriminden beri, özellikle fosil yakıtların yakılması, ormansızlaşma, tarımsal etkinlikler ve sanayi süreçleri gibi çeşitli insan etkinlikleri ile atmosfere salınan sera gazlarının atmosferdeki birikimlerindeki hızlı artışa bağlı olarak, şehirleşmenin de etkisiyle doğal sera etkisinin kuvvetlenmesi sonucunda, yeryüzünde ve atmosferin alt katmanlarında (alt ve orta troposfer) saptanan sıcaklık artışı” olarak tanımlanabilir.

Tanımdan da anlaşılacağı gibi, insan kaynaklı iklim değişikliğine ve küresel ısınmaya yol açan sera gazları; çoğunlukla fosil yakıtların yakılması (enerji ve çevrim), sanayi (enerji ilişkili; kimyasal süreçler ve çimento üretimi, vb. enerji dışı), ulaştırma, arazi kullanımı değişikliği, atık yönetimi ve tarımsal (enerji ilişkili; anız

yakma, çeltik üretimi, hayvancılık ve gübreleme vb. enerji dışı) etkinliklerden kaynaklanır [25].

2.3. BEKLENEN İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ

Hükümetlerarası İklim Değişikliği Paneli (IPCC) Üçüncü Değerlendirme Raporunda (TAR) olduğu gibi, IPCC Dördüncü Değerlendirme Raporunda da temel alınan tüm salım senaryoları ve projeksiyonları, atmosferdeki karbondioksit birikimlerinin, yüzey sıcaklıklarının ve deniz seviyesinin 21. yüzyıl süresince yükseleceğini; kara ve deniz buzlarının ve buzullarının alansal ve hacimsel olarak azalacağını öngörmektedir [12,13,19].

2.3.1. Sıcaklık Beklentisi

IPCC'nin Dördüncü Değerlendirme Raporu'nda, gözlemlerden kaynaklanan kısıtlara karşın, iklim modellerinin ilk kez, iklim duyarlılığı için olabilir bir değerlendirme aralığı ürettiği ve iklim sisteminin ışınımsal zorlamaya verdiği yanıtının anlaşılmasındaki güvenilirliği arttırdığı vurgulanıyor [13]. Bu çerçevede, CO₂ birikimlerinin iki katına çıkması sonucunda, 2100 yılına kadar küresel ortalama yüzey sıcaklıklarındaki artışın, yaklaşık 3 °C'lik en iyi kestirme değeriyle birlikte, olasılıkla 2-4,5 °C aralığında olacağı öngörülüyor. Ayrıca, birçok SRES salım senaryosu, gelecek 20 yıl için yaklaşık 0,2 °C/10 yıl oranında bir ısınmanın olacağını öngörüyor [13,19]. Öte yandan, tüm sera gazlarının ve aerosol'lerinin birikimleri 2000 yılı düzeylerinde tutulsa bile, en azından yaklaşık 0,1 °C/10 yıl oranındaki bir ısınmanın olacağı da bekleniyor. Öngörülen ısınma oranları, 20. Yüzyılda gözlenen değişikliklerden daha büyüktür ve eski iklim verilerine dayanarak, yüksek bir olasılıkla bunun en azından son 10,000 yıl boyunca bir benzeri gerçekleşmemiştir (Şekil 2.2). Son küresel model benzeştirmelerine dayanarak, neredeyse tüm kara alanları, özellikle soğuk mevsimde yüksek kuzey enlemlerindeki karalar, daha hızlı ısınabilecektir. Bunlar arasında en dikkat çekici olanı, tüm modellere göre, Kuzey Amerika'nın kuzey bölgelerinde ve Orta Asya'nın kuzeyinde küresel ortalamayı %40'dan daha fazla aşan ısınmadır. Buna karşılık, yazın güney ve güneydoğu Asya

ve kışın Güney Amerika için öngörülen ısınma oranı, küresel ortalamadaki artıştan daha küçüktür.

2.3.2. Yağış Beklentisi

Çok sayıda senaryoya dayanarak geliştirilen küresel model benzeştirmeleri, küresel ortalama su buharı birikimi ve yağış tutarının 21. yüzyıl süresince artacağını öngörüyor. 21. Yüzyılın ikinci yarısına kadar, yağışlar, kışın orta ve yüksek kuzey enlemlerde ve Antarktika'da artabilecektir. Alçak enlemlerdeki kara alanlarında, hem bölgesel artışlar hem de azalışlar bekleniyor. Ortalama yağışlar için bir artışın öngörüldüğü pek çok alanda, yıldan yıla yağış değişkenliği daha yüksek olabilecektir. Model hesaplamaları, daha sıcak iklim koşulları altında, buharlaşmanın artacağını, küresel ortalama yağış tutarında ve şiddetli yağış olaylarının sıklığında bir artış olacağını gösteriyor. Buna karşılık, bazı alanlarda yağış artışı olurken, başka alanlarda yağış azalışları yaşanacağı, hatta yağışlarda artış olan kara alanlarında artan buharlaşma yüzünden akışlarda ve toprak neminde azalışlar olabileceği öngörülüyor.

Bazı kurak ve yarıkurak alanların daha da kuraklaşmasıyla birlikte, yağışlarda mevsimlik ve enlemsel kaymalar olabileceği de öngörülüyor. Genel olarak, yağış yüksek enlemlerde yaz ve kış mevsimlerinde artabilecektir. Yağışların, kışın, orta enlemler, tropikal Afrika ve Antarktika'da artacağı; yazın ise, güney ve doğu Asya'da artacağı öngörülüyor. Avustralya, Orta Amerika ve güney Afrika'nın kış yağışlarında sürekli bir azalma bekleniyor. Hadley Centre'in iklim modellerine ve başka model sonuçlarına göre, özellikle Doğu Akdeniz Havzası ve Orta Doğu için, yağışlarda, su kaynaklarında ve akımlarda gelecek yüzyıl için önemli azalmalar bekleniyor [26].

2.3.3. Kar Ve Buz Beklentileri

Kuzey yarımküredeki kar örtüsü ve deniz buzu yayılışının daha da azalacağı öngörülüyor. Buzulların ve buz şapkalarının geniş ölçekli geri çekilmesinin 21. yüzyılda da süreceği bekleniyor. Antarktika buz kalkanının, daha fazla yağış nedeniyle kütle kazanması beklenirken, akışlardaki artışın yağıştan fazla olacağı

öngörüldüğü için, Grönland buz kalkanının kütle kaybetmesi bekleniyor. Bunların dışında, deniz seviyesinin altında kaldığı için, batı Antarktika buz kalkanının gelecekteki kararlılığı konusunda kaygılar bulunuyor.

2.3.4. Deniz Seviyesi Beklentisi

TAR'da temel alınan tüm senaryolara göre, küresel ortalama deniz seviyesinin, 1990 ve 2100 arasında 0,09 ile 0,88 metre kadar yükseleceği öngörülmüyor. Bu yükselme, temel olarak, okyanusların termal genişmesi ile buzullar, buz şapkaları, buz kalkanları (Grönland ve Antarktika) ve deniz buzlarından olan kütle kayıplarıyla (erime) bağlantılı olacaktır.

Sera gazı salımlarının bugünkü düzeyinde ya da üzerinde sürmesi, daha fazla ısınmaya ve büyük olasılıkla, iklim sisteminde 21. yüzyıl süresince 20. yüzyılda gözlenenenden daha büyük düzeylerde olabilecek birçok değişikliğe neden olacaktır. İnsan kaynaklı ısınma ve deniz seviyesi yükselmesi, sera gazı birikimleri belirli bir düzeyde durdurulsa bile, iklim süreçleri ve geri beslemeleri ile bağlantılı zaman ölçeklerinin çok değişik ve uzun olması yüzünden, yüzyıllarca sürebilecektir. Bu da, toplumlar için olumsuz sonuçlar yaratarak, kalkınmanın önünde büyük bir engel oluşturacaktır. Bu yüzden, uluslararası toplum, insan kaynaklı sera gazı salımlarındaki artışla bağlantılı iklim riskini önlemeye yönelik önemli bir görevle karşı karşıya bulunuyor. Öngörülen iklim değişikliklerini ve bu değişikliklerin, sosyoekonomik sektörler, doğal ekosistemler ve insan sağlığı üzerindeki olası olumsuz etkilerini en aza indirmenin en önemli yolu, insan kaynaklı sera gazı salımlarını azaltmak ve yutakları çoğaltmaktır. Sera gazı salımlarını azaltmaya ya da denetlemeye yönelik politikalar ve önlemler ise, sera gazı salımlarını azaltmak amacıyla uygulanmakta ve yakın bir gelecekte uygulanması olası olan bilimsel ve teknolojik yaklaşımlar ve önlemler ile makro politika araçlarını içerir [22].

2.4. İKLİM DEĞİŞİKLİĞİNİN TÜRKİYE'DE Kİ ETKİLERİ

Türkiye, Akdeniz Havzası'ndaki diğer ülkeler gibi iklim değişikliğinden ciddi boyutlarda etkilenecek gözükmektedir. Öngörülen değişim, özellikle batı ve güney

kesimlerde yıllık ortalama sıcaklıklarda bir artış ve yağışlarda düşüş şeklindedir [27-29]. IPCC'nin A2 senaryosu, IPCC SRES senaryolarının en kötümserden en iyimsere doğru sıralamasında, en kötümser senaryo A1FI'dan sonra gelmektedir ve dünyada modelleme çalışmalarında en çok kullanılandır [28]. A2 senaryosuna göre, 2071-2100 yılına kadar (kıyı bölgelerinde daha hafif olmak üzere) ortalama sıcaklıklarda 3-6 °C artışlar beklenmektedir. Yağışların doğudan batıya doğru %40'a varan oranlarda düşmesi, Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz Dağları'nda kar kalınlığının azalması, sıcaklık artışı ve yağış azalmasına paralel olarak yüzey akışlarının önemli ölçüde zayıflaması öngörülmektedir.

Artan yoğun anlık yağış ve sel baskınları, sıcak hava dalgaları ve kuraklık; ağır erozyona, daha sık ve şiddetli yangınlara ve ülkenin orta ve güneydoğu kesimlerinde yer yer çölleşmeye yol açabilir [14,27,30]. Genel ısınma eğilimine karşın ani soğuk dalgalar birçok organizmayı tehdit edebilir [31].

İklim değişikliğinin canlılar üzerinde etkileri

- Popülasyon büyüklüklerinde değişim,
- Uygun yaşam ortamlarının parçalanması,
- Kış uykusu, göç, üreme gibi kritik yaşam döngüsü olaylarının zamanlamasında değişim,
- Bulaşıcı hastalık ve zararlıların yayılması

olarak sıralanabilir.

Bu değişimlerin sonucunda oluşacak etkileşimler, varlık dinamiklerini ve türlerin yayılışlarını değiştirebilir. Etkilenen türler

- Genişleme, daralma ya da kayma şeklinde yayılışlarını değişen iklime uyarlayabilirler;
- Fizyolojik, davranışsal veya genetik olarak değişerek oldukları yerde uyum sağlayabilirler; ya da
- Koşullar artık elverişli olmadığından yok olabilirler.

Bu sonuncu durum, özellikle dar yayılışlı, ortam sıcaklığına duyarlı veya hareket yeteneği kısıtlı türler için geçerlidir.

Türkiye, birçok endemik türe ev sahipliği yapan bir biyolojik çeşitlilik sıcak noktası olduğu için iklim değişikliğine özellikle duyarlıdır [32]. Ülkemizde son derece dar yayılışlı yüzlerce bitki ve kelebek türü vardır. Türkiye çok dağlık bir ülke olduğundan bu yayılışların zamanla daha yükseğe kayması mümkündür. Ancak, varlık büyüklüklerinde, bu varlıklarlar arasındaki ilişkilerde düşüşler ve olumsuz etkenlere duyarlılığının artması tükenme riskini arttıracaktır.

Göç ve üreme gibi mevsimselliğe bağlı süreçler, mevsimin ilerlemesini yansıtan ipuçlarına bağlıdır. Birçok tür bu süreçlerin zamanlamasını mevsimsel ipuçlarına göre belirler. Bazı türler, mevsimlerin daha erken başlamasına fenolojilerini değiştirerek uyum sağlayabilirler. Ancak zamanlaması fotoperiyoda (yani gündüz-gece süresine) bağlı organizmalar davranışlarını değişen iklime uyarlayamazlar. Bu gibi türlerin ihtiyaç duydukları kaynaklar ile türün yaşam döngüsündeki kritik dönemler arasındaki uyumun bozulması, o türü olduğu kadar besin zinciri veya rekabet ilişkileriyle bağımlı başka türleri de etkileyecektir.

İklim değişikliği sonucunda bazı habitatlar şimdikinden çok daha dar bir alanda veya çok daha parçalı bir yayılış gösterebilirler. Alpin habitatlar ve tundralar, ağaç sınırının yükselmesiyle sıkışacak başlıca habitatlardandır. Olumsuz etkilenecek bir diğer habitat sulak alanlardır. Tatlısu bataklıkları ve sığ göllerde, su bitkilerinin kaybolması, tuzlanma ve tümenden kuruma gibi önemli hatta yıkıcı değişiklikler beklenebilir.

Ekosistemler eğer yeterince zaman verilirse, büyük olasılıkla iklim değişikliğinin sonuçlarına uyum sağlayabilirler. Ne var ki değişimin çok hızlı gerçekleştiği yönünde güçlü bulgular vardır.

Birçok tür için yaşayabildikleri 'iklim uzayı' büyük olasılıkla uyum sağlayabileceklerinden daha hızlı değişecektir. Bunun sonuçlarını kestirmek güç

olmakla birlikte, yaşam birliği yapısında bozulma ve birlik içindeki karşılıklı bağımlılıklar nedeniyle oluşan tükenmeler, tür çeşitliliğinde düşüşe yol açacaktır.

Hızla değişen iklimsel koşullar (özellikle kuraklaşma) birçok dar veya sıra dışı yayılışlı türü tehdit edecek, yaşam birliklerinin kompozisyon ve yapısını değiştirebilecek, ekosistemlerin işleyişlerini bozacak nitelikte görünmektedir. Biyolojik çeşitlilik üzerindeki etkileri kesin olarak öngörmek zor olsa da, değişimin hızının uyum olanaklarını kısıtladığı açıktır [2].

İklim değişikliğinin karalar, denizler ve buzullar üzerine etkilerini araştıran çalışmalar tüm dünyada küresel ve bölgesel ölçekte yapılmaktadır. Su, toprak ve hava gibi doğal kaynakların günden güne ve hızla değişen iklimden etkilenme durumu ile anılan doğal kaynaklardaki değişimin tarım başta olmak üzere, sanayi, kentleşme, turizm, sağlık ile diğer birçok toplumsal ve yaşamsal faaliyetler üzerine etkileri son 20 yılda bilim adamları tarafından incelenmektedir. Ülkelerin bugün ve gelecekle ilgili politikalarında iklim değişimi ve olası etkilerini gözardı etmelerinin gelecekte ciddi sorunlara neden olabileceği bilim insanları tarafından sürekli vurgulanmaktadır.

Türkiye İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirimi'nde belirtildiğine göre kıyı şeridinde yer alan turistik şehirler özellikle tehdit altındadır [33]. Türkiye'nin güney batı sahillerinde yer alan Phaselis ve Patara gibi antik şehirler de olduğu gibi deniz seviyesinin yükselmesi sonucunda pek çok "önemli" kültürel sit alanının zarar görme ya da yıkılma olasılığı bulunmaktadır. Bu önemli sit alanlarından bazıları artan dalga faaliyetlerinden zarar görebilir, ya da diğer taraftan giderek artan kumul hareketlerinden dolayı kum tepeliklerinin altında kalabilir. Örneğin Akdeniz kıyısındaki Pompeipolis antik kenti kumullar ile örtülmüş durumdadır. Türkiye'nin bu bölgesi tarihi kalıntılar açısından çok zengin olduğundan, kalıntıların yerini değiştirmek pratik anlamda imkânsızdır.

İklim değişikliğinin bir diğer olumsuz etkisi de insan sağlığı üzerinedir. Çevre sıcaklığı yükseldiği zaman, vücut ısısı da yükselmektedir. Bu durum daha fazla hastalıklara, ölümlere, kalp rahatsızlıklarına neden olmaktadır. Avrupa ülkelerinin

yer aldığı iklim değişimi ve insan sağlığına etkileri konulu projelerde yapılan kestirime göre 2071-2100 yılında sıcaklığın yaklaşık 3 °C derece artacağı ve buna bağlı olarak her yıl fazladan 86,000 ölüm olayı gerçekleşeceği kestirilmektedir [11].

Türkiye de ise 1957 yılında Ankara da Hatip Çayı'nın taşması sonucunda 185 kişi hayatını kaybetmiştir. 1995 yılı kasım ayının ilk günlerinde İzmir'de Yamanlar Deresi'nin taşması sonucunda meydana gelen sel felaketinde 61 kişi hayatını yitirmiştir. 1998 Mayıs ayında Batı Karadeniz Bölgesinde meydana gelen şiddetli sel sonucunda, aynı şekilde 2006 yılının kasım ayında Güneydoğu Anadolu Bölgesi'nde meydana gelen şiddetli yağış ve sel sonucunda da 42 kişi hayatını kaybetmiştir. 19 Haziran 2004 tarihinde Ankara'nın Çubuk İlçesi'nin Sönlü Köyü'nde meydana gelen hortumda ise 4 kişi hayatını kaybetmiştir [34].

Üzerinde çalışılan havzalardaki yüzey sularının neredeyse % 20'sinin 2030 tarihinde kaybedileceği kestirilmektedir. Bu oran 2050 ve 2100 yıllarında sırasıyla % 35 ve % 50 olarak öngörülmektedir. Havzalardaki yüzey suyu potansiyelinde yaşanması olası azalmalar su kullanıcıları açısından özellikle tarım, konut ve sanayi sektörlerindeki su tüketicileri açısından önemli su sıkıntılarına sebep olacaktır. Buna ek olarak bitkilerde yaşanan buharlaşma yoluyla su kayıplarının artması (2030 ve 2100 yılları için sırasıyla % 10 ve % 54) sulama suyu gereksinimini ciddi boyutlarda artıracaktır. Su sıkıntısı sorunlarına ek olarak, arazi kullanımı ve havzalardaki arazi örtüsünün de iklim değişikliği sonuçlarından önemli ölçüde etkilenmesi beklenmektedir.

Ayrıca iklimsel ısınmanın Karadeniz'deki balık varlığına ve çevresel rejime etkileri Oğuz (2003) ve Oğuz vd. (2003) tarafından araştırılmıştır [35,36]. Diğer bir çalışmada da küresel ısınma sonucunda Türkiye'yi çevreleyen denizlerdeki deniz seviyesinin 1 m yükselmesi durumunda, Türkiye kıyılarında olası etkilenmeler incelenmiş, özellikle yerleşim alanlarına ve ekonomiye yansımaları irdelenmiştir. Bu düzeyde bir deniz seviyesi yükselmesinin Gayri Safi Milli Hasıla'ya etkisinin yaklaşık % 10 olabileceği belirtilmiştir (Karaca ve Ünal, 2003). Tezcan vd. (2007), küresel ısınma sonucu meydana gelecek olan iklimsel değişikliklerin Türkiye'deki su kaynaklarına olan etkilerinin kestirilebilmesine yönelik olarak su kaynakları sistemlerinin bu tür değişimlere karşı gösterebilecekleri tepkileri denetleyen

parametreleri tanımlayarak, duyarlılıklarını Seyhan Nehri Havzası için ortaya koymaya çalışmışlardır [37,38]. Bunun için yüzey suyu kaynağı olarak Seyhan Nehri ve kollarını kapsayan havza ile yeraltı suyu kaynağı olarak alüvyon akiferi incelemiştir. Yüzey suyu sistemini Seyhan Nehri Havzası'nın hidrolojik modeli (MIKE-SHE) ile yer altı suyu sistemini ise alüvyon akiferin matematiksel modeli (SEAWAT-2000) ile benzeştirmişlerdir. Kavramsal modellerle matematiksel modellerin ölçümleri tamamlandıktan sonra, iklim değişikliklerinin başlangıç ve sınır koşullarında ortaya çıkaracağı etkilerin sistemde yaratacağı tepkiler konum (x,y,z) ve zaman (t) boyutlarında kestirilmiştir. Modellerle kestirilen tepkilerin niteliği ve büyüklüğü, sistem parametrelerinin iklimsel değişimlere karşı duyarlık dereceleri açısından değerlendirilmiştir. İki farklı iklim modelini (MRI ve CCSR) 8 km çözünürlükte, 1993-2004 ve 2070-2080 dönemleri için çalıştırarak sıcaklık, yağış, potansiyel buharlaşma terleme değerleri için elde edilen öngörülerini MIKE-SHE ve SEAWAR-2000 modellerinde kullanmışlardır. Sonuç olarak sırasıyla (MRI, CCSR) yağışta % 29,4-34,7, gerçek evapotranspirasyonda % 16,9-16,9 ve nehir akımında % 37,5-46,4 değişim tespit etmişlerdir. Bu durumda bölgedeki pek çok kaynağın yeraltı suyu seviyesinin altında kalacağı ve dolayısıyla kuruyacağı tespitinde bulunmuşlardır.

Kuraklık genel olarak su eksikliğine neden olabilecek derecede yağışta azalmalar olarak tanımlanmaktadır. Ortalama yağışlardan daha az yağış düşmesi durumunda hafif şekilde etkili olabileceği gibi kısa ve uzun süreli aşırı iklim olayları şeklinde de görülebilir ve bu durumda suya bağlı sektörler ve toplumlar üzerinde çok önemli zararlanmalara neden olabilir. Yağışta azalmaların yüksek sıcaklık ve rüzgâr hızı ile düşük nem gibi diğer meteorolojik etmenlerle birlikte meydana gelmesi potansiyel ile gerçek bitki su tüketimi arasındaki farkın büyümesine ve toprak suyu eksikliğine neden olmaktadır. Tarımsal kuraklık olarak tanımlanan bu durum, tarımsal üretimi sınırlamanın ötesinde kıtlık gibi toplumları sosyo-ekonomik olarak etkileyebilen büyük boyutlarda doğal afetlere yol açabilmektedir. Kuraklığın şiddeti ve etkisi, kurak devrenin uzunluğu, su ve nem eksikliğinin derecesi, etki alanının büyüklüğünün yanı sıra toplumların ekonomik ve sosyal ile diğer çeşitli çevresel etmenlere bağlı olarak değişiklik gösterir. Kuraklık tarımsal üretimi toprak su içeriğinde azalma ve yüksek bitki su tüketimi nedeniyle kısa sürede etkileyebilirken,

azalan yağış ve değişen yağış rejimi ile artan yağış şiddeti, yükselen sıcaklıklar sonucu artan buharlaşma gibi iklimsel değişiklikler yüzey ve yeraltı su kaynaklarının beslenmesini ise daha uzun sürede ve olumsuz yönde etkilemektedir.

Türkiye'nin de içinde bulunduğu Akdeniz ve Ortadoğu Bölgelerine ek olarak Avrupa ve Amerika Kıtaları da 20. yüzyılda kuraklıktan önemli derecelerde etkilenmişlerdir [39,40]. Yağışlardaki azalma ve artan sıcaklıklar nedeniyle ülkemizin tarımsal üretim merkezlerinden olan Orta ve Güneydoğu Anadolu Bölgeleri yüksek kuraklık riski altındadır [41]. Nitekim 1970'li yıllardan itibaren görülen kuraklık sadece tarımsal üretim ile enerji üretimini değil aynı zamanda büyük şehirlerde içme ve kullanma suyu ile sulama suyu sıkıntısının da artmasına neden olmuştur [14,30,41,42,43]. Türkes, Türkiye'nin güneydoğusu ve karasal iç bölgelerinin iklim etmenleri ve bitki örtüsü nedeniyle çölleşmeye eğilimli kurak alanlar olduğunu belirtmektedir [30,44]. Araştırmacı, Akdeniz ve Ege Bölgeleri'ni ise yüksek ve parçalı yeryüzü şekilleri, tarım arazilerinin son 20-30 yıldaki tarım dışı ve sürdürülebilir olmayan fiili kullanımları, ormanların kentleşme ve turizm amaçlı yapılaşmaya terk edilmesi ile doğal ve/veya kasıtlı yangınlar nedeniyle yok olması gibi etkenlerle gelecekte çölleşme sürecinden daha fazla etkilenebilecek yarı nemli bölgeler olarak tanımlamaktadır.

Altan vd. (2007), Seyhan Nehri Havzasındaki doğal bitki örtüsünü analiz ederek olası iklim değişikliği ve havzanın üst kesimlerinde yürütülen soysa ekonomik çalışmalara dayanan ve insan etkisini göz önünde bulunduran geleceğe yönelik olası vejetasyon değişimi senaryolarını değerlendirmişlerdir [45]. Çalışma sonucunda üç varsayımda bulunmuşlardır. Birincisinde 2070'lerde 1,87 °C lik sıcaklık artışının bölgedeki bitki örtüsünde önemli bir değişiklik yaratmayacağını, ikincisinde ise bugünkü güncel bitki örtüsünün 2070'lerden sonra değişerek yeniden şekilleneceğini, üçüncüsünde ise iklim değişikliğinin bitki örtüsü üzerindeki etkisine, alan kullanımlarının insan etkisiyle oluşan baskılar da eklenerek ikinci varsayımdan daha hızlı bir bitki örtüsü değişimi olacağını öngörmüşlerdir.

Küresel gıda gereksiniminin karşılanmasında tarımsal üretim iklim değişimi ve atmosferik CO₂ artışından önemli derecede etkilenebilecek, insanlık için önemli sektörlerden biridir [46]. Bununla birlikte iklim değişiminin başta tarımsal üretim

olmak üzere birçok sektör ve doğal kaynaklar üzerine etkilerinin detaylı bir şekilde saptanmasıyla ilgili çalışmalar ise yok denecek kadar azdır.

Oysa iklim değişikliğinin etkilerinin değerlendirme çalışmaları hangi stratejilerin gelecekte başarılı değişim sağlayabileceğini ve hangi özel iklim koşullarının adaptasyon için eşik temsil edebileceğini göstermeleri yönünden çok önemlidir. İklim değişikliğine ve artan CO₂ yoğunlaşmasına tarımsal ürünlerin tepkisini belirlemekte kullanılan pek çok yöntem vardır. Bu amaçla bitki büyümesini ve verimini benzeştiren modeller gelecekteki iklim değişimine tarımsal ürünlerin tepkisinin belirlenmesi ve gerekli uyum stratejilerinin analiz edilmesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. WOFOST modeli iklim değişikliğinin 1. ve 2. ürün mısır verimine etkilerinin araştırılmasında çokça kullanılan bitki büyüme modelidir.

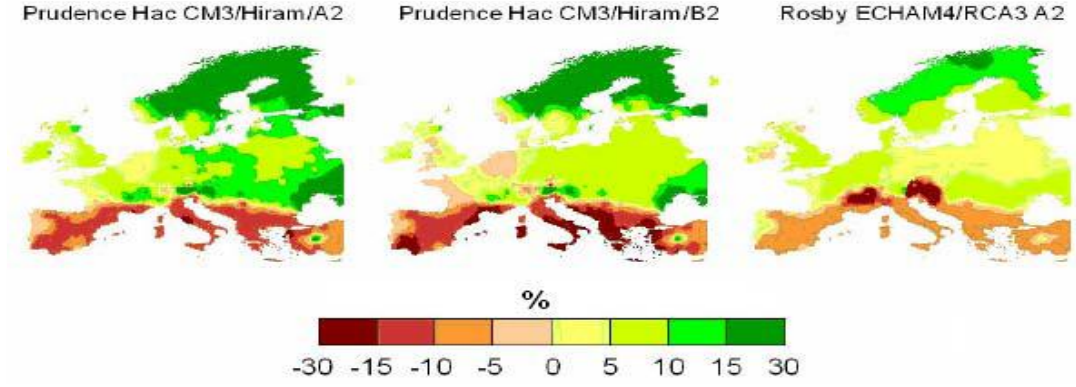
Genel olarak tarımsal üretimde verimliliğin ürün tipine, büyüme mevsimine, sıcaklık rejimindeki değişikliklere ve yağışın mevsimselliğine bağlı olarak, sıcaklıktaki küçük değişiklikler için orta ve yüksek enlemlerde artacağı öngörülmektedir. Buna karşılık, 2-3 °C'nin üzerindeki sıcaklık değişikliklerinde, orta enlemlerin tarımsal üretiminde azalma olacağı beklenmektedir. Ancak, tropikal ve subtropikal bölgelerde bazı ürünlerin kendi maksimum sıcaklık toleransına yakın olduğu yerlerde ve kurak arazilerin ve sulama yapılmayan tarımsal uygulamaların egemen olduğu yerlerde, ürün miktarları sıcaklıktaki küçük artışlarda bile, özellikle Afrika'da azalabilecektir. Ayrıca tüm tarımsal üretkenliğin % 30 dolayında azaldığı Afrika ve Latin Amerika için, üretkenlikteki azalmanın gelecek yüzyıl boyunca süreceği öngörülmektedir.

Tarımsal sistemlerin iklim değişimine tepkisi önemli oranda çeşit, su ve besin elementi uygulamaları gibi teknik ve kültürel önlemlere ve programlara bağlıdır. Bitkiler verim yönünden artan CO₂ yoğunluğuna suyun kısıtlı olduğu koşullarda tam sulama koşullarına kıyasla daha olumlu tepki verirler [47,48]. Buna karşın azotun kısıtlayıcı faktör olması durumunda ise artan CO₂ yoğunlaşması verimde düşmeye neden olur [49,50]. Bazı araştırmacılar gelecekteki iklim değişikliği ile mevcut koşullar karşılaştırıldığında tarımsal üretim sistemlerinde geniş ölçüde iklim değişimine adaptasyon olabileceği, verimlilikte değişimin olmayacağı ve hatta bazı ürünlerin veriminde artışlar olabileceğini belirtmektedirler. Bunun da ötesinde çiftçiler

çevresel koşullardaki değişimlere daha seçkin ürünlere yönelerek, uygun kültürel önlemleri kullanarak ve ekim sistemleri seçerek uyum sağlayabilirler [51].

Genel dolaşım modelleriyle sıcaklıklardaki öngörülen artışlar ve yağışlardaki değişimler de fotosentezi, bitki gelişim oranını tarladaki su ve besin bütçesi kadar etkileyebilecektir [52]. Son olarak artan CO₂ oranı ve iklim değişiminin tarımsal verime net etkisi yerel koşullara bağlı olacaktır. Örneğin, daha sıcak ilkbahar–yaz hava sıcaklıkları büyüme mevsimlerinin uzunluğunu artırtabileceği kuzey enlemlerinde ürün verimi için faydalı olabilecektir. Buna karşın artan sıcaklıklar, yüksek yaz sıcaklıkları ve su stresinin tarımsal üretimde sınırlayıcı bir faktör olduğu Akdeniz gibi bölgelerde olumsuz etkide bulunabilecektir [53].

Avrupa da yürütülen ve iklim değişikliğinin tahıl verimine etkilerinin araştırıldığı PESEDA projesi kapsamında, dokuz tarımsal-iklim bölgesinde 2020 ve 2080’lerde tahıl verimiyle ilgili öngörülerde Kuzey Avrupa bölgesinde % 2,8 ile % 70 arasında değişen oranlarda artış, güney kesimlerinde ise % 1,9 ile 22,4 oranlarında azalma olabileceği belirtilmiştir (Şekil 2.13). İklim modellerinin çoğundan elde edilen kestirime bakıldığında genel olarak Akdeniz Havzası’na ya da Türkiye ve bölgesine ilişkin sıcaklık öngörülerinin, kuzey yarımkürenin orta ve yüksek enlemlerine göre daha düşük olduğu görülmektedir. IPCC Üçüncü ve Dördüncü Değerlendirme Raporlarında da kullanılan çeşitli iklim modellerine göre Türkiye üzerindeki yıllık ortalama sıcaklıklarda 2050 yılına kadar sadece sera gazlarındaki artışlar dikkate alındığında 1-3 °C arasında, sera gazlarındaki ve sülfat parçacıklarındaki değişimler birlikte dikkate alındığında ise 1-2 °C arasında bir artış olacağı öngörülmektedir [1,13,14,54]. İngiltere’deki Hadley İklim Tahmin ve Araştırma Merkezi’nin 1999 yılında yayımladığı iklim değişikliği ve etkileriyle ilgili sonuçları bölgesel olarak değerlendirilerek, insan kaynaklı iklim değişikliğinin Türkiye’nin sıcaklık ve yağış koşulları üzerine etkileri Türkeş (2001,2003) tarafından aşağıdaki şekilde özetlenmiştir [1,14].



Şekil 2.13. Avrupa da tahıl veriminde beklenen değişim (HadCM3/HIRLAM; RFA2, B2 ve ECHAM4/RCA3; RF-A2) [55].

Atmosferdeki CO₂ gazı birikimini (insan etkinlikleri sonucunda atmosfere verilen salımlarla ilişkili fazla birikimler) azaltmak için hiç önlemin alınmadığını kabul eden senaryoya göre, 2080'li yıllara kadar Türkiye üzerindeki yıllık ortalama sıcaklıklarda (1961-1990 normaliyile karşılaştırıldığında) yaklaşık 3-4 °C artış olması beklenmektedir. CO₂ birikimlerini 750 ppm'de durdurmayı öngören senaryoya göre yıllık ortalama sıcaklıklarda yaklaşık 2-3 °C, 550 ppm'de durduran senaryoya göre ise yaklaşık 1-2 °C artış olacağı öngörülmektedir. Salımların kontrol edilmediği senaryoya göre 2080'li yıllara kadar Türkiye üzerindeki yıllık ortalama yağışlarda yaklaşık 0 ile -1 mm/gün değişiklik (azalma) beklenirken, CO₂ birikimlerini 750 ve 550 ppm'de durdurmayı öngören senaryolara göre ise 2080'li yıllara kadar Türkiye üzerindeki yıllık ortalama yağışlarda yaklaşık 0 ile -0,5 mm/gün azalma olacağı kestirilmektedir. Salımların kontrol edilmediği senaryo altında, Türkiye akarsularının yıllık akımlarında yaklaşık % 20-50 azalma, CO₂ birikimlerini 550 ve 750 ppm'de durduran senaryolara göre ise sırasıyla yaklaşık % 0-15 ile % 5-25 azalma öngörülmektedir. Salımların kontrol edilmediği senaryo ile CO₂ birikimlerini 750 ve 550 ppm'de durduran sera gazı salımları senaryolarına göre Türkiye ve Orta Doğu bölgesi, dünyanın su stresinde artış beklenen stresli ya da su sıkıntısı çeken alanları arasında değerlendirilmiştir.

Yukarıda da değinildiği gibi Türkiye'nin iklim değişikliğine duyarlılığının belirlenmesine ilişkin çalışmalarda son birkaç yıl öncesine kadar genellikle dünyanın diğer ülkelerinde yapılan araştırmalar ışığında değerlendirmeler yapılmıştır. Türkiye iklimindeki kısa ve uzun vadeli olası değişimlerin kestirimine yönelik gerçek gözlem

değerleri ve bölgesel iklim modelleri kullanılarak yapılan çok az sayıdaki çalışmalar sadece son birkaç yıldan beri yürütülmektedir. Bunlar, İstanbul Teknik Üniversitesi ve Çukurova Üniversitesi bünyesinde genel dolaşım modellerinin küresel ölçek boyutu ile yerel ölçek arasındaki boşluğu ortadan kaldıracak istatistiksel ve dinamik ölçek küçültme çalışmalarıyla sınırlıdır. Bu çalışmalarda bölgesel iklim modeli olarak PRECIS, Terc-RAMS, RegCM ve MM5 modelleri kullanılmaktadır [56-75].

Demir vd. (2008b) çalışmalarında, İngiltere Meteoroloji Servisi Hadley İklim Tahmin ve Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen Bölgesel İklim Modeli, PRECIS (Providing REgional Climates for Impacts Studies) kullanarak, Türkiye için bölgesel düzeyde ayrıntılar içeren iklim değişikliği öngörülerinde bulunmuşlardır [58]. Modeli, Hadley Merkezi'nin Atmosferik Genel Dolaşım Modeli, HadAMP3 çıktıları ile çalıştırmışlar ve referans dönem (1961-1990) benzeşimleri ile gelecek dönem (2071-2100) A2 senaryosu benzeşimlerini iklim değişikliğini belirlemek için karşılaştırmışlardır. Benzeşim sonuçlarına göre Türkiye'de kıyı bölgeleri dışında ortalama sıcaklıklarda 5-6 °C'lik artışlar öngörmüşlerdir. Kış mevsiminde sıcaklıkların doğuda 4-6 °C, buna karşılık yaz mevsiminde batıda 6-7 °C yükseleceğini belirtmişlerdir. Maksimum sıcaklıklarda değişimin, genel olarak artış yönünde olacağını bildirildiği çalışmaları sonucunda yaz mevsiminde 8 °C'yi bulan yüksek artışlar tesbit etmişlerdir. Minimum sıcaklıkların kış mevsiminde doğu bölgelerinde 5-6 °C ve yaz mevsiminde Ege Bölgesinin iç bölümlerinde 7-8 °C artacağını öngörmüşlerdir. Yağış rejimindeki değişikliklerde, doğudan batıya doğru gidildikçe yüzde olarak artan (% 40) azalmalara dikkat çekmişlerdir. Kış mevsiminde güney ve batı bölümlerde yağışlarda düşüşler olacağını, yaz mevsiminde ise tersi bir durum olacağını belirtmişlerdir. Su rezervi bakımından kar kalınlığını gelecekte, Doğu Anadolu ve Doğu Karadeniz'de azalacağı yönünde tesbitte bulunmuşlardır. Yağıştaki azalma ve sıcaklıklardaki artışa paralel olarak buharlaşmadaki artış sonucunda, su kaybında artacağını belirtmişlerdir. Yağış ve buharlaşma arasındaki farklılıklarda ise, gelecekte Türkiye genelinde alansal olarak geniş ölçekli belirgin değişiklikler göze çarpmamakla birlikte, Güney Marmara, Ege, Doğu Karadeniz, Güneydoğu Anadolu'nun kuzeyi ve Toros Dağları hattında azalmalar öngörmüşlerdir. Demir vd. (2008b) diğer bir çalışmalarında PRECIS modelini günümüz koşullarını temsilen Avrupa Orta Vadeli Tahmin Merkezi (ECMWF)'in

reanaliz veri seti (ERA40) ve gelecek dönem benzeşimler için HadAMP3'ün A2 senaryo veri setiyle çalıştırarak karşılaştırmışlardır. Geçmiş 30 yıllık çalışmaların sonuçları, küresel kara gözlem ağından elde edilen İklim Araştırma Birimi (CRU) gözlem verileriyle karşılaştırarak doğrulamasını yapmışlardır. 1961-1990 dönemi için modelin ürettiği yıllık ortalamalarda maksimum, minimum ve ortalama sıcaklıklar ile gözlem verileri arasında çok iyi bir uyum olduğunu belirtmişlerdir. Buna karşılık, mevsimsel ortalamalarda yaz mevsimi ortalama maksimum sıcaklıkları, gözlemlere göre Ege kıyılarında 2-3 °C daha sıcak ve Doğu Karadeniz Bölgesi'nde ise bazı yerlerde 2-3 °C daha soğuk bulmuşlardır. Ayrıca kış mevsiminde minimum sıcaklıklarda Doğu Anadolu'nun kuzey batısında gözlemlere göre model ile kestirilen sıcaklıklar gözlenenlere kıyasla 2-3 °C daha soğuk bulunmuştur. Yıllık toplam yağış miktarlarında ise Doğu Karadeniz ve Akdeniz kıyıları ile Güneydoğu Anadolu'yu takip eden dalgalı bir hat üzerinde, bazı yerlerde modelin gözlemlere göre daha fazla yağış gösterdiğini belirtmişlerdir. Mevsimlik ortalamalar dikkate alındığında ise kış mevsiminde, model yağışlarının, gözlemlere göre özellikle topografyanın yükseldiği alanlarda fazla olduğunu belirtmişlerdir. Gelecek dönem karşılaştırmalarına göre ise; ortalama sıcaklıklarda Türkiye genelinde 4-5 °C artış öngörmüşlerdir. Ortalama maksimum sıcaklıklarda Türkiye'nin doğusunda 5-6 °C, diğer alanlarda 4-5 °C artış belirlemişlerdir. Sıcaklıkların mevsimsel değerlendirmelerine göre en yüksek artışların yaz mevsiminde olacağı öngörülmüştür. Yıllık toplam yağış miktarlarında değişim öngörülerinde ise Türkiye genelinde azalma belirtmişlerdir. Özellikle kış mevsiminde Toros Dağları boyunca yağışlarda belirgin düşüşler olacağını bildirmişlerdir. Bununla birlikte Akdeniz kıyı şeridinde ve Doğu Karadeniz'de yer yer yağışlarda artmalar olacağını öngörmüşlerdir.

Önol vd., (2008) bölgesel iklim modeli RegCM'in çalışma sahası büyüklüğü, çözünürlük, kümülüs ve konvektif yaklaşım parametrelerinin duyarlılığını Türkiye alanı üzerinde test etmişlerdir [69]. Çalışmalarının sonucunda büyük ve küçük çalışma alanları için yağış dağılımının ve şiddetinin benzer olduğunu belirtmişlerdir. Çözünürlük duyarlılık çalışmalarında denedikleri 60, 30 ve 15 km çözünürlüklerinde, 60 km çözünürlükten 30 km çözünürlüğe inince model sonuçlarında önemli iyileşmeler olduğunu belirtmişlerdir. Genel olarak modelle

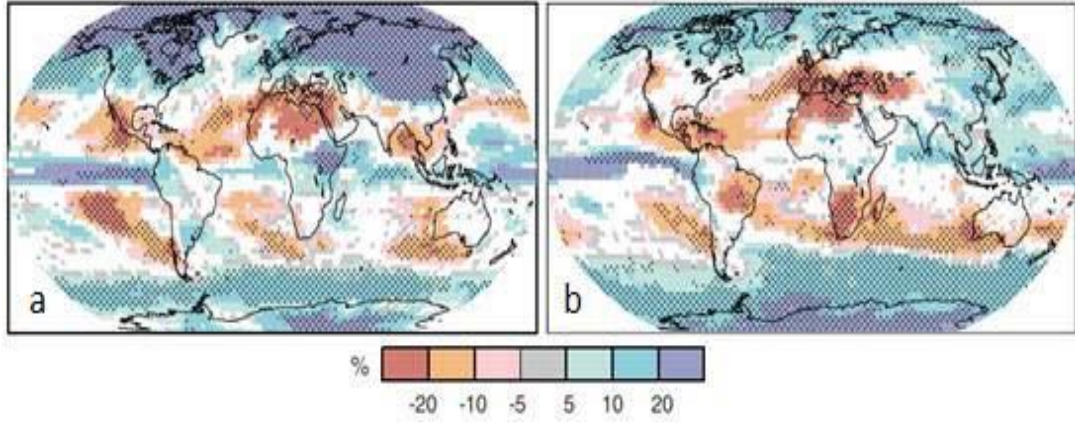
yapılan yağış kestirimlerinin gözlenenlerden daha yüksek olduğunu belirtip, 30 km sonuçlarındaki model ile gözlem arasındaki farkın 15 km de elde edilen sonuçlara kıyasla daha az olduğunu vurgulamışlardır. Yağış parametrelerinde her iki parametrenin de (Grell ve Emanuel) dağlar üzerinde yüksek yağış kestiriminde bulunduğunu ve Arakawa-Schubert yaklaşımının ise gözlemlerle en iyi uyumu gösterdiğini belirtmişlerdir.

Yukarıda özetlenen çalışmaların ortak yanı gelecekte Türkiye için Doğu Karadeniz kıyıları için yağış artışı, buna karşı özellikle Türkiye'nin güney ve batı kesimleri ile Güneydoğu Anadolu bölgesi başta olmak üzere genelinde yağışlarda azalma öngörülmesidir. Sıcaklıklarda ise en çok batı bölgelerinde olmak üzere 2 ile 6 °C arasında değişen artışlar öngörülmektedir.

2.5. BEKLENEN KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ

IPCC Üçüncü Değerlendirme Raporu'nda temel alınan tüm salım senaryoları, atmosferik karbondioksit birikimlerinin, yüzey sıcaklıklarının ve deniz seviyesinin 21. yüzyıl süresince yükseleceğini, kara ve deniz buzlarının ve buzullarının alansal ve hacimsel olarak azalacağını öngörmektedir [19,54,76,77]. Anılan raporda 1990-2100 döneminde, küresel ortalama yüzey sıcaklığının 1,4 ile 5,8°C arasında artacağı öngörülmektedir. Öngörülen ısınma oranı 20. yüzyılda gözlenen değişikliklerden daha büyüktür ve eski iklim verilerine dayanarak, büyük bir olasılıkla bunun en azından son 10.000 yıl boyunca bir benzeri de yoktur [1,14]. Son küresel benzeşim modeli sonuçlarına göre hemen hemen tüm kara alanlarının, özellikle soğuk mevsimde yüksek kuzey enlemlerindeki karaların daha hızlı ısınabileceği öngörülmektedir. Yine aynı şekilde model çalışmalarının sonucunda küresel ortalama su buharı birikimi ve yağış miktarının 21. Yüzyıl süresince artacağı kestirilmektedir. Bazı kurak ve yarı-kurak alanların kuraklaşmasıyla birlikte yağışlarda mevsimlik ve enlemsel kaymalar olacağı öngörülmektedir. Model hesaplamaları iklim ısındığında buharlaşmanın artacağını, küresel ortalama yağış miktarında ve şiddetli yağış olaylarının sıklığında bir artış olacağını göstermektedir. Buna karşılık, bazı alanlarda yağış artışı olurken, başka alanlarda yağış azalışları yaşanacağı, hatta yağışlarda artış olan kara alanlarında artan buharlaşma yüzünden akışlarda ve toprak neminde

azalışlar olabileceği öngörülmektedir. Yağışta mevsimlik kaymalar olabileceği de öngörülmektedir. Genel olarak, yağış yüksek enlemlerde yaz ve kış mevsimlerinde artabilecektir. Kışın, orta enlemler, tropikal Afrika ve Antarktika'da yağışların artacağı, yazın ise, güney ve doğu Asya'da yağışlarda bir artış olacağı öngörülmektedir. Avustralya, Orta Amerika ve güney Afrika'nın kış yağışlarında ise sürekli bir azalma beklenmektedir.



Şekil 2.14. Çoklu model ortalamalarına göre a) kış ve b) yaz yağışlarında beklenen değişimler (RF periyodu 1980-1999, A1B senaryo periyodu 2090-2099) [13].

Şekil 2.14'te IPCC modellerinde özel olarak Akdeniz havzası için önemli bir yağış değişikliğinden söz edilmemekle birlikte, Hadley Centre'in iklim modellerine ve diğer model sonuçlarına göre, özellikle Doğu Akdeniz havzası ve Orta Doğu için, yağışlarda, su kaynaklarında ve akımlarda gelecek yüzyıl için önemli azalmalar beklenmektedir [26].

Yağış projeksiyonları arasındaki model tutarlılıkları dünyanın birçok bölgesi için görece olarak zayıftır [1]. Modeller aşırı hava ve iklim olaylarının sıklığında ve etkisinde artış olacağını öngörmektedir. İklim modelleri sıcak günlerin sayısında, sıcak dalgalarında, kuvvetli yağış olaylarında, taşkınlarda, kuraklıklarda, yangınlarda, zararlıların yayılışında, orta enlem yaz mevsimi toprak nemi açığında, artan tropikal siklon maksimum rüzgâr hızında ve yağış şiddetinde bir artış, buna karşılık soğuk günlerin sayısında ve don olaylarında bir azalış olacağını öngörmektedir. Bunun dışında, El-Nino benzeri koşulların, gelecekte tropikal ve subtropikal kuşakların birçok bölümlerinde taşkınlığın ve kuraklıkların etkisinde bir

artışa yol açabileceği beklenmektedir. Ancak orta enlem fırtınalarının şiddetinde bir artış olup olmayacağı belirsizliğini korumaktadır [1].

RegCM modelinin dünyada farklı iklime sahip bölgeleri için de uygulamaları mevcuttur. Bu çalışmalarda değişik bölgelerdeki yıllar arası değişimin benzeşiminde model performansı incelenmiştir. Bütün bu çalışmalarda model, gözlenmiş değerlerin analizleri kullanılarak çalıştırılmış ve özellikle de yağış benzeşimlerine odaklanmıştır. Genel olarak bu çalışmalar sonucunda RegCM modelinin bölgesel ölçekteki yıllar arası değişimin ana özelliklerini yakalamayı başardığı saptanmıştır. Bununla birlikte model performansı mevsimlere ve bölgenin konumunun yağış miktarını belirleyen hava kütlelerinin dolaşımıyla olan ilişkisine bağlı olarak değişmiştir [78]. Small et al. (1999) RegCM modelini yarı kurak bir iklimin baskın olduğu Orta Asya ile Doğu Afrika gibi iki farklı iklimsel karaktere sahip bölgede kullanmışlardır [79]. Model sonuçları her iki bölge için de kabul edilebilir derecede iyi performans göstermişlerdir. Anılan çalışmada model ortalama iyi kestirirken, değişkenliklerin benzeşiminde aynı başarıyı gösterememiştir. Her modelin duyarlılığı farklıdır ve bu nedenle modellerin karşılaştırılarak hangi koşullarda hangi modelin daha iyi-doğru kestirimler verebildiğinin belirlenmesi önemlidir. Bu amaçla yapılan çalışmalardan en geniş kapsamlısı “Bölgesel İklim Benzeşimlerinin Karşılaştırılması Projesi (PIRCS) başlıklı projedir. Anılan çalışmada sekiz ayrı bölgesel iklim modeli (RSM-NCEP, RSM-Scripps, MM-5, RegCM2, DARLAM, HIRHAM4, ClimRAMS, ISU RAMS) kullanılarak 1988 yılında Amerika Birleşik Devletlerinin orta bölümünde meydana gelen kuraklık kestirimleri (projede kullanılan modellerin hem birbirleriyle hem de gerçek gözlem değerleriyle olmak üzere) karşılaştırılmıştır. Modellerin her biri farklı grid yapısına, çözünürlüğe, basınç seviyelerine, dinamik denklemlere, konveksiyon modellerine ve yanıl sınır koşullarına sahiptir.

Bu özellikler Çizelge 1.'de gösterilmiştir [80]. Büyük ölçekteki dolaşımların yaz mevsiminde daha zayıf olması nedeniyle deneme için yaz mevsimi (15 Mayıs-15 Temmuz) seçilmiştir. Bununla birlikte yaz aylarında yerel (mezo) ölçekteki dolaşım bölgesel iklim üzerinde daha etkin rol oynamaktadır. Ayrıca 15 Mayıs - 15 Temmuz 1988 gibi orta Amerika için kurak bir devrenin seçilmesi bölge üzerindeki sonuçlarda

konvektif parametrizasyonun etkisinin en aza indirilmesini ve farklı modellerin kullandıkları konvektif parametrizasyonun etkisinin küçük olmasını sağlamıştır.

Çizelge 2.1. Bölgesel iklim benzeşimlerinin karşılaştırılması projesi (PIRCS)'nde kullanılan modeller ve özellikleri [80].

Model	Grid	Seviye	Dinamik	Konveksiyon Modeli	Yanal sınır Şartları
RMS-NCEP	PS	28	HYD	Grell	EXP/10
RMS-Scripps	MER	28	HYD	A-S	EXP/10
MM5	LB	32	NON	Grell	LIN/4
RegCM	LB	14	HYD	Grell	EXP/10
DARLAM	PS	18	HYD	Modifiye A-S	EXP/9
HIRHAM4	MER	19	HYD	MF	EXP/10
ClimRAMS	PS	20	NON	K-A	PAR/10
ISU RAMS	PS	24	NON	K-A	PAR/8

PS(Polar Stereografik);
LB(Lambert Benzeşimi)Konveksiyon Modeli
A-S(Arakawa-Shubert); MF(Mass Flux Modeli);
K-A(Kuo) Yanal sınır koşullar;
LIN(Bölgenin merkezine doğru lineer azalma);
EXP(Exponansiyel azalma); PAR(Parabolik azalma)
HYD(Hidrostatik); NON(Hidrostatik değil) Grid Tipi;
MER(Merkator; Enlem-Boylam);

Ayrıca seçilen dönem modellerin uç koşullarındaki performansını göstermek için de oldukça uygun bir zaman dilimidir. Bölgenin seçilme nedeni anılan bölgedeki orta-ölçek özelliklerin varlığı ve model benzeşimlerinin küresel modeldekinden farklı olarak yerel özellikleri yakalayabilme özelliğinin araştırılması olmuştur. Ayrıca bölgenin yoğun meteorolojik veri gözlem ağı ile örülü olması model performanslarının ölçülmesi bakımından da önemli bir ölçüttür. 500 hPa jeopotansiyel yükseklik alanları için iki farklı istatistik yöntem kullanılarak model sonuçları ve re-analizler karşılaştırılmıştır. Genel olarak sınır şartlarına uygulanan reanaliz verileri yukarı seviye jeopotansiyel yükseklik değişimlerini temsil etmekte yeterli bulunmuştur. Bütün modeller 500 hPa seviyesindeki zamansal değişimi iyi benzeştirmiştir. Ayrıca modeller fırtına izleri gibi genel desenleri oldukça iyi yansıtmışlardır. Başlangıç koşullarındaki en büyük sorun toprak nemidir. Zira toprak nemi düzenli olarak ölçülmemekte ve dolaylı yoldan hesaplanarak elde edilmektedir.

Bu nedenle toprak nemi için modelin dengelenme süresi bir ayı geçebilmektedir ve bu nedenle modellerin çalıştırma devreleri iki ay olarak seçilmiştir [80,81].

Yukarıda anılan proje sonucunda modellerin yağış benzeşimlerinin, dinamik zorlamaların büyüklüklerine göre, çeşitlilik gösterdiği belirlenmiştir. Yağış benzeşimlerinin değerlendirilmesinde Amerikan Ulusal İklimsel Veri Merkezi'nin (NCDC) verileri kullanılmıştır. Bu veriler Kanada, Meksika ve okyanus üzerini kapsamamaktadır. Modeller ABD'nin çeşitli bölgeleri için hemen hemen aynı sonuçları verirken, bazı bölgelerde genel özellikler için "model taraflılığı (bias)" zayıf bulunmuştur. Bütün modellerin hesapladıkları yağış değerleri birbirinden farklıdır. Bununla birlikte modeller sinoptik zorlama ile oluşan yağışların genel frekansını yakalamışlardır. Hidrolojik önem gözönünde bulundurularak bütün modellerin kurak devreyi kabul edilebilir ölçülerde kestirebildiği söylenebilir. Kuzey Batı Pasifik Bölgesi için bütün modeller de yağışın zamansal trendi iyi benzeşim yapılmışken, yağış miktarı kestiriminde o kadar başarı sağlanamamıştır. Diğer bölgeler için de durum farklı değildir [80]. En soğuk maksimum sıcaklık MM5-BATS ve HIRHAM modellerinde en küçük Bowen oranı ile birlikte oluşmuş, en sıcak maksimum sıcaklık ise DARLAM'da en büyük Bowen oranında oluşmuştur. Maksimum sıcaklıktaki değişimler büyük ölçekli hareketlerin kontrolü altındaki sinoptik akımların ve yüzey enerji dengesinin yerel etkilerini birlikte göstermektedir. Model sonuçlarıyla gözlenmiş değerler arasındaki fark minimum sıcaklıklarda maksimum sıcaklıklara göre daha küçük olmuştur. Karşılaştırılan bölgesel iklim modellerindeki genel davranış, günlük minimum sıcaklığın maksimuma göre daha tutarlı benzeşimidir [81]. Modeller yağış dışındaki değişkenleri iyi benzeştirmişlerdir. Anılan projede kullanılan modellerin bazı kısıtlılık ve üstünlükleri birbiriyle örtüşmektedir. Ancak bütün karşılaştırmalar sonucunda hiçbir model tek başına öne çıkmamıştır [80,81].

Önol ve Semazzi (2008) çalışmalarında RegCM bölgesel iklim modelini NASA-Finite Volume GCM (NASA-FvGCM) veri setleriyle referans (1961-1990) ve senaryo (2071-2100, A2) dönemleri için çalıştırarak Doğu Akdeniz Bölgesi için iklim değişikliğini tesbit etmeye çalışmışlardır [68]. Model Sonuçlarına göre Doğu Akdeniz'in kuzey bölgelerinde yağışlarda artış belirlemişlerdir. Model, Karpatya

Dağlarında, Karadeniz'in doğu kıyıları boyunca, Kaçkar ve Kafkas Dağları üzerinde % 10 - % 50 arasında kış yağışlarında artış öngörmüştür. Türkiyenin güney ve güney doğusunda ve Akdeniz'in doğu kıyısında % 20 - % 60 arasında yağış azalışı öngörmüşlerdir. Sıcaklıklarda kışın Doğu Akdeniz de kışın 2-5 °C, ilkbaharda 2-4 °C, yazın 2-8 °C ve sonbaharda 3-5 °C artış olacağını öngörmüşlerdir. En fazla ısınmayı 8 °C ile Balkan devletlerinde ve 6 °C ile Türkiye'nin batı kesimlerinde öngörmüşlerdir. En düşük sıcaklık artışı İskenderun Körfezi ve çevresinde görülmüş, bunu da deniz suyu sıcaklığında görel olarak değişimin daha az olmasına bağlamışlardır. Sıcaklık artışlarının % 5 önem düzeyinde istatistiki açıdan da önemli olduğunu bildirmişlerdir. Araştırmacılar RegCM modelinin doğrulama çalışmalarında, kış ayları için çalışma alanının (Doğu Akdeniz) kuzey kesimleriyle Kafkaslar da yaz ayları için güney kesimlerinde modelin 2-4 °C daha sıcak öngördüğünü belirtmişlerdir. Yıllık ortalama sıcaklık değerlerinde ise CRU değerlerinden 2 °C daha yüksek kestirimde bulunduğunu belirtmişlerdir. Model sonuçlarının istasyon gözlemleriyle karşılaştırılmasında ise yaz mevsimi haricinde tüm mevsimlerde modelin yıllık ortalama sıcaklıkları 1-3 °C daha düşük kestirdiği ve yaz mevsiminde diğer mevsimlerden daha iyi uyum gösterdiğini belirtmişlerdir. Kış sıcaklığında Küresel Tarihi İklim Ağı (GHCN) dâhilindeki istasyonların sadece 3 ünde 3 °C altında fark bulunurken, en yüksek fark Montenegro'da ve 4,3 °C olarak belirlenmiştir. Ermenistan'da ilkbaharda fark 7 °C olarak belirtilmiştir. En küçük farkların Ortadoğu bölgesi hariç olmak üzere yaz mevsiminde görüldüğünü ve Suriye, Irak ile Ürdün de bu farkların diğer ülkelerin üzerinde olduğunu belirtmişlerdir. Referans çalışmasının yağış sonuçları CRU değerleriyle iyi uyum gösterdiğini, RegCM modelinin tüm mevsimlerde genel yağış dağılımını gerçekçi olarak yansıttığını bildirmişlerdir. RegCM kış ve ilkbahar yağışlarını Dalmaçya kıyıları, Karadeniz kıyısının doğusunda ve Türkiyenin güneybatı kıyılarında olduğundan yüksek kestirmiştir. Modelin yaz yağışlarında ise daha düşük kestirimler yaptığını bunun yanı sıra Türkiye, Romanya ve Gürcistan üzerinde daha gerçekçi kestirimlerde bulunduğunu bildirmişlerdir.

Kimi araştırmacılar tarafından RegCM modelinin kurak bölgelerde gözlemlerden daha yüksek sıcaklık kestirimleri yaptığını bildirilmiştir [66,68,82]. RegCM modelini ERA40 veri seti ile çalıştırdıkları denemede Irak ve Arab yarımadasında +4 °C fark

bulmuşlardır. Önal ve Semazzi (2008) bu bölge için küresel iklim modeli (FvGCM) sonuçlarının bölgesel iklim modeli (RegCM) sonuçlarından CRU değerleriyle kıyaslamada daha iyi olduğunu belirtmişlerdir [68].

BÖLÜM 3

SAYISAL HAVA TAHMİNİ

Atmosferin durumunu gösteren değişkenlerin (sıcaklık, rüzgâr, nem, basınç vb.) zamana ve yere bağlı değişimlerini ifade eden denklemlerin (hareket, termodinamik, süreklilik, hidrostatik eşitlik) matematik çözümleri yapılarak gelecekteki hava durumunu tahmin etme işlemine *Sayısal Hava Tahmini* denir [83].

Sayısal hava tahmini, tahmin yapmak için bilgisayarın gücünü kullanır. Tahmin modelleri olarak anılan karmaşık bilgisayar programları çok çekirdekli işlemcilerle sahip süper bilgisayarlar üzerinde çalıştırılır. Sıcaklık, basınç, rüzgâr ve yağış gibi pek çok atmosferik değişkenler üzerinde tahminler yapmayı sağlar.

Sayısal hava tahminin temel kavramları, ilk kez 1904 yılının başlarında Vilhelm Bjerknes tarafından ele alınmıştır. Vilhelm Bjerknes, yine aynı yıl içinde doğrusal olmayan kısmi diferansiyel denklem sistemlerinin çözümü ile hava tahmini yapmanın mümkün olacağını belirten bir bildiri yayınlamıştır. 1922 yılında İngiliz matematikçi Lewis Fry Richardson "atmosferik hareket denklemleri"nin çözümünüyle hava tahminin yapılabileceğini öngörmüştür.

Lewis Fry Richardson bu denklemleri çözmek amacıyla Bjerknes tekniklerini geliştirmek için üç yıl çalışmıştır. Richardson tek noktadaki altı saatlik bir periyoda ait basınç değişikliğini tahmin için gereken hesaplamaları tamamlamıştır. Hesaplamalar altı hafta sürmüş ve çalışma sonucunda tahminin gerçek değerlere çok uzak olduğu ortaya çıkmıştır. Ancak bu çabalar, hava durumu tahmini için gelecekte yapılacak çalışmalara bir bakış açısı kazandırmıştır.

Günümüzde, dünyanın dört bir yanında bulunan sayısal hava tahmin merkezleri pek çok sayıda tahmin modeli çalıştırmaktadır. Bu modellerden bazıları Ulusal Hava

Merkezi (National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA) tarafından geliştirilmiş ve geniş bir yelpazede hizmete sunulmuştur. Amerika Birleşik Devletleri'nde (ABD) 210 milyonun üzerinde gözlem yapılmış, büyük bir çoğunluğu uydulardan elde edilen bu gözlemler, okyanus ve atmosferik parametreler, kasırgalar, şiddetli hava, volkanik kül gibi hava tahminleri üreten küresel ve bölgesel modeller için giriş verisi kullanılmaktadır. Mevcut bilgisayarlar saniyede 14 trilyon işlem gücüne sahip bir hesaplama hızı ile çalışır. 2005 yılında, ilk dinamik iklim tahmini sistemi hayata geçirilmiş ve bir yılsonunda tahminler elde edilmiştir.

Gelecekte, çevresel modelleme üzerindeki çalışmaların daha geniş yer tutması öngörülmektedir. Bir yeryüzü sistemi, model bileşenleri aracılığıyla denizden, karadan ve atmosferik disiplinlerden bilgi aktarmak için pek çok iklim modeline kılavuzluk yaparak modelleme yaklaşımında bulunmaktadır. Bir takım tahmin modeli de hava, su ve iklimin ötesinde ekosistemi, ulaştırma, sağlık ve enerji toplulukları gibi müşteri ihtiyaçlarını da dâhil ederek modelleri genişletmeyi amaçlamaktadır.

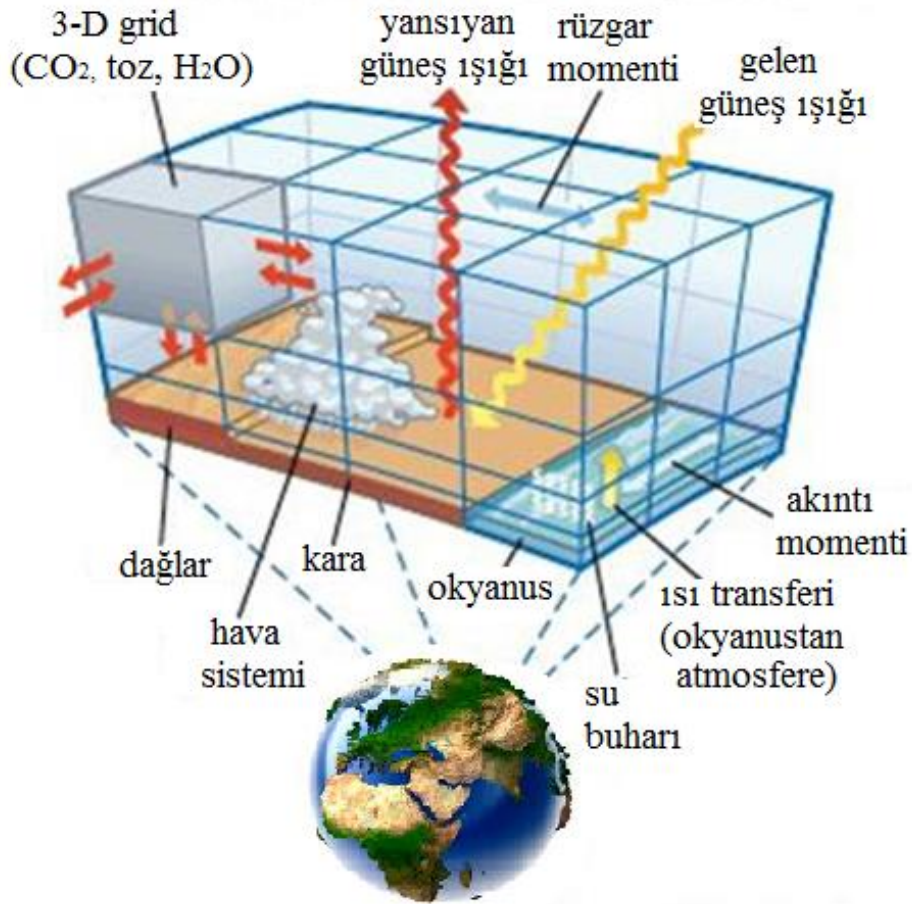
Sayısal hava tahmini, Bjerknes'in fikri ile oluşturulan ve Richardson tarafından test edilen haliyle önemli ilerleme kaydetmiştir. Richardson tarafından altı hafta süren uzun ve yorucu hesaplamalar, göz açıp kapayıncaya kadar yapılabilir. Geçtiğimiz yüzyılda gerçekleştirilen çalışmalar, can ve mal kaybını önleyici nitelikte hava tahminlerinin yapıldığını doğrular nitelikte sonuçlanmıştır. Bu nedenle de sayısal hava tahmini 20. yüzyılın en önemli başarılarından biri olarak kabul edilebilir [84].

3.1. İKLİM MODELLERİ

İklim, geniş bölgelerde ve çok uzun zaman için aynı kalan ortalama hava şartlarıdır. Bir bölgenin hava olayları bakımından karakterini tayin eder [83].

Ulusal meteoroloji kuruluşlarında, güneşlenme, bulutluluk, hava, deniz yüzeyi ve toprak sıcaklığı, yağmur, kar, dolu, şimşek ve fırtına gibi iklim elemanları ve atmosfer olayları, iklim bilimsel (klimatolojik) amaçlar için düzenli olarak kaydedilir. İklim bilimcilere göre, atmosferdeki değişebilen süreçlere bağlı olan

hava, yeryüzünün herhangi bir yerindeki ve herhangi bir andaki atmosferik olayların tümüdür. İnsan etkinliklerinin çok büyük bir bölümü, hava olaylarına bağlıdır ve ondan etkilenir. Bu yüzden, hava olaylarının kısa süreli öngörülerinin yapılması, insan yaşamı için önemli bir olgu olarak kabul edilir. Bu da, atmosfere (hava küreye) ilişkin bilgilerin oldukça kesin bir doğrulukla bilinmesine bağlıdır [1].

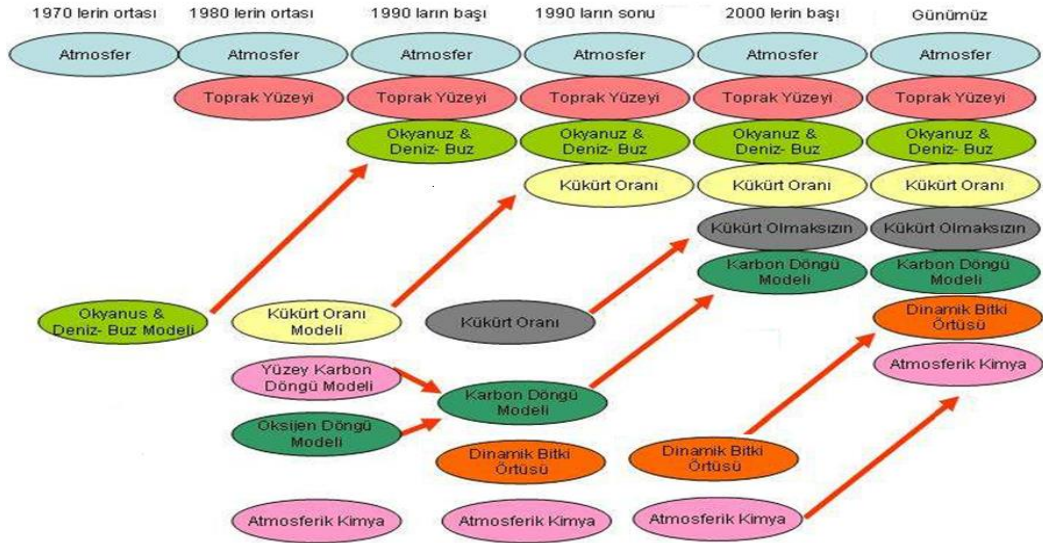


Şekil 3.1. İklim modelinin şeması [84].

Tüm atmosfer olayları, süreçleri ve iklim, belirli bir zaman süresi ile tanımlanabilmektedir: Bir rüzgâr hamlesi (rüzgâr hızındaki ani artışlar) birkaç saniye sürebilir; bir kümülüs bulutu, birkaç saat içinde gelişip yok olabilir; alçak basınçlar (siklonlar) ve onlara bağlı kötü hava koşulları, birkaç günden on güne kadar etkili olabilir; yüksek basınçlara (antisiklonlara) bağlı iyi hava devreleri, haftalar ve kuraklık olayları aylarca sürebilir. Buzulların eriyip geri çekilmesine yol açan sıcaklık değişimleri, onlarca/yüzlerce; buzul ve buzul arası çağlar binlerce yıl sürebilir [1].

İklim değişikliği günümüzün en önemli çevresel ve ekonomik sorunları arasında ön sıralarda yer almaktadır. Özellikle sanayi devriminden sonra fosil yakıtların tüketilmesi, ormansızlaştırma, enerji üretimi ve diğer artan insan etkinlikleri sonucunda atmosfere salınan sera gazlarındaki hızlı artışlar, doğal sera etkisini kuvvetlendirerek küresel ortalama yüzey sıcaklıklarının artmasına yol açmıştır. Şehirleşme, nüfus artışı ve ekonomik gelişmeler de bu sürece katkıda bulunan etkenlerdir. Ortalama yüzey sıcaklıklarındaki bu artışların tüm insan ve doğal sistemlere çok ciddi ve büyük boyutlarda etki edebileceği öngörülmektedir [1].

İklim modelleri atmosfer, okyanus, yeryüzü ve buz üzerinde gerçekleşen olayları ve etkileşimleri simüle edebilmek için sayısal yöntemleri kullanır. Havanın dinamiklerinden gelecekteki iklimi öngörmek adına birçok amaç için kullanılırlar. Şekil 3.1'de temel bir iklim modelinin kavramsal şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.2. İklim modellerinin tarihi gelişimi [85].

Ülkelerin iklim değişikliğinin sonuçlarına hazırlıklı olabilmesi için gelecekte iklimin nasıl olacağına ilişkin tahminlere ihtiyaçları vardır. İklim sisteminin bileşenlerinin, bunlar arasındaki etkileşimlerin ve geri beslemelerin matematiksel gösterimi olan ve iklim değişikliğini tahmin etmek için kullanılan birincil araç küresel iklim modelleridir (GCM). Bilgisayarların hesaplama gücündeki artışlarla doğru orantılı olarak iklim modelleri de büyük ilerleme göstermiştir. Günümüzde sülfür ve karbon

döngüleri ile atmosfer kimyası da modellere eklenerek oldukça kapsamlı iklim modelleri geliştirilmiş bulunmaktadır [86]. Şekil 3.2'de iklim modellerinin geçmişten günümüze kadar olan tarihi gelişimi gösterilmiştir.

Günümüzde kullanılan iklim modelleri temel olarak iki gruba ayrılır: Küresel (Global) İklim Modelleri ve Sınırlı Alan Modelleri. Bu çalışmada sınırlı alan modellerinden RegCM bölgesel iklim modeli kullanılmıştır.

3.1.1. Küresel (Global) İklim Modelleri

Küresel iklim modeli (GCM), temel iklim sistemi bileşenlerini (atmosfer, yer yüzeyi, okyanus ve deniz buzu) ve bunların etkileşimlerini kullanan karmaşık bir matematiksel sistemdir. Dünyanın enerji düzeyi dört temel bileşen arasındadır ve bunlar iklim tahmininde temel yapıtaşlarını oluşturur.

İklim modelinde işlem gören temel iklim sistemi bileşenleri şunlardır [87].

- Atmosferik bileşenler; bulutlar ve aerosollerini simüle eden ve dünya çapındaki su ve ısı dolaşımında büyük rol oynayan bileşenler,
- Yeryüzü bileşenleri; bitki örtüsü, kar örtüsü, yeraltı suları, nehirler ve karbon deposu gibi yeryüzü karakteristikli bileşenler,
- Okyanus bileşenleri; iklim sistemindeki ısı ve karbon birikiminin okyanusta var olmasından bu yana olan hareket ve biojeokimya,
- Deniz buzu bileşenleri; güneş radyasyonu emilimi ile hava-deniz ısı ve su değişimleridir.

Yatay çözünürlüğün spektral (yatay çözünürlüğün dalga sayısı ile orantılı olduğu) veya Grid (yatay çözünürlüğün iki grid noktası arasındaki mesafeyle orantılı olduğu) olarak çözümlendiği bu model türünde basit hidrostatik eşitlik kullanılmaktadır. Yani havanın ağırlığıyla düşey basınç gradyan kuvveti arasında bir denge olduğu kabul edilmektedir. Bu model türünde düşey ivme hesaplamalarda ihmal edilir. Global atmosferik modeller ve genel dolaşım modelleri küresel modellere örnek olarak

verilebilir. Dünyada kullanılan belli başlı küresel modeller ve bu modelleri geliştiren ülkeler şunlardır [88].

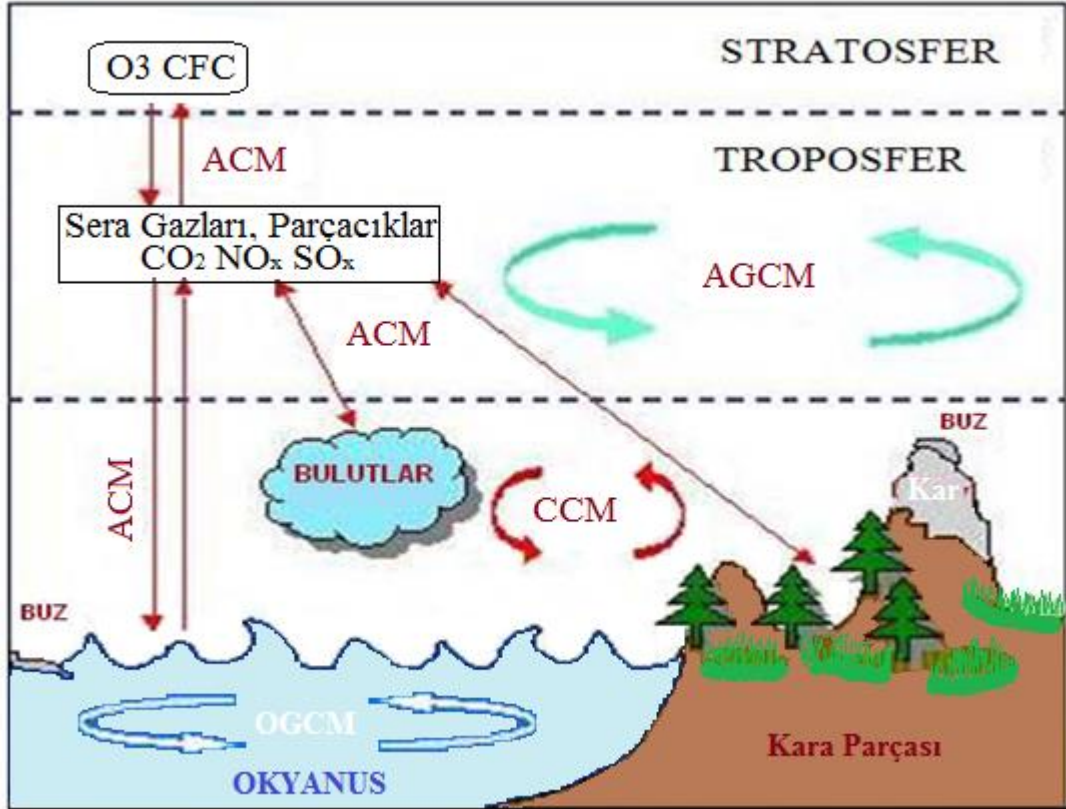
Küresel Modeller

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

İlk modeller tek boyutlu, yüzey sıcaklığını enlemlere göre hesaplayan enerji dengesi modelleriydi. Daha sonra yine tek boyutlu radyatif-konvektif modeller ortaya çıktı. Bunlar da sadece düşey sıcaklığı hesaplıyorlardı. İki boyutlu istatistik-dinamik modellerden sonra 1970'lerin başında 3-boyutlu genel dolaşım modelleri (GCM) kullanılmaya başlandı. GCM'lerinden sonra da sayısal hava kestiriminde kullanılan sınırlı alan modelleri (LAM) günümüze kadar geldi [89]. Şekil 3.3'de kapsamlı bir iklim modeli gösterilmiştir. Günümüzde 3 gün sonrasında oluşacak hava olayları büyük bir doğrulukla öngörülelebilmektedir. Yine küresel ölçekteki modellerin kullanılmasıyla 100 yıl sonrası için yorumlar yapmak mümkün olabilmektedir [78].

Büyük ölçekte yapılan öngörülerde genel dolaşım modelleri kullanılmaktadır. Çözünürlüğü 200 km civarında olan genel dolaşım modellerinin dışında daha yüksek çözünürlüğe sahip bölgesel iklim modelleri de yaygın olarak kullanılmaktadır. Orta ölçek modelleri gibi sınırlı alan modelleri de bugünün hesaplama olanaklarıyla aylar ve hatta yıllar düzeyindeki benzeşimlere ve birkaç on kilometre düzeyindeki çözünürlüğe izin vermektedir [78]. Sınırlı alan modellerinin bölgesel iklim modellemesinde kullanılması düşüncesi ilk kez Dickinson ile ark. (1989) ve Giorgi (1990) tarafından ortaya atılmıştır [90,91]. Buradaki temel düşünce, tek yönlü yuvalanma diğer bir ifadeyle küresel dolaşım modellerinin yüksek çözünürlükteki sınırlı alan model (LAM) benzeşimlerine başlangıç ve zamanla değişen meteorolojik

yanal sınır koşulları sağlaması, bunun yanı sıra sınırlı alan modelinden küresel dolaşım modeline bilgi akışının olmamasıdır. Bölgesel iklim modelleri için bu tekniğin altında yatan strateji küresel dolaşımdaki büyük-ölçek zorlamaları sağlaması ve bunların da yuvalanmış sınırlı alan modelleri içinde yerel etkilerini görebilmek için kullanılmasıdır.



Şekil 3.3. İklim modeli öğelerinin şematik gösterimi [AGCM(Atmosferik Küresel Dolaşım Modeli); OGCM(Okyanus Küresel Dolaşım Modeli); ACM(Atmosferik Kimya Modeli); CCM(Karbon Dönüşüm Modeli). Her bir model içeriği diğeriyle ve kara ve deniz-buz yüzeyleriyle bağdaşıktır] [85].

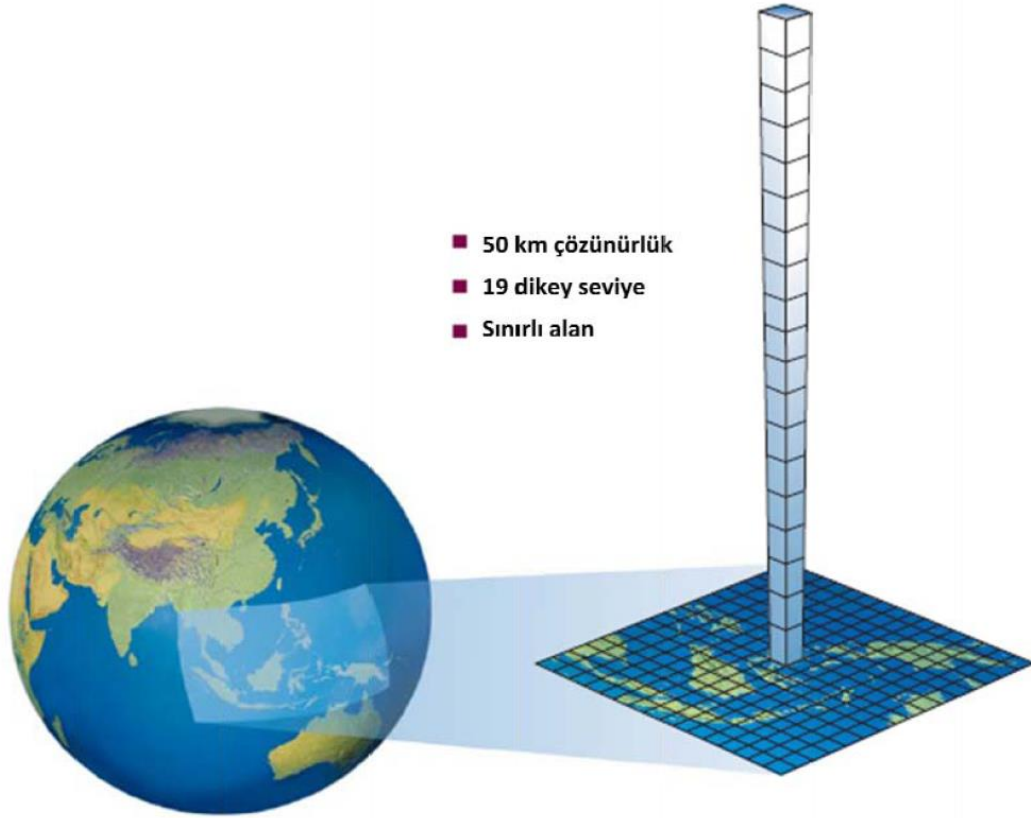
Dickinson vd. (1989) ve Giorgi'den (1990) önce yuvalanmış model tekniği yaygın olarak nümerik hava öngörülerinde kullanılmakta ve sınırlı alan modelleri sadece birkaç gün için çalıştırılmaktaydı [90,91]. Giorgi (1990) yuvalanmış LAM'ı ilk kez 1 aylık bir süre boyunca çalıştırmıştır [91]. Daha sonraki yıllarda ise anılan modeller birkaç yıl boyunca çalıştırılabildiği [78].

1990'ların başlarında bölgesel iklim modelleri ile ilgili gözlemsel yaklaşım, yarı gözlemsel yaklaşım ve model yaklaşımı olmak üzere 3 temel yöntem belirlenmiştir. Gözlemsel yaklaşım, geçmiş iklim benzerliklerinden sağlanan bilginin kullanılmasıyla yapılan yaklaşımdır. Yarı gözlemsel yaklaşım küresel iklim model (GCM) alanlarındaki istatistiksel indirgeme ile ilişkilidir. Model yaklaşımında ise fiziksel modellerden yararlanır. Amerikan Ulusal Atmosferik Araştırmalar Merkezi (NCAR)'nin bölgesel iklim modeli, MM4 (orta-ölçek model 4) orijinelidir. Dünya üzerinde de pek çok kez değişik bölgeler ve şartlar için kullanılmış ve test edilmiştir. Günümüz olanaklarıyla zamana bağımlı meteorolojik yanal sınır koşullarıyla çalıştırılan bölgesel modellerden, uzun süreli (birkaç yıldan, 10 yıllar düzeyindeki bir aralıkta) çok iyi benzeşimlerin yapılması mümkün olmuştur [78].

Küresel iklim modellerinin (GCM) bölgesel ihtiyaçlara cevap verememesi bölgesel iklim modellerinin başlıca çıkış noktasıdır, zira sadece iklimsel ortalamalar bu konudaki gereksinimleri karşılamamaktadır. Bu nedenle değerlendirmeler, bölgesel modellerin daha kısa zaman dilimleri (1-10 yıl) için çalıştırılmasıyla yapılmaktadır. Sayısal hava tahmin modelleri 10 güne kadar kabul edilebilir nitelikte benzeşimler yapabilmektedirler. GCM'lerle ise 50 hatta 100 yıllık benzeşimler yapmak mümkündür. Ancak GCM'lerde çözünürlükler çok az (200 km) olduğundan yerel anlamda istenilen verim alınmamaktadır. İşte bu iki modelin yapılmasına izin vermediği benzeşimleri, yani hem bölgesel etkileri içine alma hem de daha uzun dönemlerde iklimi kestirme işlevini, bölgesel iklim modelleri üstlenmektedir. Çözünürlüğü sayısal hava tahminlerine yakın bu modeller bugün artık dünyanın değişik iklimsel özelliklerine sahip bölgelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Değişik iklim bölgelerine karşı kabul edilebilir yanıtlar verebilmeleri nedeniyle anılan modellerin kullanımı hızla yaygınlaşmaktadır [81]. Modellerde küresel ölçekten bölgesel ölçğe geçiş şematik olarak Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

Yuvalanmış bölgesel modeller orta ölçekteki iklim değişikliği çalışmaları için etkili araçlar olabilirler. Örneğin seçilen bölge için atmosferdeki CO₂ oranının iki katına çıkarılmasıyla bölgenin ikliminde oluşacak değişim test edilebilir. Giorgi vd. (1993) Alp Dağları için yaptıkları bir çalışmada topografya ve iklim ilişkisini ortaya koymuşlardır [92]. Hostetler vd. (1994) çalışmasında olduğu gibi, orografik etkiyle

dağlık alanlardaki yağış durumu ve ayrıca göl etkisinin 18000 yıl önce hidrolojik döngü üzerindeki etkileri gibi birçok değişik çalışma için bölgesel iklim modellerinden yararlanılmaktadır [93].



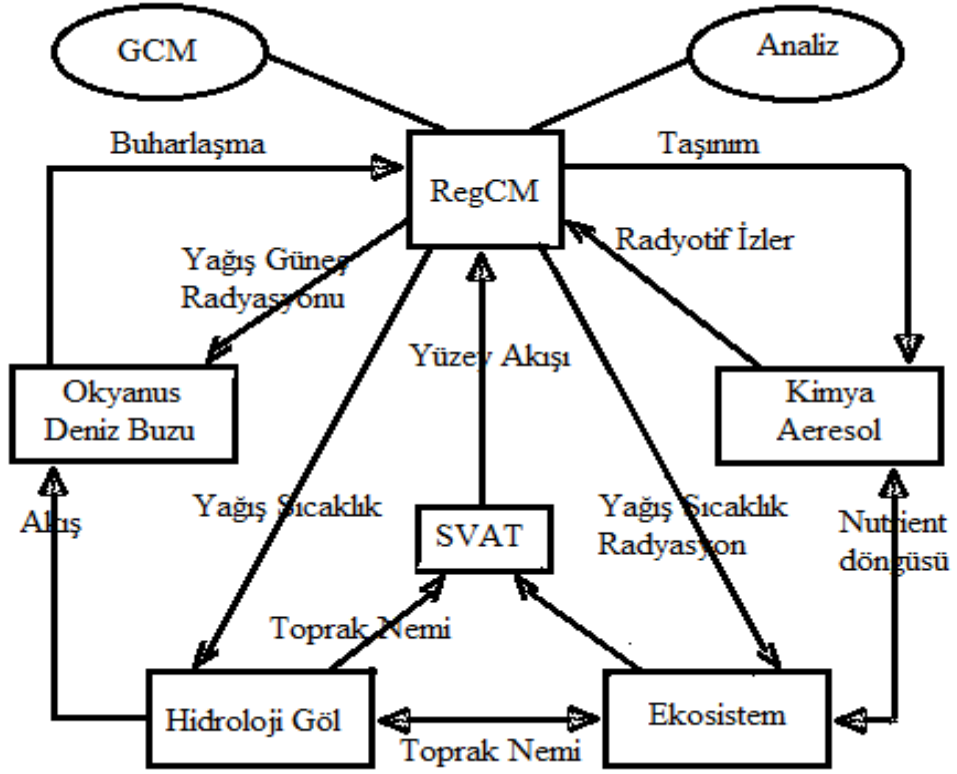
Şekil 3.4. Küresel ölçek ve bölgesel ölçek [94].

Küresel iklim değişimi tartışmalarında bölgesel iklim modellerinin kullanımı bölgesel farklılık (fiziki coğrafya) ve etmenlerinin (topografya, göller, karalar, bitkilerin dağılımı) küresel iklim sinyali ile olan etkileşiminin gözlenmesi açısından oldukça önemlidir. Bugün bölgesel modelleme genişleyen bir bakış açısıyla ilerlemektedir. Bu çalışma alanının geleceği “Bölgesel Yer Sistem Modeli” kavramı ile ilişkilendirilmektedir. Bu kavram, bölgesel atmosfer modelinin kimya/aerosol, biyosfer/tarım, sublim ve göl/okyanus/deniz buzu gibi diğer iklim sistemi bileşenleri ile etkileşerek birleştirilmesiyle oluşmuştur. Bunlara örnek olarak arktik bölgeler için bölgesel atmosfer modelinin okyanus ve deniz buzu modeliyle birleştirilmesi, okyanus ve göl modellerinin birleştirilmesi, radyatif olarak aktif aerosollerin RegCM modeli içine yerleştirilmesi örnek olarak gösterilebilir [95-97]. Bu çalışmaların

popüler olmasının en büyük nedeni, atmosferin çok karmaşık bir yapıya sahip olduğunun bilinmesinin yanı sıra bu yapıyı çözmek için sadece bir kaç bileşenden fazlasının gerekliliğinin anlaşılmasıdır. Bu modeller bölgesel ölçekteki çevresel olayların incelenmesi ve araştırılmasında araştırmacılara çok yardımcı olacaktır. Şekil 3.5'de bu tip modellerin genel yapısı gösterilmektedir [78].

Giorgi ve Shields (1999), Amerika kıtasını kapsayan model alanı üzerinde 3 yıllık benzeşimler kullanarak basitleştirilmiş açık nem alt modelinin ve üç ayrı kümülüs konveksiyon alt modelinin (Kuo-type, Grell, CCM3) performanslarını incelemişlerdir [98]. Model mevsimsel aylık zaman ölçeği içinde özellikle Grell alt modeli kullanıldığında yüzey klimatolojisinin benzeşiminde çok iyi performans göstermiştir. Modelin tarafsızlığı ve benzeşimlerini iyileştirmek için değişmesi gerekli parametreler belirlenmiştir. Bununla birlikte CCM3 (Topluluk İklim Modeli) modelinin yeni sürümlerinin kullanılması bazı önemli sorunlara neden olmuştur. Giorgi vd. (1993) Doğu Asya alanı üzerinde çalıştırdıkları modelde radyatif transfer işlemleriyle birlikte bulut işlemlerine odaklanmışlardır [92]. Ancak, Grell alt modelinin kullanılması nedeniyle modelin muson sezonu boyunca Doğu Asya üzerinde çok az konvektif yağış üretmesi ve basitleştirilmiş açık nem modelinin çok ince ve çok yüksek bulutlar üretmesinden dolayı model performansı zayıf kalmıştır. Qian vd. (1999) ise yeni esnek grid denkleminin teorik çatısını oluşturmuşlardır [99].

Modelin adyabatik uyarlanmasının ilk testlerinin umut verici olmasına karşın, işlevselliğinin ve avantajlarının tamamen belirlenmesi açısından bu konuda daha çok test yapılması gerekmektedir [81]. Yüksek çözünürlükteki model performansı analizleri de yeni bir araştırma konusudur. RegCM modeli genellikle 50 km veya daha düşük çözünürlükte çalıştırılmıştır. Yüksek çözünürlük denemeleri model performansının yatay çözünürlüğe özellikle de fırtına olayı yapısına ve yağış benzeşimlerine duyarlı olduğunu göstermiştir [78]. Topoğrafik özelliklerin daha iyi temsil edilebilmesi genellikle yağış desenlerinin benzeşimlerinin gelişimine öncülük eder. Bununla birlikte Giorgi vd. (1996) yağışın doğrudan, alt modellerin çözünürlüğüne duyarlı olduğunu göstermiştir [100].



Şekil 3.5. Birleştirilmiş bölgesel yer sistem modeli [78].

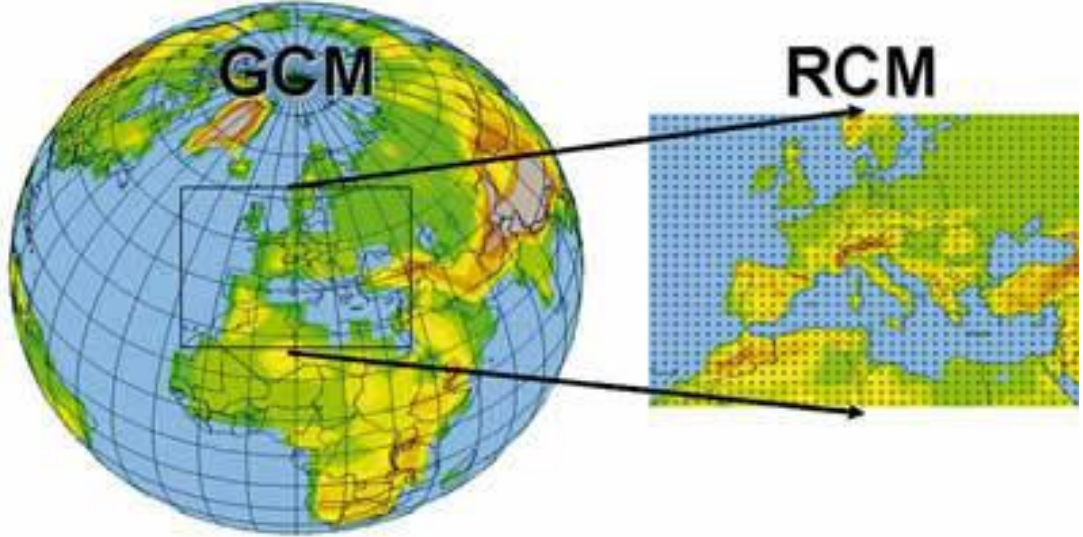
3.1.2. Sınırlı Alan (Bölgesel) İklim Modelleri

Sınırlı alan modellerinde (RCM) küresel modellerin tersine yatay çözünürlük, dalga sayısı ile değil grid noktaları arasındaki mesafe ile orantılıdır. Yani küresel 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 hidrostatik denge kabul edilirken (Sinoptik/Mesoscal modeller) bazılarında ise hidrostatik denge eşitliği kabul edilmez (Cloudscale/Cloud Resolving modeller). Bunlar genellikle çok yüksek çözünürlük gerektiren tahmin problemlerinde kullanılmaktadır [88].

Tipik bir küresel iklim modelinde atmosferik bileşenin yatay (alansal) çözünürlüğü 250 km, okyanus bileşenin ise 125-250 km arasındadır. Bu çözünürlük dünyanın pek çok bölgesinin iklim özelliklerinin ayrıntılarını verecek düzeyde değildir. Bu nedenle, bölgesel düzeyde ayrıntıları elde etmek için ölçek küçültmek (down-

scaling) gerekmektedir. Bu noktada ihtiyacı karşılamak üzere sınırlı alan iklim modelleri geliştirilmiştir [86].

Sınırlı alan modelleri, küresel alan modellerindeki alanları küçültüp çözünürlüğü artırmayı amaçlar ve yalnızca o alan ile ilgilenir. Bu modeller üç boyutlu gridler kullanılarak çözümlenen matematiksel denklemler ile fiziksel kanunların esasına dayanır. Bu nedenle sınırlı alan modelleri kapsamlı birer fizik modelleridir ve genellikle atmosferik ve yer yeryüzü bileşenleri dâhil olmak üzere iklim sistemi içinde yer alan önemli süreçlerle (bulut, radyasyon, yağış, toprak hidrolojisi gibi) temsil edilirler.



Şekil 3.6. Küresel ve bölgesel iklim modeli'nin şematik gösterimi [101].

Dünyada kullanılan belli başlı sınırlı alan modelleri ve bu modelleri geliştiren ülkeler şunlardır [88]:

Sınırlı Alan Modelleri

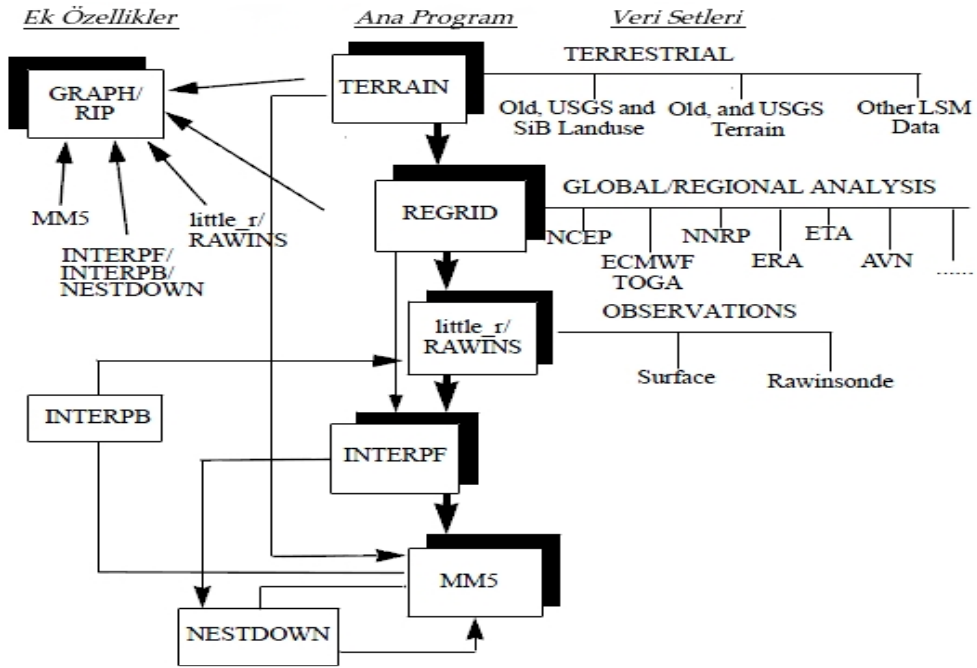
- Eta, MM5, WRF (ABD),
- ALADIN (Fransa ve ALADIN Konsorsiyumu),
- PRECIS (İngiltere),
- RegCM (İtalya).

- LM(Lokal modell) COSMO(Consortium for Small-scale Modeling) (Almanya),
- HIRLAM (HIRLAM Konsorsiyumu)(High Resolution Limited Area Model),

Şekil 3.6'da küresel ve bölgesel iklim modellerinin şematik şekli gösterilmektedir.

3.1.2.1. MM5 Modeli

MM5, Penn State ve NCAR (National Center for Atmospheric Research USA) tarafından geliştirilen beşinci nesil arazi takipli sigma-koordinat orta ölçekli meteorolojik iklim modelidir. Bu model, orta ölçekli atmosferik dolaşımı tahmin etmek ya da simüle etmek için tasarlanmıştır. Fırtına konveksiyonu, deniz meltemleri ve orta ölçekli konvektif sistemleri içeren orta ölçekli meteorolojik olaylar ile ilgilenir [102].



Şekil 3.7. MM5 İklim Modeli'nin sistemsel akış şeması [103].

MM5 orta ölçekli tahmin modeli TEFER (Turkey Earthquake and Flood Recovery Project-Türkiye Sel ve Deprem Felaketi Acil Yardım Projesi) kapsamında alınan yüksek başarılı hesaplama ile operasyonel olarak çalıştırılmaktadır. MM5 modeli

tüm dünyada birçok meteoroloji örgütünde ve özellikle üniversitelerde kullanılan bir modeldir. Yüksek çözünürlükte kuvvetli fizik ve topoğrafya seti ile oldukça iyi sonuçlar veren MM5 modeli çoklu iç içe geçmiş bölge yapısını desteklemesi, 10 km 22 ve altındaki çalışma kabiliyetine (nonhydrostatic) sahip olması nedeniyle oldukça tercih edilmektedir. MM5, şu anda Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nde günde 4 defa 00, 06, 12, 18 UTC'de, iki ayrı alanda iki farklı çözünürlükte eşzamanlı olarak çalıştırılmaktadır. İç içe geçmiş bu alanların yatay çözünürlüğü birinci bölge için 21 km, Türkiye ve denizleri içinse 7 km'dir. Tahmin periyodu 48 saattir.

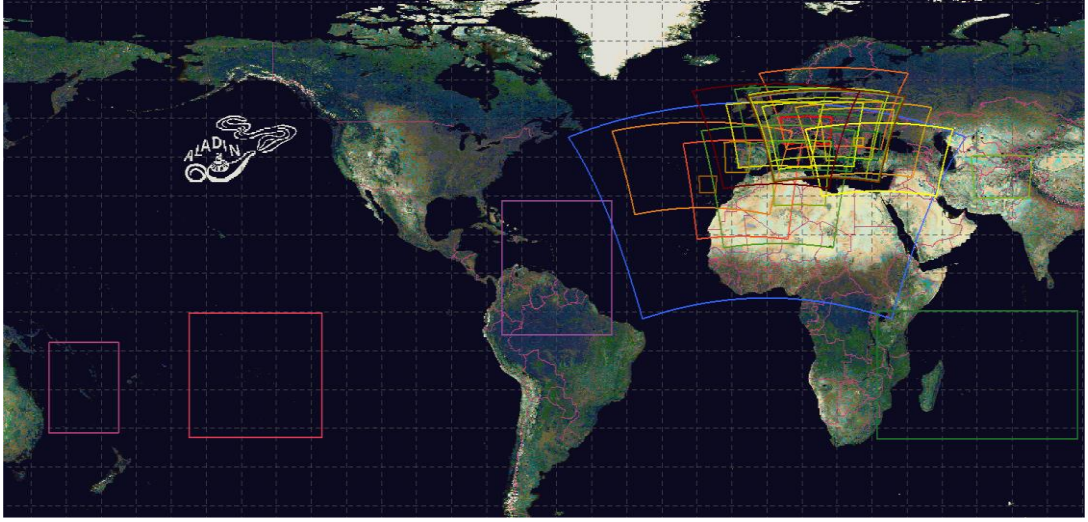
MM5 model sonuçları olarak şu anda yukarı seviyeler için tüm standart ve ara basınç seviyelerinde sıcaklık, rüzgâr, jeopotansiyel yükseklik, nem, düşey hız, akım çizgileri, diverjans ürünleri, yer seviyesi için ise MSLP, 2m sıcaklığı, 10m rüzgâr, toplam yağış (istenilen aralıklarda), kar karışım oranı, yağışa geçebilir su miktarı, konvektivite, eğilim değerleri üretilmektedir [88]. Modelin çalışma prensibi Şekil 3.7'de gösterilmiştir.

3.1.2.2. ALADIN Modeli

ALADIN sınırlı alan modeli çalışmaları, ilk olarak Kasım 1990 yılında MeteoFrance'nin ARPEGE küresel modelinin sınırlı alan için geliştirilen sürümü Bulgaristan, Macaristan, Çek Cumhuriyeti, Polonya, Romanya ve Slovakya ile birlikte araştırma ve geliştirmeye açmasıyla başlamıştır. Bundan sonraki süreçte Cezayir, Belçika, Fas, Tunus, Portekiz, Avusturya, Hırvatistan, Slovenya ve en son olarak Türkiye bu gruba katılmıştır [88].

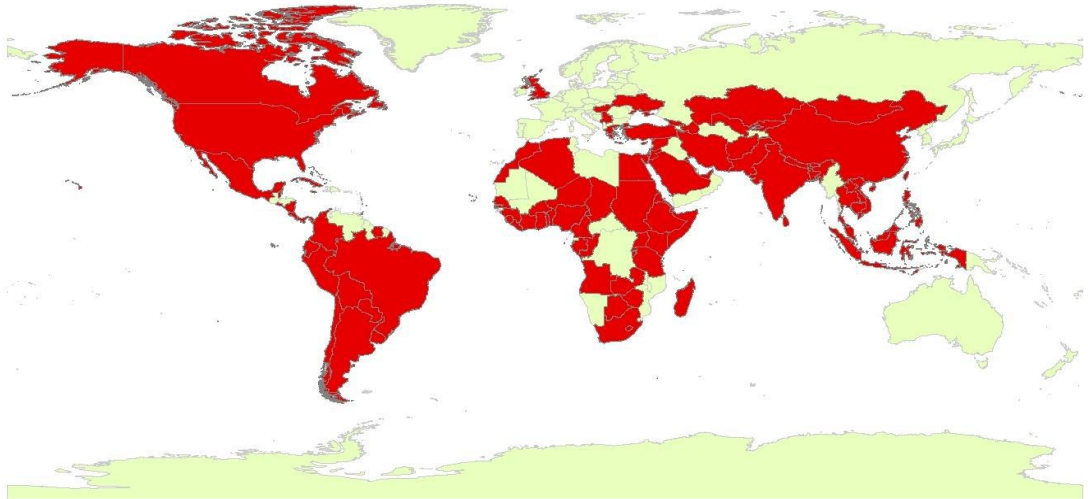
ALADIN aslında, AROME, ALARO ve ALADIN modelleri ile bu modellerin başlangıç ve sonuç verilerini işlemek için gerekli araçları da içeren komple bir sistemdir. Bu araçlar arasında veri asimilasyonu, ODB (Observational Database), FAtogRIB, klimatolojik verilerin hazırlanması, diagnostik parametrelerin üretilmesi de yer almaktadır. AROME ve ALARO ise ALADIN'in hidrostatik olmayan sürümleri olup yatay çözünürlükleri sırasıyla 2,5 km ve 57 km'dir. Bu modellerin başlangıç ve sınır koşulları ARPEGE küresel modelinden elde edilmektedir. Şekil 3.8'de ALADIN modelinin kullanıldığı hava tahmin alanları gösterilmektedir [88].

ALADIN yaklaşık olarak 10 km yatay çözünürlükte kartezyen gridlerde sınırlı bir alanda çalışan biperiyodik ve hidrostatik hava tahmin modelidir [88].



Şekil 3.8. ALADIN Modeli tahmin alanlarının uydu üzerinden görünümü [104].

3.1.2.3. PRECIS Modeli



Şekil 3.9. PRECIS kullanıldığı ülkeleri gösteren harita [105]

PRECIS (Providing Regional Climates for Impacts Studies), İngiltere Meteoroloji Servisi Hadley İklim Tahmin ve Araştırma Merkezi tarafından geliştirilen ve grafik ara yüzü olan bir modeldir. Model, mevcut durumda 50 ve 25 km çözünürlükte 19 dikey seviyede (50m - 30 km arasında), en alt dört seviye sadece arazi yüzeyini takip

eden sigma, en üst üç seviyede sadece basınç ve kalan ara seviyelerde bu ikisinin birleşiminden oluşan hibrid (hybrid) koordinatlardan oluşmaktadır [106].

PRECIS, birçok ülkede enstitüler tarafından lisanslı olarak kullanılmaktadır

3.1.2.4. RegCM Modeli

RegCM modelinin temeli Amerikan Ulusal Atmosfer Araştırmaları Merkezi (NCAR-The National Center for Atmospheric Research) çıkışlı MM4 (orta ölçek model) modeline dayanmaktadır. Modelin aynı kalan dinamik bileşenleri sıkıştırılabilir, hidrostatik denge ile grid nokta modeli, düşey sigma koordinatlarıdır. Farklıklar ise, topoğrafik gradyanların varlığındaki açık formda ayrıklaştırılmış zaman integrasyonu alt modeli ile azalan yatay difüzyon algoritmasının kullanımınıdır. MM4 uygulamaları için öncelikli olarak birinci nesil RegCM uygulamalarında da kullanılan fiziksel 25 parametrisasyon radyatif transfer ve kara yüzeyi fiziği değiştirilmiştir. Birinci nesil RegCM, yüzey işlemi temsili için Biyosfer-Atmosfer Transfer Modelini (BATS), radyatif transfer için Topluluk İklim Modelini (CCM) (NCAR 'National Center for Atmospheric Research'), orta ölçek yerel gezegensel çözünürlük sınır tabaka modelini, Kuo-tipi kümülüs konveksiyon alt modeli ve açık nem modelini alt modeller olarak kullanmıştır. RegCM2'nin fiziği NCAR CCM2 ve orta ölçek modelden MM5 alınmıştır. Radyasyon hesaplarında CCM2 modelinin radyatif transfer paketi ve yerel olmayan sınır tabaka alt modeli kullanılmıştır. Ayrıca kütle akısı kümülüs alt modeli eklenmiş ve BATS modelinin son uygulaması da modele dâhil edilmiştir. Fiziksel gelişmeler RegCM modeli için kullanıma uygun hale getirilerek CCM2 radyatif transfer paketi yerine modelde CCM3 kullanılmıştır. Model alanının içine doğru gidildikçe model çözünürlüğü de artmaktadır. Bunun dışında göl modelleriyle olan birleştirmeler ve iz gazların radyatif etkileşime girmesinin model içinde hesaplanması da RegCM modelinin önemli bir üstünlüğüdür [85].

Bölgesel iklim modeli RegCM'in aşamaları 4 ana başlıkla belirtilebilir:

- Model eşitlikleri,
- Parametrisasyon,

- Model projeksiyonu ve grid yapısı ve
- Modelin koşturulması.

Anılan aşamalar aşağıda özetle açıklanmıştır.

Model Eşitlikleri

RegCM modeli atmosferdeki temel fiziksel olayları aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplamaktadır.

Momentum Eşitliği

İki momentum ve süreklilik denklemi, bilinen sınır şartı doğrultusunda seçilen fiziksel alan içinde herhangi bir noktadaki hız unsurlarını ve basınç değerini hesaplamak için yeterlidir. Sıcaklık ise enerji denkleminin çözümlenmesi ile bulunabilir.

Modelin düşey koordinatı, yüzeyi takip eden sigma (σ) koordinatıdır.

$$\sigma = \frac{p - p_t}{p_s - p_t} \quad (3.1)$$

Denklemden p istenilen seviyedeki basınç, p_s yüzey basıncı ve p_t ise model atmosferin en üst noktasındaki basınçtır. Bu sistem için hareket denklemi aşağıda verilmiştir.

$$\frac{\partial p^* u}{\partial t} = -m^2 \left(\frac{\partial p^* uu/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* vu/m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* u \sigma^1}{\partial \sigma} - mp^* \left[\frac{RT_v}{(p^* + p_t/\sigma)} \frac{\partial p^*}{\partial x} + \frac{\partial \phi}{\partial x} \right] + fp^* v + F_H u + F_v u \quad (3.2)$$

$$\frac{\partial p^* v}{\partial t} = -m^2 \left(\frac{\partial p^* uv/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* vv/m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* v \sigma^1}{\partial \sigma} - mp^* \left[\frac{RT_v}{(p^* + P_t/\sigma)} \frac{\partial p^*}{\partial y} + \frac{\partial \phi}{\partial y} \right] + fp^* u + F_H v + F_v v \quad (3.3)$$

Denklemden u ile v ; hızın doğuya ve kuzeye doğru olan bileşenlerini, T_v ; *virtüel* sıcaklığı, ϕ ; jeopotansiyeli, f ; *coriolis* parametresini, R ; kuru havanın gaz sabitini, m ; Polar Stereografik, Lambert Benzeşim ya da Merkator Harita projeksiyonu için harita ölçek faktörünü,

$$\sigma = \frac{d\sigma}{dt} \quad (3.4)$$

F_H ve F_v ise yatay ve düşey difüzyon etkilerini gösteren değişkenlerdir. Eşitlikteki p^* ,

$$P^* = P_s - P_t \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Süreklilik ve Sigmadot Eşitlikleri

Süreklilik eşitliği,

$$\frac{\partial p^*}{\partial t} = -m^2 \left(\frac{\partial p^* u/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v/m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* \sigma^1}{\partial \sigma} \quad (3.6)$$

şeklinde yazılabilir. Eşitlik (6)'nın düşey integrali ise modeldeki yüzey basıncının zamansal değişimini vermektedir.

$$\frac{\partial p^*}{\partial t} = -m^2 \left(\frac{\partial p^* u/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v/m}{\partial y} \right) \partial \sigma \quad (3.7)$$

Yüzey basınç değişimi $\frac{\partial p^*}{\partial t}$ 'nin hesaplanmasından sonra sigma (σ^*) koordinatlarındaki düşey hız, 6 nolu denkleminin düşey integralinden her bir seviye için aşağıdaki şekilde hesaplanabilir.

$$\sigma = -\frac{1}{p^*} \int_0^{\sigma} \left[\frac{\partial p^*}{\partial t} + m^2 \left(\frac{\partial p^* u/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* v/m}{\partial y} \right) \right] \partial \sigma' \quad (3.8)$$

bu denklemde σ' integrasyonun geçici değişkenidir ve $\sigma^*(\sigma = 0) = 0$ dır.

Termodinamik Eşitlik ve Omega (ω)

Termodinamik eşitlik aşağıdaki şekilde ifade edilmektedir.

$$\begin{aligned} \frac{\partial p^* T}{\partial t} = & -m^2 \left(\frac{\partial p^* uT/m}{\partial x} + \frac{\partial p^* vT/m}{\partial y} \right) - \frac{\partial p^* T \sigma'}{\partial \sigma} \\ & + \frac{RT \omega_v}{c_{pm} \left(\sigma + \frac{p_t}{p^*} \right)} + \frac{p^* Q}{c_{pm}} + F_H T + F_V T \end{aligned} \quad (3.9)$$

Denklemde c_{pm} , sabit basınçta nemli hava için özgül ısı, Q ise adiyabatik ısınma olarak tanımlanmıştır. $F_H T$, yatay difüzyon etkilerini, $F_V T$, düşey karışma ile kuru konvektif faaliyetleri ifade etmektedir. ω ise,

$$\omega = p^* \sigma' + \sigma \frac{dp^*}{dt} \quad (3.10)$$

şeklinde tanımlanır ve bu denklemdeki $\frac{\partial p^*}{\partial t}$

$$\frac{dp^*}{dt} = \frac{\partial p^*}{\partial t} + m \left[u \frac{\partial p^*}{\partial x} + v \frac{\partial p^*}{\partial y} \right] \quad (3.11)$$

olarak ifade edilir c_{pm} ise,

$$c_{pm} = c_p (1 + 0,8q_v) \quad (3.12)$$

şeklinde hesaplanır. (3.12) denkleminde c_p , kuru hava için sabit basınçtaki özgül ısı, q_v ise su buharının karışma oranıdır.

Hidrostatik Eşitlik

Hidrostatik eşitlik, virtüel sıcaklık T_v den, jeopotansiyel yüksekliği hesaplayabilmek için kullanılmaktadır ve,

$$\frac{\partial \phi}{\partial \ln \left(\sigma + \frac{p_t}{p^*} \right)} = RT_v \left[1 + \frac{q_c + q_r}{1 + q_v} \right]^{-1} \quad (3.13)$$

şeklinde ifade edilir. (13) denkleminde verilen virtüel sıcaklık T_v ,

$$T_v = T(1 + 0,608q_v) \quad (3.14)$$

şeklinde hesaplanır. Denklem 13'deki q_c ve q_r sırasıyla, bulut ve yağmur suyu karışma oranlarını ifade etmektedir.

Parametrizasyon

Atmosfer modellerinde atmosferik olayların oluşumlarını açıklamak için farklı araştırmacılar tarafından geliştirilmiş çok sayıda bilimsel olarak kanıtlanmış veya

henüz teorik düzeyde olan fiziksel yaklaşımlar kullanılmaktadır. Atmosferik benzeşimlerde bu yaklaşımların farklı birleşimler şeklindeki paketler halinde kullanılmasına parametrizasyon adı verilmektedir. RegCM Modelinde otuzun üzerinde fiziksel parametre ve bunlara bağlı yaklaşık altmış seçenek ile çalışmak mümkündür. Anılan parametrelerden bazıları bölgesel uygunluğun sağlanması için tez çalışması kapsamında denenmiştir. Bu bölümde sadece bölgesel uygunluk için çalışılan parametrelerden kümülüs alt programı ile ilgili ayrıntılı bilgi verilmiştir.

Yapılan deneme model koşturmalarında kümülüs alt programı olarak Grell vd. (1994) tarafından geliştirilmiş kümülüs parametresinin Arakawa ve Schubert alt programı yaklaşımı seçilmiştir [107]. Grell alt modelinde bulutlar, aşağı ve yukarı yönlü hava hareketlerinin sebep olduğu denge hal dolaşımı olarak resmedilmekte ve bulutların tepe ve tabanları haricinde bulut havası çevre havası ile doğrudan karışmadığı varsayılmaktadır. Yukarı ve aşağı yönlü hava akımlarının kütle akılarının (sırasıyla m_b , m_o) yükseklikle sabit olduğunu kabul eden, basitleştirilmiş bir bulut modeli kullanılır. Yukarı ile aşağı yönlü hava akımlarının başlangıç seviyesinin sırayla maksimum ve minimum nemli statik enerji seviyeleri olduğu kabul edilmektedir. Grell kümülüs parametrizasyonu, nemli konveksiyonun başladığı seviyede parsel yukarı yönlü hava hareketiyle yükseltildiği zaman aktif hale geçerken yukarı yönlü hava akımındaki yoğunlaşma, doymuş parselin kaldırılmasından faydalanılarak ve bulutun yanal sınırlarından hiç kütle alışverişinin olmadığı varsayımıyla hesaplanmaktadır. Aşağı yönlü hava akımının kütle akısı, β parametresi ile yukarı yönlü hava akımının kütle akısına orantılı hale getirilir. β yukarı yönlü hava akımının yoğunlaşma yayılımı olarak tanımlanır ki, aynı zamanda, aşağı yönlü hava akımında da bulunur. Bundan dolayı, $1-\beta$ yağış verimi olarak tanımlanır. Bu durumda yağmur,

$$R = I_2 m_b (1 - \beta) \quad (3.15)$$

ile ifade edilir. Burada I_2 , yukarı yönlü hava akımının derinliği boyunca integrali alınmış yoğunlaşma miktarıdır. Geniş ölçekteki ısınma ve nem alışverişi geri besleme mekanizmaları, karşılanmış kütle akısı ile bulut taban ve tavan noktalarındaki akımların çıkışları ile belirlenir. Alt programa nemli, konvektif, aşağı

yönlü akımların soğuma etkileri de dâhildir. Alt programı tamamlamak için Giorgi tarafından test edilmiş farklı kabuller kullanılır [81]. Doktora tez çalışması kapsamında yapılan denemelerde kullanılan sürümde Arakawa ve Schubert'in kabulleri adapte edilmektedir ve bahsedilen mb ,

$$m_b = \frac{ABE'' - ABE}{\Delta t NA} \quad (3.16)$$

şeklinde ifade edilir. Burada, ABE'' Δt zamanı boyunca, geniş ölçekteki hareket tarafından sağlanan uygun kaldırma enerjisi; ABE ise bulut çevresindeki uygun kaldırma enerjisidir. 15 nolu eşitlikteki ifade, geniş ölçek hareketinden dolayı üretilen aşırı kaldırma enerjisinin, kümülüs çevresine belirli bir zaman adımıyla taşındığını gösterir. Burada tartışılan deney için, düşey rüzgâr kaymasının fonksiyonu olarak kabul edilen β değeri 0,25 ile 0,5 arasında değişir. Giorgi vd. (1993) β 'nin değişimiyle bu alt modelin duyarlılığını tartışmışlardır. Orta enlemlerde Arakawa-Shubert yaklaşımı yağışları diğer yaklaşımlara kıyasla daha iyi benzeştirmektedir, bu nedenle de anılan yaklaşım RegCM modelinin oluşumunda kullanılmıştır [98].

Model Projeksiyonu ve Grid Yapısı

Modelde üç tip haritada kullanılan izdüşüm sistemi kullanılabilir (Şekil 3.10).

Bunlar;

- Kutupsal (Polar) Stereografik
- Merkator Silindirik Projeksiyonu
- Lambert Projeksiyonu'dur.

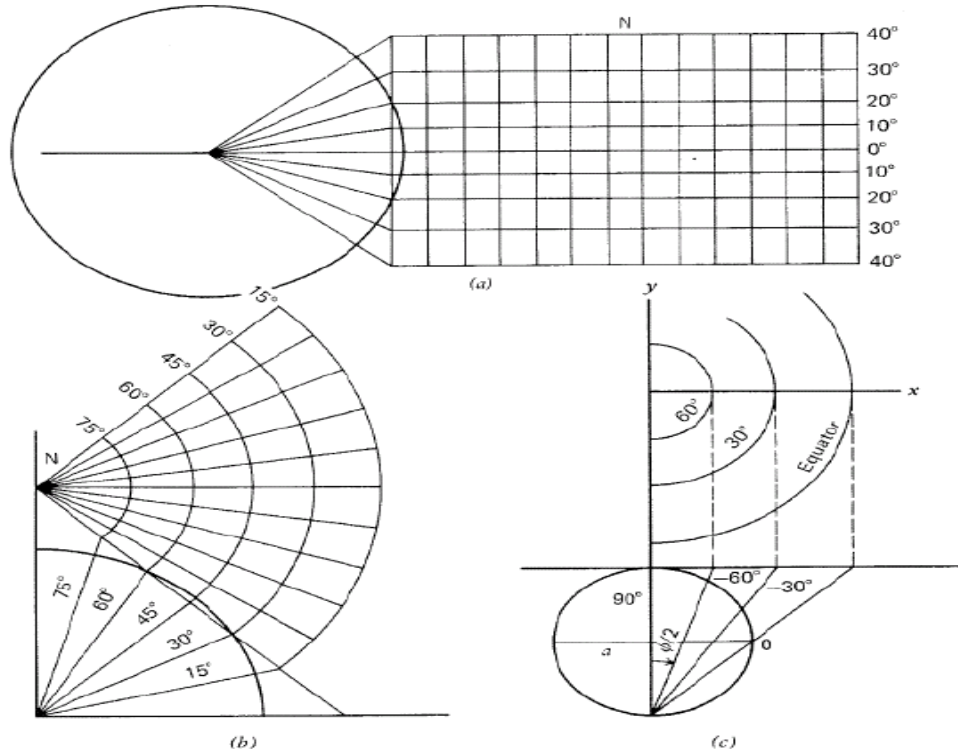
Kutupsal (Polar) Stereografik genel olarak küre ya da biraz daha fazlasının çizimi, Merkator Silindirik Projeksiyon ise özellikle Ekvatoryal band için uygundur. Lambert Projeksiyonu orta enlemler için uygundur. Lambert benzeşim projeksiyonu aşağıdaki eşitlikler ile tanımlanır:

$$r = r_0 \left[\tan \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \right]^K \quad \Theta = K(\lambda - \lambda_0) \quad (3.17)$$

Denklemde, r_0 ve K sabitleri, projeksiyonu ϕ_1 ve ϕ_2 enlemleri için doğrulamak için kullanılabilir ve bu durumda denklem (17);

$$r = \left(\frac{a}{K} \right) m(\varphi) \cos \varphi \quad \Theta = K(\lambda - \lambda_0) \quad (3.18)$$

şeklinde yazılabilir.



Şekil 3.10. Harita Projeksiyonları a)Mercator b)Lambert Conformal c)Polar Stereografik) [108].

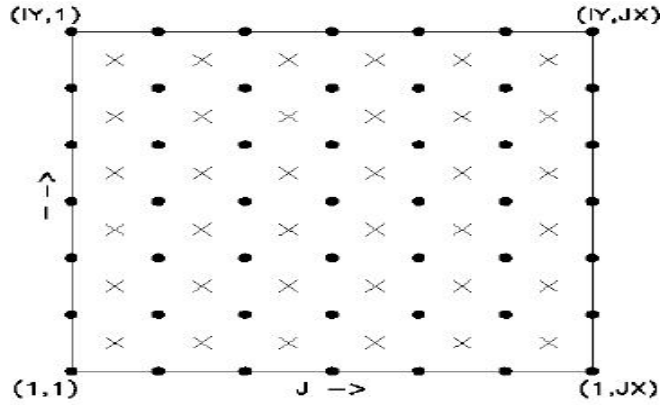
Denklem (18)'deki m ve K parametreleri ise aşağıdaki şekilde ifade edilir.

$$m(\varphi) = \left(\frac{\cos \varphi}{\cos \varphi_1} \right) (K - 1) \left(\frac{1 + \sin \varphi_1}{1 + \sin \varphi} \right) K \quad (3.19)$$

$$K = \ln\left(\frac{\cos \varphi_1}{\cos \varphi_2}\right) + \ln\left\{\frac{\tan\left[\left(\frac{\pi}{4}\right) - \left(\frac{\varphi_1}{2}\right)\right]}{\tan\left[\left(\frac{\pi}{4}\right) - \left(\frac{\varphi_2}{2}\right)\right]}\right\} \quad (3.20)$$

RegCM modelinin dünyada farklı iklime sahip bölgeleri için de uygulamaları mevcuttur. Bu çalışmalarda değişik bölgelerdeki yıllar arası değişimin benzetiminin de model performansı incelenmiştir. Bütün bu çalışmalarda model, gözlenmiş değerlerin analizleri kullanılarak çalıştırılmış ve özellikle de yağış benzetimlerine odaklanmıştır. Genel olarak bu çalışmalar sonucunda RegCM modelinin bölgesel ölçekteki yıllar arası değişimin ana özelliklerini yakalamayı başardığı saptanmıştır [88].

RegCM modelinde Arakawa B grid yapısı kullanılmaktadır. Kaydırılmış gridin bir çeşidi olan B gridin yapısı Şekil 3.11'de gösterilmiştir. Bu grid sisteminde model noktalarında (.) u ve v rüzgâr bileşenlerini, x ile gösterilen yerlerde ise diğer tüm değişkenleri (T (sıcaklık), p (basınç), vb.) hesaplamaktadır [85].



Şekil 3.11. Model grid yapısı (Arakawa B) [85].

Bu çalışmada RegCM bölgesel iklim modelinin 2010 yılı içerisinde duyurulan 4.0 versiyonu kullanılmıştır. 2011 yılında RegCM 4.1 sürümü duyurulmuş ve 5.0 versiyonunun geliştirilmesi için yapılan çalışmalar ICTP tarafından yürütülmektedir.

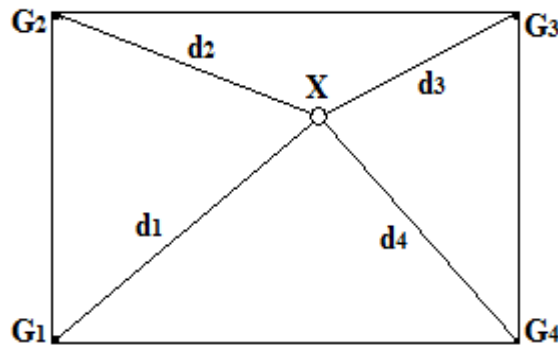
Enterpolasyon Yöntemleri

Enterpolasyon, referans noktalarındaki ölçme değerlerinden, ölçülmeyen noktalardaki ölçü büyüklüklerinin kestirimidir. Çalışmada iki kısımda enterpolasyon işlemi iki farklı yöntem ile (mesafenin tersine göre ağırlıklı enterpolasyon yöntemi ve kriging yöntemi) kullanılmıştır.

Öncelikle model sonuçlarının gözlem değerleri ile doğrulaması için model ve istasyon değerlerinin aynı noktaya taşınması gerekmiştir. ECMWF 2005 raporunda da belirtildiği gibi eğer gözlem değerleri model değerlerinden daha yüksek çözünürlüğe sahipse istasyon değerleri model gridlerine taşınır, değilse yani model gridlerinin yatay mesafe değişimi ve yoğunluğu, gözlem istasyonlarının arasındaki mesafeden ve yoğunluğundan yüksekse bu durumda model grid değerleri istasyonlara taşınır.

Mesafenin Tersine Göre Ağırlıklı Enterpolasyon

Mesafenin tersine göre ağırlıklı enterpolasyon yönteminin oldukça hızlı ve nispeten basit bir matematiksel algoritması vardır. Kuvvet parametreleri, bir grid köşesinden uzaklık artarken ağırlık etkisinin nasıl azaldığını gösterir.



Şekil 3.12. Dört grid değerinin bir noktaya enterpolasyonu [109].

Küçük bir kuvvet için ağırlıklar, referans noktaları arasında daha düzgün bir şekilde dağılır, daha büyük bir kuvvet için yakın referans noktaları ortalama ağırlığın daha büyük bir kesri olarak verilir. Belirli bir grid köşesi hesaplandığı zaman, bir referans

noktasına verilen ağırlık, grid köşesinden gözlemlenen belirtilmiş kuvvete olan mesafenin tersiyle orantılıdır. Bir grid köşesi hesaplandığında, hesaplanan ağırlıklar kesirlidir ve toplamları 1'e eşittir. Eşitlik 20 ve 21'de fonksiyonun eşitlikleri verilmiştir.

$$X = \frac{\sum_{i=1}^n G_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (3.21)$$

X enterpolasyon yapılan noktanın değeri

G_i i 'inci referans noktasının değeri

P_i i 'inci referans noktasının ağırlığı

$$P_i = \frac{1}{d_i^n} \quad (3.22)$$

d_i referans noktası ile enterpolasyon yapılacak nokta arasında ki mesafe n mesafenin kuvveti.

1, 2, 3 veya 4 olabilir. Genel olarak 2 seçilmektedir.

Mesafenin az olduğu "cone-like" durumlarında ise 1 olarak seçilir.

Kriging Yöntemiyle Enterpolasyon

İkinci enterpolasyon yöntemi kriging yöntemiyle enterpolasyon, gözlem noktalarına enterpole edilen model değerleri ile gözlem değerleri arasındaki farkların tüm çalışma alanı üzerinde alansal dağılımının şekilsel olarak görülebilmesi için Surfer Programı ile tüm alana enterpole edilerek haritalanmasında kullanılmıştır. Benzer şekilde iklim modelinin A2 senaryo değerleri ile Referans değerlerini karşılaştırarak farkların tüm alana enterpole edilerek gösterilmesinde Surfer ve Surfer'in enterpolasyon fonksiyonları kullanılmıştır.

Surfer 3.2 programındaki enterpolasyon yöntemleri şunlardır [110]:

- Mesafenin Tersine Göre Enterpolasyon
- Kriging Yöntemiyle Enterpolasyon
- Minimum Eğrilik Yöntemiyle Enterpolasyon
- Polinomal Regresyon Yöntemiyle Enterpolasyon
- Radyal Temel Fonksiyonlar Yöntemiyle Enterpolasyon
- En Yakın Komşu Yöntemiyle Enterpolasyon
- Shepards Yöntemiyle Enterpolasyon
- Lineer enterpolasyonla triangülasyon yöntemi

En Uygun Gridleme Yönteminin Belirlenmesi

Surfer programında birçok gridleme yöntemi bulunmaktadır. Farklı gridleme metotlarıyla farklı sonuçlar üretilir. Soycan ve Soycan (2002) tarafından verilere en uygun gridleme yöntemi olarak aşağıda özellikleri belirtilen farklı yaklaşımlardan birinin kullanılabileceği belirtilmektedir [110].

Mesafenin tersi yöntemi, hızlıdır fakat dayanak noktaları etrafındaki eğrilerin ‘bull’s eye’ modellerini ortak bir merkezde genelleştirme eğilimindedir.

Kriging yöntemi, oldukça esnek metotlardan biridir ve dayanak nokta gruplarının hemen hemen tüm çeşitlerinin gridlenmesi için uygundur. Çoğu dayanak nokta gruplarıyla, lineer bir variogramla Kriging oldukça etkilidir ve bu nedenle tercih edilir. Daha geniş dayanak nokta grupları için ise oldukça yavaş sayılabilir.

Minimum eğrilik yöntemi, düzgün yüzeyler üretir ve çoğu dayanak nokta grubu için hızlıdır.

En yakın komşuluk yöntemi, düzenli olarak X,Y,H uzaysal dayanak noktaları dosyalarını Surfer grid dosyalarına dönüştürmek için kullanılır. Ya da dayanak noktalarının gridlenmesi hemen hemen tamam, ancak bazı eksik boşluklar varsa, bu metoda boşlukları doldurmak için uygundur veya mevcut dayanak noktalarının olmadığı böyle yerlerde yetersiz değerlerle bir grid dosyası oluşturmakta kullanılır.

Polinomal regresyon yöntemi, dayanak noktalarının değerlendirilmesini ve böylece altında yatan büyük ölçek eğilimlerin ve modellerinin gösterilmesini sağlar. Bu model, yüzey analizi trendi için uygundur. Polinomal regresyon, her sayıdaki dayanak noktaları için çok hızlıdır fakat dayanak noktalarındaki bölgesel detaylar üretilmiş griddede bulunmaz.

Radyal temel fonksiyonlar yöntemi, Kriging metodu gibi oldukça esnektir, elde edilen sonuç, çoğu dayanak nokta gruplarının yorumlanması konusunda en iyi yöntemlerden biridir. Bu yöntem, tamamen Kriging'e benzer sonuçlar vermektedir. Shepard's yöntemi, mesafenin tersi yöntemine benzerdir. Fakat özellikle yumuşatma faktörü kullanıldığı zaman "bull's eye" modellerini genelleştirmek gibi bir eğilimi yoktur.

Lineer enterpolasyonla triangülasyon yöntemi, bütün dayanak nokta gruplarında kullanımı kolay ve hızlıdır. Triangülasyonun bir diğer avantajı is yeterli dayanak noktalarıyla triangülasyon bir dayanak noktası içindeki kırık hatların korunabilmesidir.

Yukarda da belirtildiği gibi tüm yöntemlerin kullanılabilir olmalarına karşı veri tipine göre bazıları diğerlerine göre üstünlük sağlayabilmektedir [110-115]. Kriging, birçok alanda yaygın ve yararlı olduğu kanıtlanmış jeostatiksel bir gridleme yöntemidir. Bu yöntemde düzensiz arazi dayanak noktalarından görsel yüzey çizimi ve uygun eş yükseklik eğrileri oluşturur. Kriging çok esnek bir gridleme metodudur. Kriging enterpolasyon yöntemi özgün iklim değişkenleri ve onların istatiksel sonuçlarını, yağış verileri de dâhil olmak üzere, uygun bölgeler üzerinde alansal dağılım şekillerinin daha iyi yorumlanmasını sağlar [116]. Surfer Programının içinde kriging, kullanıcının belirlediği parametrelere bağlı olarak hem mutlak hem de düz bir enterpolasyon yöntemi olarak kullanılabilir.

$$Y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^N [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (3.23)$$

3.1.3. İklimsel Verilerin Analizinde Kullanılan Yöntemler

Model sonuçlarının bölgeyi temsil edebilirliği diğer bir deyişle model doğrulaması için model sonuçları gözlem sonuçlarıyla karşılaştırılır. Objektif bir doğrulama için model değerlerinin gözlem değerlerinden farkına, *Ortalama Hata* (ME) ve *kök hata kareler ortalaması* (RMSE) değerlerine bakılır [117]. Subjektif doğrulama içinse model, gözlem değerleri, ortalama hata değerleri 3 boyutlu yüzey haritalama ve konturlama programı (Surfer) veya grid analiz ve gösterim sistemi (GRADS) programında verilerin eş değer konturları veya değerlerin çalışma alanı üzerinde harita gösterimi şeklinde yapılır.

İklim parametrelerindeki değişimlerin belirlenmesi amacıyla model önce referans verileriyle 1961-1990 dönemi için, daha sonra da A2 senaryo verileriyle 2071-2100 dönemi için koşturulmuştur. Şekil 3.13’de her iki dönemde 30’ar yıllık koşturmadan elde edilen model kestirim verileri arasındaki farkı istatistiksel olarak Sanders (1995) tarafından belirtilen iki örnekleme ortalamasının karşılaştırılmasında takip edilecek prosedür kullanılarak değerlendirilmiştir [118].

3.1.3.1. Ortalama Hata

$$\text{Ortalama Hata} = (1/n)\Sigma(X_{\text{model}}-X_{\text{gözlem}})$$

Ortalama Hata = Model ile gözlem değeri arasındaki fark

n = Gözlem sayısı

x_{model} = Model değeri

x_{gözlem} = Gözlem değeri

Ortalama hata, verilen iklim değişkenlerinin yerel davranışları hakkında oldukça yararlı bilgiler veren en basit ve çok yaygın kullanılan bir değerdir. Ortalama hata aralığı negatif sonsuzdan, pozitif sonsuza kadardır ve anılan değerın sıfır olması model kestirimının % 100 doğru olduğu, diğer bir ifadeyle gözlem ve kestirim değerleri arasında mükemmel bir uyum olduğunu gösterir [122].

3.1.3.2. Kök Hata kareler Ortalaması (RMSE)

Doğrulama çalışmalarında yaygın olarak kullanılan diğer bir ölçüm metodu *Kök hata kareler ortalaması* (RMSE) diğer bir ifadeyle hata miktarı karelerinin ortalamasının kök değeridir. RMSE hata karelerini dikkate alması nedeniyle büyük kestirim hatalarına karşı ortalama hataya göre daha duyarlıdır [122].

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (x_{\text{model}} - x_{\text{gözlem}})^2} \quad (3.24)$$

3.1.3.3. İki Ortalama Arasındaki Farkın Anlamlığı İçin Student t Testi

Şekil 3.13'de görüleceği gibi iki örnekleme ortalamasının karşılaştırılmasında 4 yöntem izlenmektedir:

Yöntem 1: Populasyonları normal dağılım gösteren iki bağımlı örnek olması durumunda *eşleştirilmiş t testi* uygulanır.

Yöntem 2: Her iki gözlem sayısı 30'dan büyükse veya σ_1 ve σ_2 biliniyorsa, populasyonlar normal dağılım gösteriyorsa ve örnek grupları birbirinden bağımsız ise *z dağılım fonksiyonu* uygulanır.

Yöntem 3: Eğer σ_1 ve σ_2 bilinmiyorsa ve örnek sayısı 30'dan büyük değilse, $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ hipotezinin F testi sınaması sonucunda, belirtilen H_0 hipotezinin kabul edilmemesi (varyanslar eşit değil) durumunda yöntem 3'te belirtilen student t dağılım fonksiyonu uygulanır.

Yöntem 4: Eğer σ_1 ve σ_2 bilinmiyorsa ve örnek sayısı 30'dan büyük değilse ve F testi sonucu $H_0 : \sigma_1^2 = \sigma_2^2$ hipotezi kabul edilirse (varyanslar eşit) yöntem 4'te belirtilen student t dağılım fonksiyonu uygulanır.

Örnek gruplarının birbirinden bağımsız olmaları, her bir örnek grubunun örnekleme büyüklüğünün 30'dan küçük veya eşit olması ($n_1, n_2 \leq 30$) nedeniyle ve populasyonun normal dağılım özellikleri gösterdiği varsayılarak istatistiksel analiz *student t dağılım* test istatistiği uygulanarak yapılmıştır [118]. Bu teste ilişkin eşitlikler aşağıda verilmiştir.

$$H_0 : \bar{x}_1 = \bar{x}_2$$

$$H_1 : \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2$$

$$S^2 = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \cdot \bar{x}^2 \right)}{n-1} \quad (3.25)$$

$$\bar{x} = \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i \right)}{n} \quad (3.26)$$

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (3.27)$$

ve

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2(n_1 - 1) + s_2^2(n_2 - 1)}{n_1 + n_2 - 2}} \sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}} \quad (3.28)$$

Burada sırası ile alt grupların,

\bar{x}_1 ve \bar{x}_2 : ortalamalarını

s_1^2 ve s_2^2 : varyanslarını

n_1 ve n_2 : gözlem sayılarını göstermektedir.

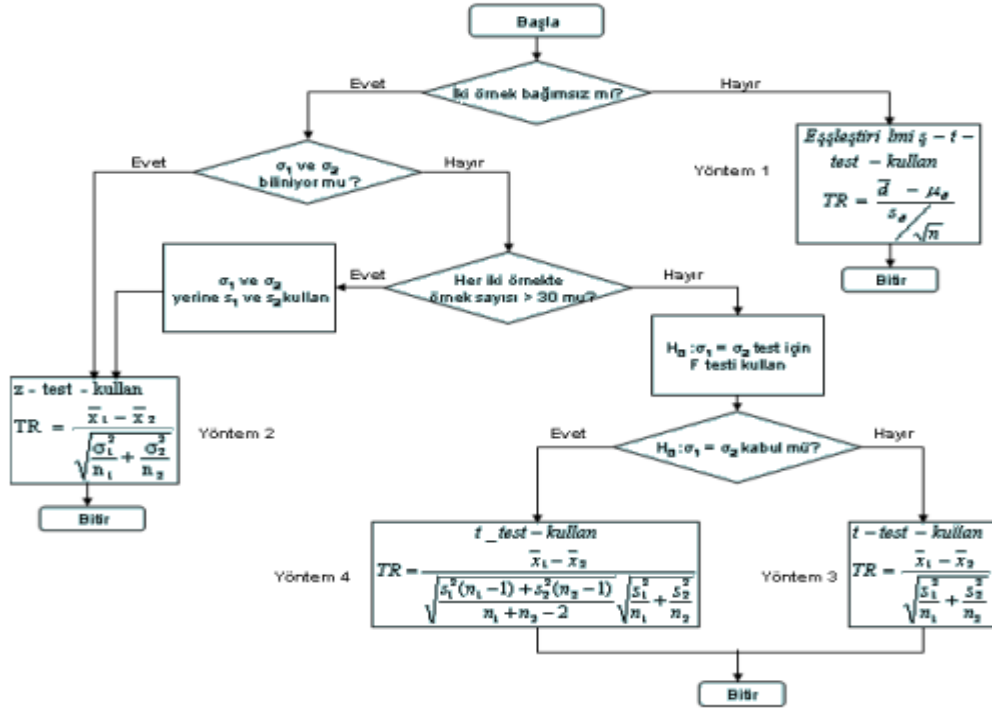
Yöntem 3 için serbestlik derecesi “ n_1-1 ” veya “ n_2-1 ” değerlerinden küçük olanıdır.

Yöntem 4 için serbestlik derecesi “ n_1+n_2-2 ” dir.

H_0 hipotezini kabul veya reddetmek için %5 yada %1 anlamlılık düzeyindeki student t kritik değeri hesaplanan student t sınaama örneklem değeri ile karşılaştırılır. Sonuçların dağılımın iki yanlı şekline göre sınıandığı durumlarda,

$$t_{cetvel, \alpha/2} < t_{hesap} < t_{cetvel, 1-\alpha/2}$$

koşulu sağlanırsa H_0 hipotezi kabul edilerek ortalamaların birbirinden farklı olmadığına karara verilir [118].



Şekil 3.13. İki örneklem ortalamasının karşılaştırılmasında izlenecek akış diyagramı [118].

3.1.3.4. Dizisel İlişkilerin Belirlenmesi

Diziler arası ilişkileri belirlemek için parametrik Pearson çarpım moment korelasyon katsayısını ve anlamlılığı ile parametrik olmayan Spearman korelasyon katsayısı ve anlamlılığı sınamaları uygulanacaktır. Dizilerin kendi içlerindeki değişkenliği ise değişim katsayısı ile belirlenecektir. Değişim katsayısı, değişkenin etkilendiği

düşünülen faktöre karşı duyarlılığının bir ölçüsü olarak incelenmesinin yanı sıra değişim katsayılarının karşılaştırılmasıyla diziler arasında fark olup olmadığı belirlenecektir.

Pearson Ürün Momenti Korelasyon Katsayısı

Pearson çarpım moment korelasyon katsayısını verir,-1,0 ile 1,0 arasında (dahil) boyutsuz bir indis olan ve iki veri kümesi arasındaki doğrusal bir ilişkinin kapsamını yansıtır. Pearson ürün moment korelasyon katsayısı r değerinin formülü:

$$r = \frac{\sum (x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (3.29)$$

Anlamlılığı ise;

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{1-r^2} \quad (3.30)$$

Spearman Korelasyon Katsayısı

Spearman korelasyon katsayısı rs(rho) değerinin formülü:

$$R_s = 1 - \frac{6\sum D^2}{N(N^2 - 1)} \quad (3.31)$$

Anlamlılığı ise;

$$t = \frac{r\sqrt{N-2}}{1-r^2} \quad (3.32)$$

ile belirlenir [123].

Değişim (Varyasyon) Katsayısı (CV)

Standart sapmanın ortalamaya oranıdır. Standart sapma, ortalamaya göre büyük ise dağılım yaygın; küçük ise, verilerin önemli bir bölümü ortalamaya yakın kümelenme göstermiş demektir.

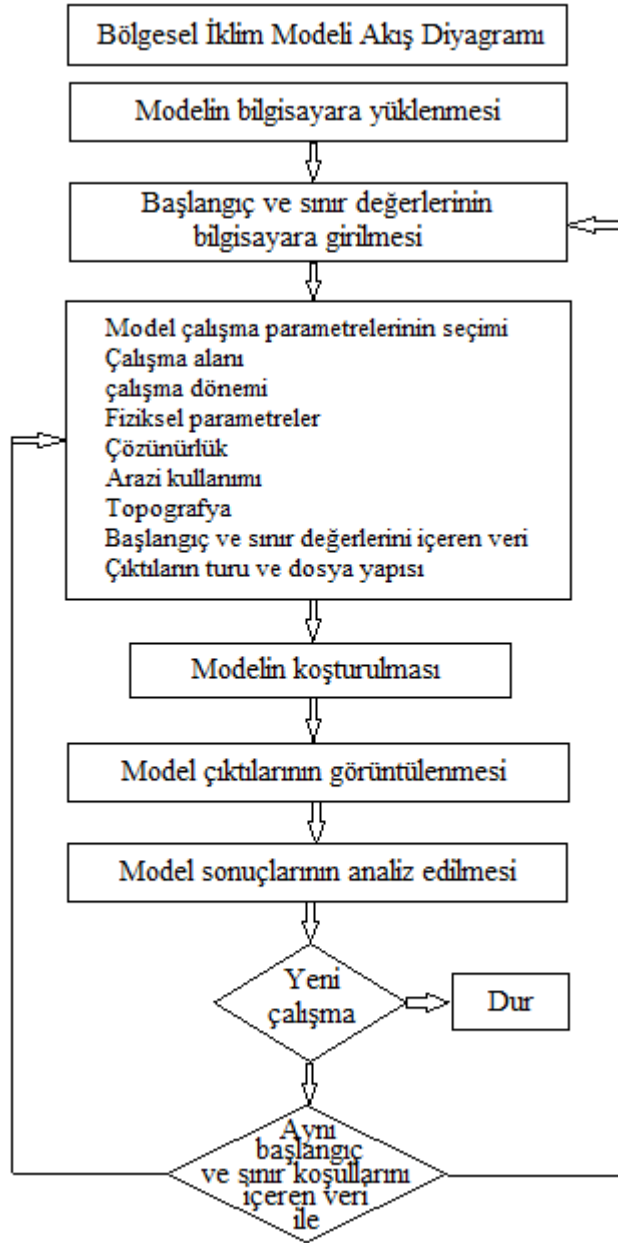
$$CV = (\text{Standart sapma}/\text{Aritmetik ortalama})100$$

3.1.4. RegCM Bölgesel İklim Modeli

3.1.4.1. RegCM Modelinin Çalıştırılması

RegCM modelinin koşturulması için öncelikle modelin kullandığı verilerin hazırlanması gerekmektedir. Bu veriler çok çeşitli koşullar için farklı kurumlar tarafından oluşturulan veri setlerinden alınmaktadır. Örneğin, başlangıç ve sınır koşullarını (Initial and Boundary Conditions-ICBC) içeren Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin Merkezi (ECMWF) tarafından hazırlanan veri seti olan ERA40, Amerikan Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi (NCAR) ile Amerikan Ulusal Çevre Projeksiyon Merkezi (NCEP) tarafından hazırlanan veri setleri NNRP1 ve NNRP2 (Reanalysis Product, V.1,2) gibi yer, uydu, radar, ravisonde gözlemlerinin asimile edilmesiyle elde edilen veri setleri ile HadCM, ECHAM, ECHAOM, FVGCM gibi küresel iklim modellerinin Referans ve Senaryo veri setleri bu amaçla kullanılabilen veri setleridir. Ayrıca modellerde Amerikan Jeolojik Araştırmalar Kurumu'nun (US Geological Survey-USGS) çeşitli çözünürlüklerde (60, 30, 15, 10, 5, 2 dakikalık) topografya ve arazi kullanım verileri kullanılmaktadır. Şekil 3.14'de RegCM modelinin çalışma şeması gösterilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan RegCM modeli yukarıda belirtilen veri setlerinden test amaçlı olarak NNRP2 ve ECH5OM, uzun süreli olarak ta HadAM3H kullanılarak çalıştırılmıştır.



Şekil 3.14. RegCM modelinin koşturulmasının şematik gösterimi.

HadAM3H küresel modeli yatay çözünürlüğü 2,5°, boylamda 3,75° olan HadAM3'ün anılan çözünürlüklerinin 2 kat iyileştirilmesi sonucunda elde edilmiştir. HadAM3H modeli hidrostatik, dikey koordinatlarda hibrit ve grid noktalı bir modeldir.

Pronostik bulut fonksiyonu olarak Gregory ve Morris (1996) in modelin birincil değerlerinden toplam nem ve potansiyel sıcaklıkta sıvı haldeki sudan, bulut buzu, bulut suyu ve bulut miktarını hesaplayan yaklaşımı kullanılmıştır [119]. Sınır tabaka işlemleri Smith (1990, 1993) tarafından basitleştirilmiş versiyonu olan sadece lokal

dikey karışmayı içeren (Pope vd., 2000) fonksiyonuna göre yapılmıştır [120-122]. Radiative transfer fonksiyonu Edwards ve Slingo (1996) ve Cusack vd. (1999) de tanımlanmış ve sırasıyla GHG, bulut ve sülfat aerosollerinin etkilerini içermektedir [123,124]. Son olarak ta toprak tabaka modülü, bitki modülü ve kar/toprak sublim modülleriyle toprak yüzeyi işlemleri Cox et al (1999) tanımlanan fonksiyonla hesaplanmıştır [63,125].

3.1.4.2. RegCM Modelinin Çıktıları

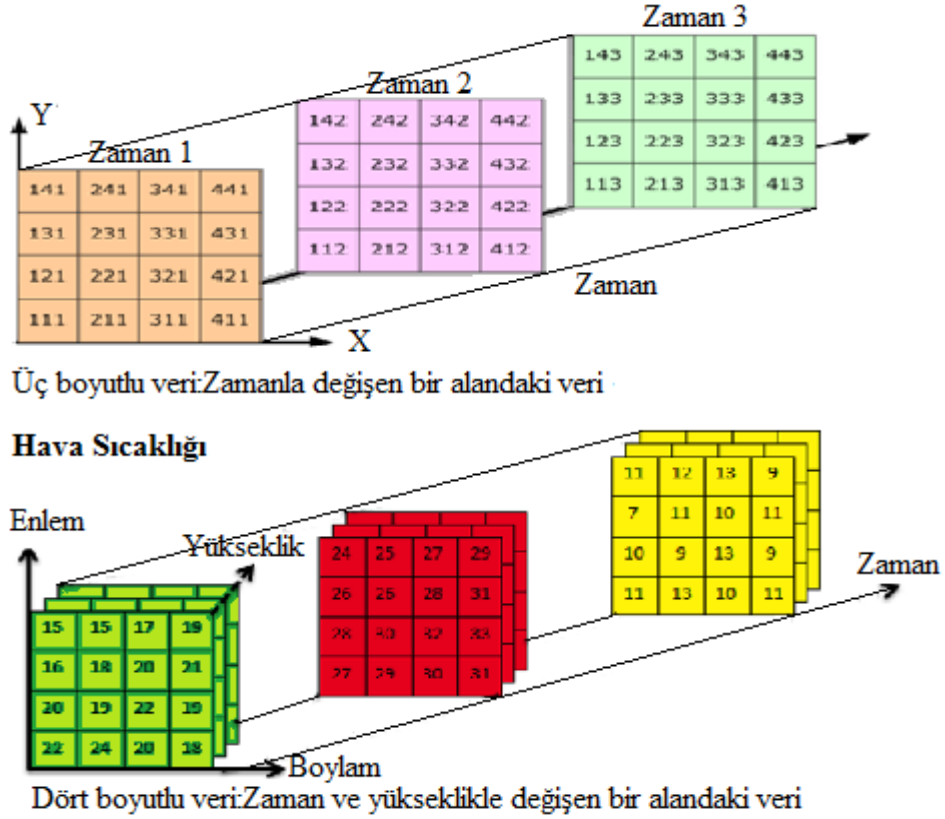
RegCM modelinin çıktıları için büyük bilgisayar belleği gerekmektedir. Bu nedenle model çıktıları ikilik düzende saklanmaktadır. Ancak yine de bilgisayar belleği zaman zaman sorun oluşturabilmektedir. Modelin çıktılarını 5 ayrı grup altında toplamak ve incelemek mümkündür. Bunlar sırasıyla atmosfer, yüzey, radyasyon, göl ve iz gazlarının etkileridir.

NetCDF (Network Common Data Form)

Bilimsel veri değişimi için kullanılan, kendi kendini tanımlayan, makina bağımsız ikilik veri formatı standardıdır. Proje anasayfası UCAR(University Corporation For Atmospheric Research) bünyesindeki Unidata programı sahipliğindedir. UCAR ve Unidata, yazılım, standart geliştirme, güncelleme v.b. gibi konularda NetCDF'in ana kaynağıdır. Format bir açık standarttır. Proje hâlihazırda 3. sürümde aktif olarak desteklenmekte ve 4. version için de destek planlanmaktadır. 4. sürümde HDF5 veri dosya formatı ile birleştirilmesi planlanmaktadır. HDF5 dosyalarına alternatif NetCDF ara yüzleri sunulacaktır. Format aslen NASA CDF (Common Data Format)'in kavramsal modeli temellidir. Fakat CDF'ten ayrıldığından beri onunla uyumlu değildir.

Veri formatı "kendi kendini tanımlayabilecek şekildedir". Bunun anlamı bir header/başlık vardır. Bu başlık veri dizilerine mahsus dosyanın geri kalanının düzenini tanımlar. Buna ek olarak isim/değer özellikleri (attributes)(bir nesnenin veya başka türlü bir elemanın etkeni) biçiminde metadata dosyalar isteğe bağlı olarak eklenebilirler. Format platformu bağımsızdır, yazılım kütüphanelerinde adreslenmiş

olan endianness (İşlemciler, byte'ları saklarken önemli byte'ın solda veya sağda saklamalarına göre sınıflandırılır. Buna endianness denir. Önemli byte'ların solda olduğu sıralamaya big - endian, sağda olduğu sıralamaya little - endian denir) dağıtımlara da uygundur. Veri dizileri, düzenli biçimlenmiş, basit bir şekilde ve kusurlu olmayan dikdörtgen biçimindedir. Ayrıca alt küme oluşumuna izin verir.



Şekil 3.15. Üç boyutlu ve dört boyutlu NetCDF’de verilerin depolanması.

NetCDF API'nin yeni 4.0 versiyonu geliştirilmektedir. Bu sürüm HDF5 veri formatının üzerinde genişletilmiş ve tamamlanmış olacaktır. NetCDF kullanıcıları, daha büyük dosyalar ve çoklu sınırsız boyutlar gibi NetCDF formatı ile kullanışlı olmayan özellikleri HDF dosyaları yaratarak kullanıyor olacaklardır. Geriye dönük uyumluluk eski NetCDF sürümlerinde desteklenmeye devam edecektir. Birleştirilmiş kütüphaneler ile NetCDF ve HDF5'in istenen ortak karakteristikleri korunacaktır. Onların farklı güçlerinin avantajlarından faydalanılacaktır: Örneğin, NetCDF basitliği ve yaygın kullanımı ve HDF'in performansı ve genelliği (Kullanım alanının çokluğu).

Yazılım kütüphaneleri, NetCDF dosyalarına okuma- yazma erişimi, metadata ve gerekli dizilerde kodlama kodçözme sağlayan UCAR tarafından tedarik edilmiştir.

Esas kütüphane C'de yazılmıştır ve C, C++ ve fortran uygulamaları için bir API sağlar. Bağımsız bir uyarılama/implementation olan %100 Java ile yazılmış Unidata tarafından geliştirilen ve korunan ek işlevsellikler eklenen ve esas veri modeli ile genişletilmiştir. C kütüphanelerindeki NetCDF temelli ara yüzlere Octave, IDL, Matlab, Ruby, Python, Perl ve R dilleri de dâhil edilmiş ve kullanıma hazırdır. API çağrılarının özellikleri, farklı dillerde syntax'ın zorunlu farklılıkları dışında çok küçük karşıtlıklar gösterir. Versiyon 2 için API çağrıları sürüm 3'ten daha farklıdır. Fakat geriye uyumluluk için sürüm 3 tarafından hala desteklenmektedir. Dil desteği kullanan uygulama programcıları dosya yapısı hakkında kaygılanmakla beraber bu format kullanışlı bir açık formattır.

NetCDF dosyalarını kullananların yaptığı ve yazdığı, geniş bir alana yayılan uygulama yazılımlarıdır. Bunlar komut satırı gereçlerinden grafik görüntüleme paketlerine farklılıklar gösterir.

NetCDF dosyaları için, Unix komut satırı gereçlerinden çoğunlukla kullanılan bir bölümü olan NetCDF Operators(NCO) suiti, Bu suit concatenating (İki karakter stringi birbirine bağlamak/birleştirmek), slicing (Nesne yönelimli programlamada çoğu kez bir alt sınıf, üst sınıftan daha çok bilgi tutar. Böylece eğer üst sınıf tipi bir değişkene alt sınıfın bir örneğini tahsis edersek, depolanacak fazla bilgiye yeterli alan kalmaz ve bu sliced off olarak adlandırılır. Nesnelere referans veya işaretleyiciler kullanırken bunun olmamasına dikkat edilmelidir.), ve average(ortalama) temel yazımlarını içeren NetCDF dosyalarının analizi ve manipülasyonu için bir komut alanı sağlar.

NcBrowse, NetCDF dosya teamüllerinin geniş bir alanı için Java grafikleri, animasyonlar ve 3 boyutlu görüntüleme içeren genel amaçlı bir NetCDF dosya görüntüleyici.

ncview, NetCDF dosya formatı için görsel bir tarayıcıdır. Genellikle ncview kullanmak kolay ve hızlıdır. Verinin basit görüntüsünü görebilirsin, boyutlar muhtelif uzunlukta görülür, gerçek veri değerlerine bakılabilir, renk haritaları değiştirilebilir, veri ters çevrilebilir gibi.

Panoply, Nasa Goddard Institute for Space Studies'de geliştirilen geo-gridded verinin görüntülenmesine odaklanmış bir NetCDF görüntüleyicisidir. Java'da yazılmıştır ve bu yüzden platform bağımsızdır. Her ne kadar ncBrowse ve ncview'le beraber özellikleri üst üste gelse, Panoply farklı ölçek renk tablolarıyla çalışma yeteneği ve harita izdüşümlerinin geniş türleri ile çalışması nedeniyle ncBrowse ve ncview'dan ayrılır.

The NCAR Command Language, NetCDF dosyalarında (diğer formatlarla birlikte) veri görüntüleme analizinde kullanılır.

PyNIO, bir python programlama dili modülüdür. NetCDF içeren veri formatlarına bir tür okuma/yazma erişim izni verir.

Ferret, okyanus bilimci ve meteorolojistler'e gerekli karmaşık gridded veri kümeleri ve büyük analizler için tasarlanmış bir etkileşimli/interactive bilgisayar görüntüleme ve analiz ortamıdır. Ferret, matematica (bilimsel ve matematiksel alanlarda kullanılan özel bir yazılım) gibi bir çözümleme yaklaşımıdır; yeni değişkenler, veri seti değişkenlerini kapsayan matematiksel açıklamalar gibi etkileşimli biçimde tanımlanabilirler. Hesaplamalar, isteğe bağlı olarak biçim verilmiş belgeler üzerinde uygulanabilir. Grafiklerin tüm dökümanları tek bir komutla üretilir.

Genellikle iklimbilim uygulamaları (hava tahmini, iklim değişikliği) ve GIS (Geographic Information System) uygulamalarında kullanılır. Pek çok GIS uygulaması için giriş/çıkış formatı ve genel bilimsel veri değişimi için NetCDF kullanılır. NetCDF internet sitesinden aktarmak gerekirse "NetCDF dizi-yönelimli veri erişimi ve ara yüzün gerçekleştirmesini(implementation) sağlayan kütüphane için bir ara yüzdür. NetCDF kütüphanesi hem de bilimsel veri sunumu için makina bağımsız bir formatı tanımlar. "

Paralel computing için NetCDF'in bir uzantısı olan Parallel-NetCDF, Argonne Laboratuvarlarında ve Northwestern Üniversitesinde geliştirilmiştir. Bu, MPI-IO üzerinde yapılmış, MPI iletişimine I/O uzantısı ve yüksek seviye NetCDF veri yapılarını kullanır. PnetCDF kütüphaneleri çoklu işlemciler arasında dosya okuma-yazma uygulamalarının verimli dağıtımını en iyi şekilde yapabilirler.

Ortak veri modeli, herbiri diğerinin üzerinde yapılan ve ardarda eklenen oldukça zengin anlamlar içeren 3 katmandan oluşur.

- Veri erişim katmanı, sözdizim katmanı da denir. Veri okumayı ele alır.
- Koordinat sistemi katmanı, veri dizilerinin koordinatlarını belirler. Koordinatlar, bilimsel veriler için tamamen genel bir içeriktir; georeferencing (fiziksel uzayda varoluş) koordinat sisteminin uzmanlığı ve yer bilimi topluluğundaki önemi özellikle açıklanır.
- Bilimsel veri tipi katmanı, gridler, resimler, nokta verileri ve verinin herbiri için özel yöntemlerin eklendiği verinin bilinen tipini belirler.

Veri erişim katmanının veri modeli (Özet modeli tanımlanan verinin erişimi ve gösterimidir.), esasen NetCDF4 veri modeli ile aynı ve NetCDF3 veri modelinin geliştirilmiş halidir.

Koordinat sistem katmanı, CF Metada Conventions (İklim ve tahmin metadata kuralları) kavramlarını genişletir ve tamamlar.

Bilimsel veri tipi katmanı, uzay koordinatında Open Geospatial Consortium (Bir Uluslararası gönüllü uzlaşma standartları organizasyonudur.) veri manipülasyonuna izin verir. Koordinat sisteminin ve veri tiplerinin tanımlanması devam etmekte fakat kullanıcılar özel işlemler için kendi sınıflarında çalışan plug-in'leri kullanabilirler [126].

BÖLÜM 4

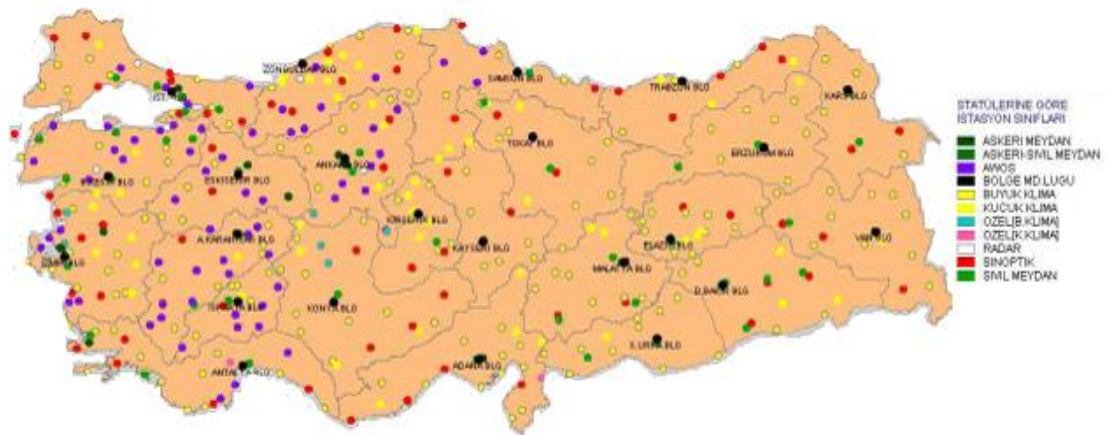
VERİ VE YÖNTEM

4.1. VERİ

4.1.1. Gözlem Verileri

Bölgesel iklim modeli RegCM'in üretmiş olduğu verilerin doğrulanabilmesi için Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne ait meteorolojik gözlem istasyonlarının verileri kullanılmıştır. Şekil 4.1'de Türkiye üzerinde bulunan meteorolojik gözlem istasyonlarının dağılımı gösterilmektedir. Bu istasyonlar arasından Çizelge 4.1'de gösterilen istasyonlara ait veriler kullanılmıştır.

Çalışmada kullanılmak üzere aylık ortalama, maksimum ve minimum sıcaklık (°C), aylık yağış miktarı (mm) değerleri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden metin formatında XLS ve CSV dosya uzantılı olarak alınmıştır. Bu dosyalar istasyon numarası, yıl, ay, gün gibi temel bilgilerin yanı sıra hava sıcaklığı, yağış, rüzgâr hızı gibi meteorolojik verileri içermektedir.



İstasyonlara ait bilgiler (istasyon adı, adresi, enlem ve boylam değerleri) ayrı bir dosya olarak elde edilmiştir.

Çizelge 4.1. Çalışmada kullanılan gözlem istasyonlarına ait bilgiler.

İstasyon No	İstasyon Adı	Enlem (°)	Boylam (°)	Yükseklik (m)
17038	Trabzon Mey. Met. işt. Md.lüğü	40,5954	39454	38,83
17060	Atatürk Hav. Lim. Mey. Met. işt. Md.lüğü	40,58	28,49	32,913
17082	Merzifon Mey. Met. işt. Md.lüğü	40,51	35,35	534,77
17090	Sivas Met. işt. Md.lüğü	39,45	37,01	1285
17096	Erzurum Mey. Met. işt. Md.lüğü	39,57	41,1	1758,18
17112	Çanakkale Met. işt. Md.lüğü	40,0828	26,2359	576
17115	Bandırma Mey. Met. işt. Md.lüğü	40,19	27,58	42
17124	Eskişehir Mey. Met. işt. Md.lüğü	39,47	30,35	785,8
17428	Esenboğa Mey. Met. işt. Md.lüğü	40,07	33	951,55
17170	Van Ferit Melen Mey. Met. işt. Md.lüğü	38,27	43,19	1665,34
17195	Erkilet Mey. Met. işt. Md.lüğü	38,49	35,26	1053,58
17200	Erhaç Mey. Met. işt. Md.lüğü	38,26	38,05	848,56
17202	Elazığ Mey. Met. işt. Md.lüğü	38,36	39,17	881,431
17219	Adnan Menderes Mey. Met. işt. Md.lüğü	38,16	27,09	120,03
17244	Konya Mey. Met. işt. Md.lüğü	37,58	32,33	1030,61
17260	Gaziantep Mey. Met. işt. Md.lüğü	37,05	37,22	700,84
17280	Diyarbakır Mey. Met. işt. Md.lüğü	37,54	40,12	674,007
17300	Antalya Mey. Met. işt. Md.lüğü	36,5454	30,4806	50,17

Daha sonra bu veriler geliştirilen uzman sistem üzerinde işlenerek doğrulama yapmak için elverişli hale getirilmiş ve veri tabanına kaydedilmiştir.

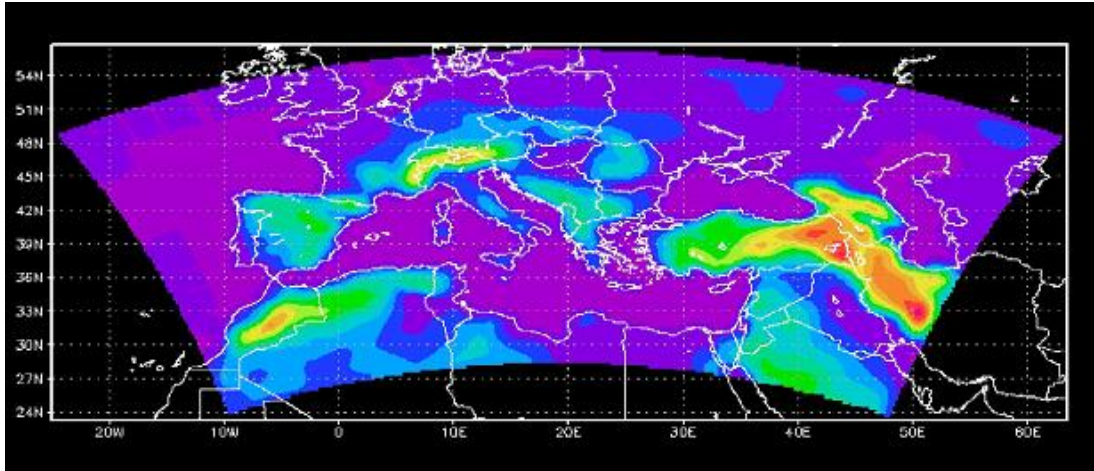
4.1.2. Modelin Çalıştırılması Sonucunda Oluşan Tahmin Verileri

Bu tez çalışmasında RegCM Bölgesel İklim Modeli tarafından ürettiğimiz tahmin verileri, kullanılmıştır.

RegCM modelinin çalıştırılması için öncelikle modelin kullandığı verilerin hazırlanmıştır. Bu veriler çok çeşitli koşullar için farklı kurumlar tarafından oluşturulan veri setlerinden alınmaktadır. Örneğin, başlangıç ve sınır koşullarını (Initial and Boundary Conditions-ICBC) içeren Avrupa Orta Vadeli Hava Tahmin

Merkezi (ECMWF) tarafından hazırlanan veri seti olan ERA40, Amerikan Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi (NCAR) ile Amerikan Ulusal Çevre Projeksiyon Merkezi (NCEP) tarafından hazırlanan veri setleri NRP1 ve NNRP2 (Reanalysis Product, V.1,2) gibi yer, uydu, radar, ravisonde gözlemlerinin asimile edilmesiyle elde edilen veri setleri ile HadCM, ECHAM, ECHAOM, FvGCM gibi küresel iklim modellerinin Referans ve Senaryo veri setleri bu amaçla kullanılabilen veri setleridir. Ayrıca modellerde Amerikan Jeolojik Araştırmalar Kurumu'nun (US Geological Survey-USGS) çeşitli çözünürlüklerde (60, 30, 15, 10, 5, 2 dakikalık) topoğrafya ve arazi kullanım verileri kullanılmaktadır [85].

Bu çalışmada kullanılan RegCM modeli yukarıda belirtilen ERA40 ve ERA-İnterim veri setleri kullanılarak çalıştırılmıştır. Çalışılan alan için model grid aralığı 50 km olan 62x120'lik bir matristir. Çalışmalar, merkez koordinatları enlem 42.00 derece, boylam 19.00 derece olup 01 Ocak 1989 ile 31 Aralık 2007 tarihleri arasında yapılmıştır. Model topoğrafyası Şekil 4.2'de gösterilmiştir.



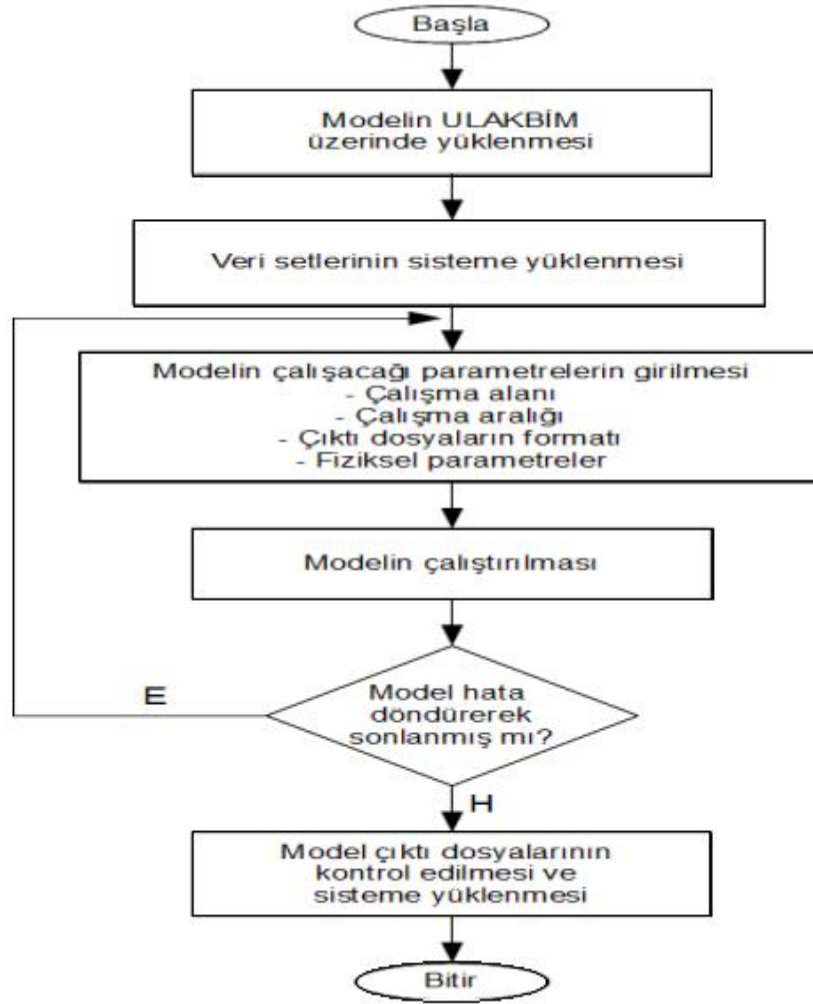
Şekil 4.2. RegCM çalışma alanının model topoğrafyası.

Çalışmada RegCM çıktı dosyalarından yüzey alanı çıktı dosyası içinde yer alan değişkenler kullanılmıştır. Bu dosyalar ikilik dosyalar olup her dosyaya ait açıklama dosyası bulunmaktadır. Açıklama dosyasında genel olarak şu bilgiler yer alır:

- İkilik dosyanın adı,

- Tanımsız ya da eksik veri değerleri,
- Grid koordinatlar ile dünya koordinatları arasındaki eşleşme,
- İkili veri setinde bulunan değişkenlerin açıklaması.

RegCM Bölgesel İklim Modeli'nin çalıştırılıp çıktı dosyalarının elde edildiği süreç Şekil 4.3'de akış diyagramları yardımıyla gösterilmiştir.



Şekil 4.3. Oluşturulan sistemde RegCM modelinin akış şeması [127].

RegCM modeli çıktı dosyalarını görüntülemek ve doğrulaması yapılacak değişkenleri elde edebilmek için yardımcı programlar kullanılmıştır. Bu çalışmada analiz edilecek verileri okuyup düzenli bir şekilde sisteme aktarmak için açık kaynak kodlu NetCDF uygulamasından yararlanılmıştır.

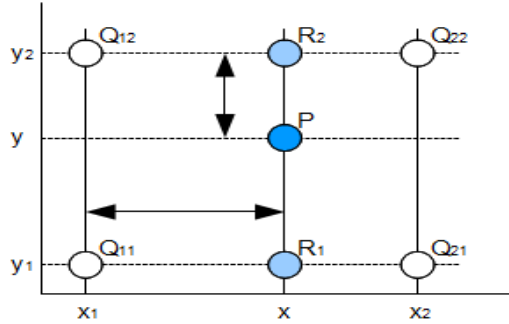
4.2. YÖNTEM

4.2.1. İnterpolasyon Yöntemleri

İnterpolasyon, referans noktalarındaki ölçme değerlerinden, ölçülmeyen noktalardaki ölçü büyüklüklerinin kestirimidir [85]. İnterpolasyon genelde mühendislik ve ölçümlere dayalı alanlarda, toplanan verilerin bir fonksiyon eğrisine uydurulması amacıyla kullanılmaktadır. Elde bulunan verilerin dağınık ve bilhassa farklı özelliklerde olduğu durumlarda interpolasyon kullanılarak boş alanlardaki değerlerin bulunması önem kazanmaktadır.

RegCM iklim modeli çıktı dosyalarından istenilen verileri süzebilmek için enlem ve boylam değerleri kullanılarak ilgili parametrelere karşılık gelen grid noktasındaki değerler elde edilmek istenir. Fakat her zaman ilgili noktaya karşılık gelen bir değer olmayabilir. Bu noktada interpolasyon işlemi devreye girer. Çalışmada, interpolasyon işlemi iki farklı yöntem ile (en yakın komşu interpolasyon yöntemi ve çift doğrusal interpolasyon yöntemi) gerçekleştirilmiştir.

4.2.1.1. Çift Doğrusal (Bilineer) İnterpolasyon



Şekil 4.4. Çift doğrusal interpolasyon yöntemi ile bir noktanın kestirimi.

Çift doğrusal interpolasyon yöntemi; ölçülmek istenen değere yakın dört nokta üzerindeki değerlerin mesafe ağırlıklı ortalaması kullanılarak, o noktadaki değeri tahmin etmek için kullanan bir yöntemdir.

$P=(x, y)$ noktasında bilinmeyen f fonksiyonu değerini bulmak istediğimizi varsayalım. Burada f değerinin dört grid noktasında bulunduğu varsayılır. Bunlar

$$Q_{11}=(x_1, y_1), Q_{12}=(x_1, y_2), Q_{21}=(x_2, y_1) \text{ ve } Q_{22}=(x_2, y_2).$$

P : İstenen nokta.

Q : Değeri bilinen noktalar (dört grid noktasının değeri).

R : Değeri bilinen noktalar kullanılarak elde edilen yeni noktalar.

İlk olarak x yönünde doğrusal interpolasyon uygulanır. Bu durum aşağıdaki formüllerle ifade edilir:

$$f(R_1) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21}) \text{ ve } R_1=(x, y_1) \quad (4.1)$$

$$f(R_2) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22}) \text{ ve } R_2=(x, y_2) \quad (4.2)$$

Daha sonra elde edilen noktalar üzerindeki değerler kullanılarak aynı şekilde y yönünde doğrusal interpolasyon işlemi gerçekleştirilir.

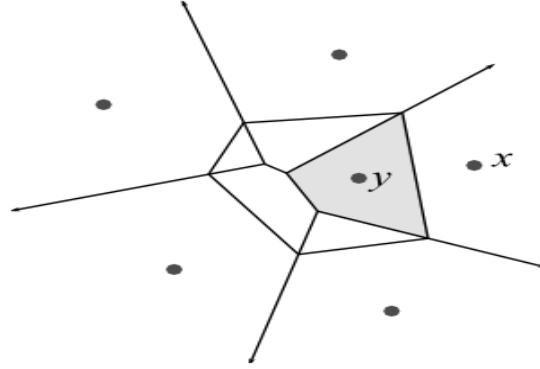
$$f(P) \approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(R_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(R_2) \quad (4.3)$$

Bu da bize $f(x, y)$ 'nin istenilen tahmin değerini verir.

$$\begin{aligned} f(x, y) \approx & \frac{f(Q_{11})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} (x_2 - x)(y_2 - y) + \frac{f(Q_{21})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} (x - x_1)(y_2 - y) \\ & + \frac{f(Q_{12})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} (x_2 - x)(y - y_1) + \frac{f(Q_{22})}{(x_2 - x_1)(y_2 - y_1)} (x - x_1)(y - y_1) \end{aligned} \quad (4.4)$$

4.2.1.2. En Yakın Komşu Yöntemiyle İnterpolasyon

En yakın komşu interpolasyon yöntemi her durumda en yakın noktadaki değeri almak için kullanılan bir yöntemdir. En yakın komşu algoritması, en yakın noktadaki değeri seçer ve diğer yakın noktalardaki değerleri dikkate almaz. Şekil 4.5'de y noktasına en yakın komşu interpolasyon yöntemi uygulanarak interpolasyon işlemi yapılmış ve en yakın noktanın x noktası olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 4.5. En yakın komşu interpolasyon yönteminde bir noktanın kestirimi.

4.2.2. Doğrulama (Verifikasyon) Yöntemleri

Doğrulama, yapılan tahminlerin gözlemlerle kıyaslanmak suretiyle doğruluk oranlarının tespitidir. Model sonuçlarının bölgeyi temsil edebilirliği diğer bir deyişle model verilerinin doğruluğunu tespit etmek için yapılır. Hava tahminlerinin doğrulanması alanında öncü isimlerden biri olan Allan Murphy, 1993 yılında ele aldığı makalesinde iyi bir doğrulama işlemi için üç önemli nitelikten bahsetmiştir. Bunlar [128].

- Tutarlılık: Hava tahmini yapacak kişinin temel bilgisine dayalı, durum hakkında en iyi kararı almasını sağlayacak ve buna karşılık gelen tahminde bulunma derecesi,
- Kalite: Yapılan tahminin gerçekte var olan değere karşılık gelme derecesi,
- Değer: Tahminin ekonomik ya da herhangi alanda yarar getirmesine imkân tanıyan kararlar verme konusunda yardımcı olma derecesidir.

Doğrulama yöntemleri, objektif ve subjektif doğrulama yöntemleri olarak iki kategoride ele alınabilir.

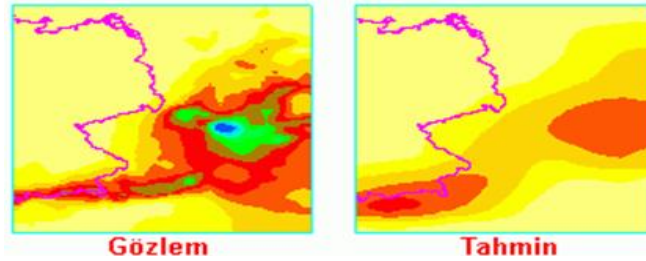
4.2.2.1. Objektif Doğrulama

Tespit edilen herhangi bir parametre için, yapılan tahminlerle gözlem değerleri kıyaslanarak doğrulama değerlerinin rakamsal olarak ifade edilmesidir. Burada haritadaki tüm noktaların fark değerleri bulunabilir. Ancak belirli bir düzlemdeki fark değerleri tek başlarına çok fazla bir anlam ifade etmeyebilir. Bunun için objektif doğrulama hesaplamalarında, sabit bir noktada aynı parametre için fark değerlerinin zamanla nasıl bir eğilim ile devam ettiğini görmek, o nokta için yapılan tahminlerin doğruluğunun tespitinde daha büyük bir rol oynar. Bunun için de objektif doğrulamalarda genel bir alandan ziyade bir noktada doğrulamaların zamanla değişimleri göz önüne alınır [88].

Objektif doğrulamada ortalama hata (ME), ortalama mutlak hata (MAE) gibi hata oranlarını tespit etmek için gereken hesaplamalar yapılır. Bu sayede yapılan tahminler rakamsal değerler olarak ele alınır ve istatistiksel değerlendirmeler yapılabilir.

4.2.2.1. Subjektif Doğrulama

Yapılan tahminlerle elde edilen değerleri rakamsal olarak ele almaksızın sadece grafiksel olarak kıyaslama yapmaya Subjektif Doğrulama adı verilir.



Şekil 4.6. Gözlem-tahmin fark haritası.

Bu tür doğrulamalar genelde gözlem-tahmin fark haritaları (Şekil 4.6'daki gibi) oluşturularak ve doğrulama neticesinde ortaya çıkan istatistiksel değerlerin grafiksel olarak gösterilmesiyle yapılır. Bu yöntem, sadece birkaç tahminde bulunup istatistiksel değerlerin rakamsal ifadelerde ilgilenilmediğinde tercih edilmektedir.

4.2.3. İklimsel Verilerin Analizinde Kullanılan Yöntemler

Model sonuçlarının doğrulamasının yapılması için sonuç değerleri gözlem değerleriyle karşılaştırılmıştır. Objektif bir doğrulamada, model değerlerinin gözlem değerlerinden farkını tespit etmek için bazı hesaplamalar yapılmıştır. Sıcaklık verilerinin analizi yapılırken Ortalama Hata (ME), Ortalama Mutlak Hata (MAE) ve Hata Miktarı Karelerinin Ortalamasının Kök Değeri (RMSE) değerlerine bakılmıştır. Yağış verilerinin doğrulanması ise 2x2'lik ihtimal tablosu oluşturularak, tabloya bağlı olarak elde edilen istatistiksel değerlerle gerçekleştirilmiştir. Ayrıca toplam yağış miktarının doğrulanması için sapma değerleri hesaplanmıştır.

4.2.3.1. Ortalama Hata (ME)

Ortalama hata, verilen iklim değişkenlerinin yerel davranışları hakkında oldukça yararlı bilgiler veren ve yaygın olarak kullanılan hesaplaması kolay bir değerdir. Ortalama hata negatif sonsuz ile pozitif sonsuz aralığındadır ve değerinin sıfır olması model tahmininin % 100 doğru olduğunu, diğer bir ifadeyle gözlem ve tahmin değerleri arasında mükemmel bir uyum olduğunu gösterir. Ancak sıfır değerine ulaşmak, elde edilen pozitif hata değerlerinin negatif karşılıkları varsa mümkün olmaktadır. Bu yüzden ME tahmin hatalarının büyüklüğü hakkında bilgi sağlamaz ve bu nedenle de bir doğruluk ölçüsü olarak kabul edilmez.

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i) \quad (4.5)$$

ME = Ortalama Hata.

N = Gözlem sayısı.

Fi = Model değeri.

Oi = Gözlem değeri.

4.2.3.2. Ortalama Mutlak Hata (MAE)

Ortalama mutlak hata sıfırdan sonsuza kadar giden aralık içindedir ve en iyi değeri ortalama hatada da olduğu gibi sıfırdır. MAE verilen bir veri seti içinde tahmin hatalarının ortalama büyüklüğünü ölçer. Bu da tahmini doğruluk için sayısal bir ölçüyü ifade eder. MAE ile eş zamanlı olarak ME değerinin de görüntülenmesi tavsiye edilir. MAE küçük veya sınırlı veri setlerinde tercih edilmektedir.

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |F_i - O_i| \quad (4.6)$$

MAE = Ortalama Mutlak Hata.

4.2.3.3. Hata Miktarı Karelerinin Ortalamasının Kök Değeri (RMSE)

Doğrulama çalışmalarında yaygın olarak kullanılan diğer bir ölçüm metodu Hata Miktarı Karelerinin Ortalamasının Kök Değeri (RMSE). RMSE hata karelerini dikkate alması nedeniyle büyük kestirim hatalarına karşı ortalama hataya göre daha duyarlıdır. RMSE interpolasyon, değişebilirlik ve anormallik gibi durumlara karşı duyarlıdır.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2} \quad (4.7)$$

RMSE = Hata Miktarı Karelerinin Ortalamasının Kök Değeri.

4.2.3.4. İhtimal Tablosu ve Buna Bağlı Elde Edilen Değerler

İhtimal dâhilinde gerçekleşecek ya da gerçekleşmeyecek durumlarda ikili tahminler yapılır. Bu tip tahminler, olumsuz hava koşulları (yağmur, kar, fırtına, donma ve sis) hakkında uyarılarda bulunmak için gerçekleştirilir. Değerlendirmenin ilk adımı olarak ihtimal tablosu (Çizelge 4.1'deki gibi) oluşturulur. İkili tahmin doğrulamasının

ilk adımı, gözlem ve tahmin durumlarına ait evet/hayır sıklık değerlerinin bulunduğu 2x2'lik ihtimal tablosunu oluşturmaktır.

Çizelge 4.2. İhtimal tablosu.

Tahmin Durumları	Gözlem Durumları		
	Evet	Hayır	Ara Toplam
Evet	İsabet (a)	Yanlış Uyarı (b)	Evet Toplamı (a+b)
Hayır	İskalama (c)	İsabetli Ret (d)	Hayır Toplamı (c+d)
Ara Toplam	Evet Toplamı (a+c)	Hayır Toplamı (b+d)	Toplam (a+b+c+d = n)

Eğer doğru bir tahmin yapılmışsa iki durum vardır, bunlar "isabetli" tahmin ya da "isabetli ret" durumlarıdır. Yanlış bir tahmin söz konusu ise durumlar "yanlış uyarı" ya da "iskalama" şeklinde belirtilmiştir. Tabloda gözlem ve tahmin değerlerinin kendi içerisinde "evet" ve "hayır" durumlarının toplamı ara toplam kısmında belirtilmiştir. Tüm durumların toplamı ise en alt sağ sütundaki değere eşittir.

İhtimal tablosu, 2x2'lik basit yapısına rağmen, görünüşten çok daha karmaşık sonuçlar verebilmektedir. Bu tablo ile elde edilebilecek birçok ölçüm değeri vardır. Doğrulama işleminin gerçekleştirilmesi için birden çok değer ölçülür, sadece bir ölçüm değerini hesaplamak hiçbir zaman tek başına yeterli olmaz, isabetli bir doğrulama işlemi gerçekleştirmez. İhtimal tablosundan elde edilen ölçüm değerleri şunlardır:

Bias

Eşik (Bias-B) ikili tahminlerin arasındaki farkı temsil eder. Tahminler ile gözlemlerin gerçekleşeceğini belirttiği (evet) durumları karşılaştırmak ve oransal olarak temsil etmek için kullanılır. Sıfırdan sonsuza kadar giden aralıkta değer alır ve tarafsız skoru "1"dir. $B > 1$ (< 1) durumlarında aşırı tahmin ya da alt tahmin durumları söz konusudur ve B bir doğruluk ölçüsü değildir.

$$B = (a + b) / (a + c) \quad (4.8)$$

Doğruluk Oranı

En basit ve sezgisel performans ölçümü, kategorik tahmin sisteminin doğruluğu hakkında bilgi veren Doğruluk Oranıdır (Proportion Correct - PC). Sıfır ile bir arasında değer alır ve hedef skoru "1"dir.

$$PC = (a + d) / n \quad (4.9)$$

Algılama İhtimali

Gözlemlerin doğru tahmin değerleri ile oranı ölçülerek gerçekleştirilir. Sıfır ile bir aralığında bir değer alır ve hedef skoru "1"dir. İsabet oranı (Hit Rate-H) olarak da adlandırılır. POD değeri hesaplanırken ihtimal tablosundaki "isabetli" değeri maksimize edilirken, "yanlış uyarı" değeri minimize edilir. Bunun için POD değerinin yanlış uyarı oranı (False Alarm Ratio - FAR) ile birlikte değerlendirmesi önerilir.

$$POD = a / (a + c) \quad (4.10)$$

Yanlış Uyarı Oranı

Yanlış Uyarı Oranı FAR(False Alarm Ratio) sıfır ile bir aralığında değer alır ve hedef skoru "0"dir. FAR yanlış uyarıları dikkate alır ve ıskalanmış durumları dikkate almaz. FAR oranının artması veya azalması POD oranını etkileyeceğinden dolayı ikisi birlikte incelenmelidir.

$$FAR = b / (a + b) \quad (4.11)$$

Yanlış Algılama Olasılığı

FAR gibi sıfır ile bir aralığındadır ve hedef skoru "0"dir.

Negatif eğilimli ölçüm değeridir, F ile gösterilir. Yanlış Algılama Olasılığı (POFD-Probability Of False Detection, POFD) şöyle hesaplanmaktadır:

$$F = b / (b + d) \quad (4.12)$$

Hanssen-Kuipers Beceri Puanı

Bir doğrulama sistemi POD ve F değerlerini hesaplıyorsa, Hanssen-Kuipers Beceri Puanı (Hanssen-Kuipers Skill Score-KSS) değerini de hesaplayabilir. KSS değeri eksi bir ile artı bir aralığındadır ve hedef skoru "1"dir. KSS, hayır durumlarından (F) evet durumlarını (POD) ayırarak doğrulama sisteminin yeteneğini ölçer.

$$KSS = POD - F \quad (4.13)$$

Tehdit Puanı

Tehdit Puanı (Threat Score-TS) seyrek gerçekleşen olaylar için sıkça kullanılan bir ölçümdür. Sıfır ile bir aralığında bir değer alır ve hedef skoru "1"dir. Sıfır değeri geçersiz bir tahmin olduğunu gösterir ve dikkate alınmaz. TS ihtimal tablosundaki "isabetli" değerleri dikkate alır, "yanlış uyarılar" ile "tutturamamaları" da hesaba katar.

$$TS = a / (a + b + c) \quad (4.14)$$

Eşitlikçi Tehdit Puanı

İsabetli tahminlerin bazıları rastgele olduğu için, TS değeri seyrek gerçekleşen olaylarda değerlendirme açısından zayıf skorlar üretebilir. Bu durumun üstesinden gelebilmek için isabetli durumlar ile rastgele durumların ilişkisini ayarlayan Eşitlikçi (Adil) Tehdit Puanı (Equitable Threat Score -ETS, Gilbert's Skill Score-GSS) kullanılır. ETS değeri -1/3 ile bir aralığındadır ve hedef skoru "1"dir.

$$ETS = (a - ar) / (a + b + c - ar) \quad (4.15)$$

Burada ar değeri aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$ar = (a + b)(a + c) / n \quad (4.16)$$

Heidke Beceri Puanı

2x2'lik ihtimal tablosunu özetlemek için kullanılan yaygın ölçümlerden biri Heidke Beceri Puanı(Heidke Skill Score-HSS)'dir. Rastgele biçimde gerçekleşme ihtimali olan doğru tahminleri elemek için Doğruluk Oranı(PC) ölçüsünü referans alır. Eksi sonsuzdan bire kadar değer alabilir ve hedef skoru "1"dir.

$$HSS = 2(ad - bc) / \{ (a + c)(c + d) + (a + b)(b + d) \} \quad (4.17)$$

Eşitsizlik Oranı

Eşitsizlik Oranı(Odds Ratio-OR) "isabetli" değerleri "yanlış uyarı" değerleriyle karşılaştırıp ele alarak tahmin sisteminin olasılığını ölçer. Bunun için de POD ve F değerlerinden yararlanır. Sıfırdan sonsuza kadar değer alır ve hedef skor sonsuzla bağlantılıdır. Değerin 1 olduğu durum dikkate alınmaz.

$$OR = ad / bc \quad (4.18)$$

Eşitsizlik Oranı Beceri Puanı

Eşitsizlik Oranı, ihtimal tablosu üzerindeki ara toplamlarla ilişkili olmadığından gözlem değerleri ile tahmin değerleri arasındaki olası farklardan bağımsızdır. Bu durumda -1 ile +1 arasında değişen bir beceri puanından (Odds Ratio Skill Score-ORSS) söz edilebilir. şu şekilde hesaplanır:

$$ORSS = (ad - bc) / (ad + bc) \quad (4.19)$$

Hava olayının olup olmaması ihtimalinin yanı sıra toplam hava olayının miktarının doğrulaması da yapılmaktadır. Bu doğrulama çeşidinde öncelikle gözlem ve model

değerleri için değer aralıkları belirlenir. Bu değer aralıkları genelde 3 ila 6 arasındadır. Bu aralıklar belirlendikten sonra gözlem ve model değerleri karşılık geldikleri aralıklara yerleştirilirler. Bu aralıklara ait değerler kullanılarak çeşitli istatistiksel değerler (sapma değerleri vb.) hesaplanır.

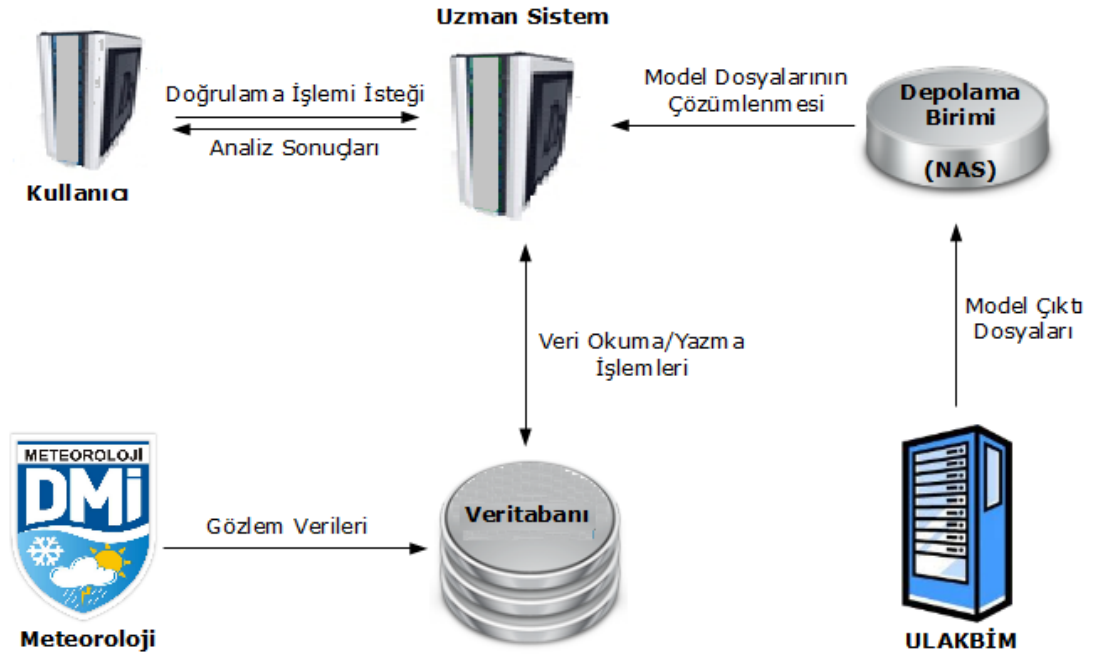
BÖLÜM 5

SİSTEMİN OLUŞTURULMASI VE UYGULAMA

Bu çalışmada, RegCM Bölgesel İklim Modeli verileri interpolasyon yöntemleri kullanılarak işlenmiş, çeşitli doğrulama yöntemleri kullanılarak gözlem verileriyle karşılaştırmasına imkân veren bir sistem geliştirilmiştir.

Çalışmanın amacı, meteoroloji bilimiyle uğraşanlar, iklim bilimciler ve iklim modeli ile ilgilenen uzman kişilerin sistem üzerinde sağlanan doğrulama yöntemlerini kullanarak, doğrulama işlemini kolayca yapmasını sağlamak, iklim modelinden elde edilen sonuçların güvenilirliği test etmek ve model hakkında kolayca yorum yapabilmeyi sağlamaktadır.

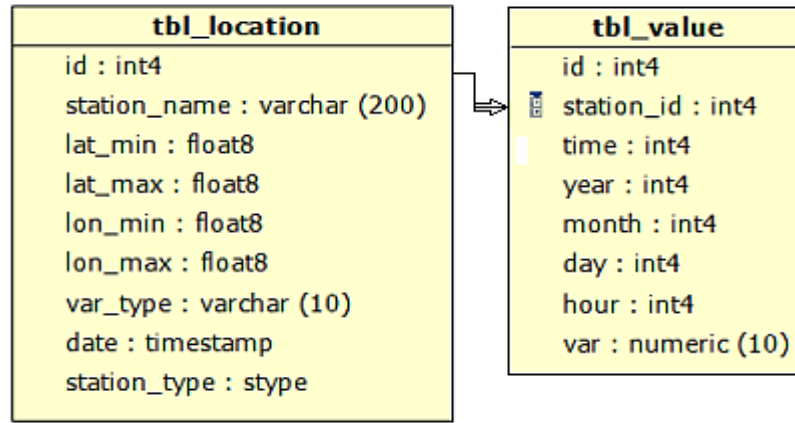
5.1. SİSTEMİN MİMARİSİ



Şekil 5.1. Geliştirilen sistemin mimarisi.

Geliştirilen sistem RegCM de oluşturulan NetCDF formatına uygun tahmin verileri ile gözlem verilerinin karşılaştırılmasını sağlamaktadır. C programlama dili kullanılmıştır.

İstasyon bilgileri, model çıktı dosyalarından elde edilen parametre değerleri ile gözlem verilerine ait değerler veri tabanında tutulmaktadır.



Şekil 5.2. Veri tabanında tutulan İstasyon bilgileri, model çıktı dosyalarından elde edilen parametre değerleri ile gözlem verilerine ait değerler.

5.2. VERİLERİN SİSTEME AKTARILMASI

5.2.1. Gözlem Verilerinin Sisteme Aktarılması

Gözlem verilerinin uzman sisteme aktarılması geliştirilen web uygulaması aracılığıyla gerçekleştirilmiştir. Gözlem verileri Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'nden metin formatında alınan dosyalar içerisinde süzülerek veritabanına kaydedilmiştir. Böylece gözlem verileri, doğrulama işlemini gerçekleştirmek ve gerekli analizleri yapabilmek için hazır hale getirilmiştir.

5.2.2. Model (Tahmin) Verilerinin Sisteme Aktarılması

RegCM Bölgesel İklim Modeli verilerinin sisteme aktarılması işlemi geliştirilen web tabanlı sistem ile sağlanmıştır. RegCM çıktı dosyaları üzerindeki değişkenlerin ve parametrelerin belirtilerek doğrulamaya hazır ve uygun biçime getirilme işlemi

NetCDF dosyalama sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. NetCDF programı açık kaynak kodlu bir yazılımdır.

Model verilerinin sisteme aktarılması için, model çıktı dosyalarının hangilerinin üzerinde işlem yapılacağını seçme ilk adımdır. Her dosya bir aylık veri içermektedir. Kullanıcı istediği zaman aralığındaki dosyaları seçerek ikinci adıma geçer. İkinci adımda ise dosyaların özellikleri bulunmaktadır. Kullanıcı bu aşamada dosya içerisinde yer alan meteorolojik değişkenleri (sıcaklık, yağış, rüzgâr hızı vb.) süzmek için gerekli parametreleri seçer. Bunlar:

- Konumun enlem derecesi,
- Konumun boylam derecesi,
- İstenen değişkenin(meteorolojik veri) tipi,
- İnterpolasyon yöntemidir.

Kullanıcı talep ettiği parametreleri belirtip diğer aşamaya geçtiğinde istenen değerler metin kutusu içerisinde Çizelge 5.1'deki gibi görüntülenir.

Çizelge 5.1. Model dosyalarından elde edilen veriler.

lat_min	lat_max	lon_min	lon_max	zaman	yıl	ay	gün	saat	tpr
39,9727	39,9727	32,8637	32,8637	1	1996	1	1	3	0,2
39,9727	39,9727	32,8637	32,8637	2	1996	1	1	6	0,9
39,9727	39,9727	32,8637	32,8637	3	1996	1	1	9	0,9
39,9727	39,9727	32,8637	32,8637	4	1996	1	1	12	0,7
39,9727	39,9727	32,8637	32,8637	5	1996	1	1	15	0,8
39,9727	39,9727	32,8637	32,8637	6	1996	1	1	18	2,5
39,9727	39,9727	32,8637	32,8637	7	1996	1	1	21	0,8
39,9727	39,9727	32,8637	32,8637	8	1996	1	2	0	3,4
39,9727	39,9727	32,8637	32,8637	9	1996	1	2	3	2,2
39,9727	39,9727	32,8637	32,8637	10	1996	1	2	6	6,6

Son aşamada ise metin dosyasında bulunan veriler veritabanına kaydedilir ve işlem sonunda veri tablosunda Şekil 5.3'de görüldüğü gibi gösterilir.

İstasyon: 17219-İzmir Adnan Menderes Airport-NN (38.16 / 27.09) --- Değişken: tpr (0 99 total precipitation (mm/day))								
	İstasyon	Enlem	Boylam	Yıl	Ay	Gün	Saat	tpr
1	17219-İzmir Adnan Menderes Airport-NN	38.16	27.09	1989	1	1	0	0.0
2	17219-İzmir Adnan Menderes Airport-NN	38.16	27.09	1989	1	1	3	0.0
3	17219-İzmir Adnan Menderes Airport-NN	38.16	27.09	1989	1	1	6	0.0
4	17219-İzmir Adnan Menderes Airport-NN	38.16	27.09	1989	1	1	9	0.0
5	17219-İzmir Adnan Menderes Airport-NN	38.16	27.09	1989	1	1	12	0.0
6	17219-İzmir Adnan Menderes Airport-NN	38.16	27.09	1989	1	1	15	0.0
7	17219-İzmir Adnan Menderes Airport-NN	38.16	27.09	1989	1	1	18	0.0
8	17219-İzmir Adnan Menderes Airport-NN	38.16	27.09	1989	1	1	21	0.0
9	17219-İzmir Adnan Menderes Airport-NN	38.16	27.09	1989	1	2	0	0.0
10	17219-İzmir Adnan Menderes Airport-NN	38.16	27.09	1989	1	2	3	0.0
11	17219-İzmir Adnan Menderes Airport-NN	38.16	27.09	1989	1	2	6	0.0

Şekil 5.3. Model dosyalarının veri tablosu(datagrid) üzerinde gösterilmesi.

5.3. SİSTEMİN UYGULANMASI

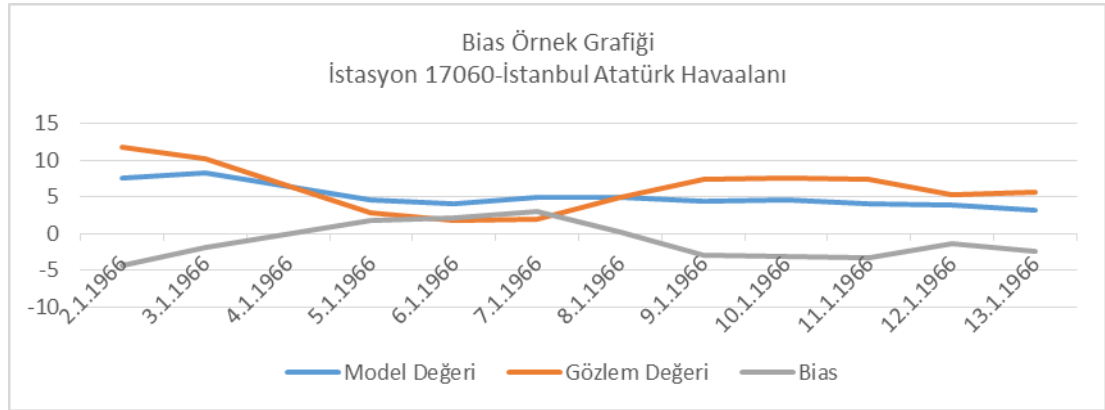
Sistemin uygulanması değişken türüne bağlı olarak iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Bunlar; hava sıcaklıkları, zemin sıcaklıkları, basınç vb. veriler için gerçekleştirilen doğrulama yöntemleri ile yağış, sis vb. veriler üzerinde gerçekleştirilen doğrulama yöntemleridir.

Sıcaklık verileri üzerinde gerçekleştirilecek doğrulama işlemi için sistem üzerinden gözlem ve model istasyon verileri seçilir. Gözlem istasyonlarında bulunan veriler, Devlet Meteoroloji Müdürlüğü'nden sağlanan ve sisteme aktarılan verileri içermektedir. Model istasyon verileri ise RegCM Bölgesel İklim Modeli çıktı dosyalarından NetCDF programı yardımıyla interpolasyon yöntemleri kullanılarak elde edilen verilerdir. Sıcaklık verilerini doğrulamak için gerekli olan diğer parametre ise saat seçimidir. Devlet Meteoroloji Müdürlüğü'nden elde edilen verilerde bulunan saatler gün içerisinde ölçüm yapılan saatleri gösterir ve bunlar 00, 06, 12 ve 18 olmak üzere dört saat dilimini ifade eder. Şekil 5.4'te İstanbul Atatürk Hava Alanı'na ait 1996 yılı hava sıcaklığı değerlerinin yer aldığı veri tablosu görüntülenmektedir. Tabloda gözlem değerleri ile model değerleri ve ikisieralarındaki fark değerleri gösterilmiş, interpolasyon yöntemi olarak da çift doğrusal interpolasyon yöntemi kullanılmıştır.

İstasyon: 17060-Istanbul Ataturk Airport ### Enlem / Boylam: 40.58 / 28.49 ### Değişken: t2m ### Saat: 0						
	Yıl	Ay	Gün	Model_Değeri	Gözlem_Değeri	BIAS
1	1996	1	2	7.5	11.8	-4.3
2	1996	1	3	8.3	10.2	-1.9
3	1996	1	5	4.6	2.8	1.8
4	1996	1	6	4.0	1.8	2.2
5	1996	1	7	5.0	2.0	3.0
6	1996	1	8	5.0	4.9	0.1
7	1996	1	9	4.4	7.4	-3.0
8	1996	1	10	4.5	7.6	-3.1
9	1996	1	11	4.1	7.4	-3.3
10	1996	1	12	3.8	5.2	-1.4
11	1996	1	13	3.1	5.6	-2.5

Şekil 5.4. Atatürk Hava Alanı'na ait 1996 yılı sıcaklık değerleri.

Subjektif doğrulama için sıcaklık değerlerinin 12 günlük örnek BIAS çizgi grafiği şekil 5.5'te gösterilmiştir.



Şekil 5.5. Atatürk Hava Alanı için 12 günlük BIAS çizgi grafiği.

Uygulamada, sıcaklık verilerinin doğrulanması için sinoptik (synoptic) rasatların düzenli yapıldığı 18 meydan (airport) istasyonu seçilmiştir. Sistemin testi için 1996 yılı 00 GMT (Greenwich Mean Time) rasatları (365 adet gözlem değeri) model öngörülerıyla (model prediction) karşılaştırılarak farklı iki interpolasyon tekniği kullanılan 3 ayrı istatistiki değerlendirmeyle analiz edilmiştir. Sonuçlar Çizelge 5.2'de gösterilmiştir [129].

Çizelge 5.2'de; L_ME, L_MAE ve L_RMSE çift doğrusal interpolasyon yöntemi ile elde edilen sonuçları, N_ME, N_MAE ve N_RMSE ise en yakın komşu

interpolasyon yöntemi ile elde edilen sonuçları göstermektedir. M(maritime) istasyonun deniz kıyısında olduğunu, C (continental) istasyonun deniz kıyısında olmadığı belirtilmektedir.

Çizelge 5.2. 18 istasyona ait 1996 yılı ME, MAE ve RMSE değerleri.

İstasyon No & Adı	L_ME	L_MAE	L_RMSE	N_ME	N_MAE	N_RMSE	M-C
17038-Trabzon	-8,66	8,68	9,50	-8,33	8,36	9,20	M
17060-İstanbul Atatürk	-3,24	4,39	5,28	-3,02	4,41	5,29	M
17082-Tokat	-2,45	3,76	4,58	-2,45	3,77	4,58	C
17090-Sivas	-3,66	4,24	5,01	-3,61	4,21	4,99	C
17096-Erzurum	-0,10	3,87	5,18	-0,01	3,84	5,17	C
17112-Çanakkale	-3,11	3,66	4,46	-3,05	3,63	4,43	M
17115-Balıkesir	-3,03	4,09	5,10	-3,04	4,10	5,12	M
17124-Eskişehir	-2,89	3,76	4,53	-2,85	3,77	4,54	C
17128-Ankara Esenboğa	-1,97	3,29	4,08	-1,89	3,25	4,04	C
17170-Van	-5,04	5,31	6,26	-4,54	4,90	5,89	C
17195-Kayseri	-2,14	3,24	4,13	-2,15	3,25	4,15	C
17200-Malatya Erhaç	-4,16	4,87	5,99	-3,66	4,54	5,62	C
17202-Elazığ	-2,70	3,56	4,55	-2,71	3,55	4,56	C
17219-İzmir A.Menderes	-0,66	3,00	3,71	-0,66	3,00	3,71	M
17244-Konya	-3,43	3,90	4,67	-3,41	3,87	4,63	C
17260-Gaziantep	-3,73	4,45	5,42	-3,69	4,39	5,36	C
17280-Diyarbakır	-1,88	3,18	4,11	-1,79	3,16	4,08	C
17300-Antalya	-5,12	5,19	5,91	-5,44	5,50	6,19	M
Ortalama	-3,22	4,25	5,14	-3,13	4,19	5,09	

Yağış verileri üzerinde doğrulama işlemi günlük toplam yağış verileri hesaplanarak yapılmaktadır. Bunun için yağış verilerinin doğrulanması için seçilen gözlem ve model istasyonları parametreleri seçilmelidir. İkinci aşamada seçilen istasyonlara ait değerler, gözlem ve model değerleri için ayrı ayrı veri tablolarında saat dilimli ve toplam yağışı içermektedir. Şekil 5.6'da model tahmin verilerine ait üçer saatlik periyotlarda yağış verileri ile günlük toplam yağış verileri bulunmaktadır.

Model İstasyonu: 17128-Ankara Esenboga Airport-1996-NN ### Enlem / Boylam: 40.07 / 33 ### Değişken: tpr ### Date: 01/01/1996									
31/12/1996									
	İstasyon Adı	Enlem	Boylam	Yıl	Ay	Gün	Saat	Yağış	Günlük_Toplam_Yağış
1	17128-Ankara Esenboga Airport-1996-NN	40.07	33	1996	1	1	3	0.2	10.1
2	17128-Ankara Esenboga Airport-1996-NN	40.07	33	1996	1	1	6	0.9	10.1
3	17128-Ankara Esenboga Airport-1996-NN	40.07	33	1996	1	1	9	1.0	10.1
4	17128-Ankara Esenboga Airport-1996-NN	40.07	33	1996	1	1	12	0.8	10.1
5	17128-Ankara Esenboga Airport-1996-NN	40.07	33	1996	1	1	15	0.6	10.1
6	17128-Ankara Esenboga Airport-1996-NN	40.07	33	1996	1	1	18	2.2	10.1
7	17128-Ankara Esenboga Airport-1996-NN	40.07	33	1996	1	1	21	0.9	10.1
8	17128-Ankara Esenboga Airport-1996-NN	40.07	33	1996	1	2	0	3.5	31.6
9	17128-Ankara Esenboga Airport-1996-NN	40.07	33	1996	1	2	3	2.3	31.6
10	17128-Ankara Esenboga Airport-1996-NN	40.07	33	1996	1	2	6	6.6	31.6
11	17128-Ankara Esenboga Airport-1996-NN	40.07	33	1996	1	2	9	12.6	31.6

Şekil 5.6. Esenboğa Hava Alanı'na ait 1996 yılı model yağış değerleri.

Toplam yağış verileri, model verileri ve gözlem verileri için hesaplanmıştır. Model verileri için günlük toplam yağış değeri; gün içinde saatlik dilimde ölçülen yağış değerlerinin toplamına eşittir. Gözlem değerleri (Çizelge 5.3'deki) sinoptik değerlerdir. Sinoptik değerler için günlük toplam yağış miktarı şu şekilde hesaplanmaktadır:

$$\text{Günlük Toplam Yağış} = e + d + b - a \quad (5.1)$$

Çizelge 5.3. Yağış verilerinin zamansal gösterimi.

Yıl	Ay	Gün	Saat	Yağış
1996	1	6	a	0,3(a)
1996	1	6	6	0,3(b)
1996	1	6	12	0,1(c)
1996	1	6	18	0,4(d)
1996	1	7	0	0,6(e)

Esenboğa Hava Alanı istasyonuna ait 1996 yılı için yapılan analiz sonucunda en yakın komşu interpolasyon yöntemi ile elde edilen model verilerine ait günlük toplam yağış değerleri gözlem verileriyle birlikte Şekil 5.7'de gösterilmiştir.

Yağış verilerinin kategorik doğrulanması için ilk adım ihtimal tablosunu oluşturmaktır. İhtimal tablosu gözlem ve model verilerinin ikili olarak ele

alınmasıyla oluşturulur. Oluşturulan tabloda eksik verilerin olduğu günler (32 gün) hesaplamaya dâhil edilmemiştir.

17128-Ankara Esenboğa Airport-1996-NN (40.07 / 33) ### Değişken: tpr ### Tarih: 01/01/1996 - 31/12/1996						
	Yıl	Ay	Gün	Toplam_Yağış(Model)	Toplam_Yağış(Gözlem)	Fark
1	1996	1	1	10.1	0.0	10.1
2	1996	1	5	7.9	8.5	-0.6
3	1996	1	6	0.0	4.6	-4.6
4	1996	1	7	0.5	0.0	0.5
5	1996	1	8	0.3	0.0	0.3
6	1996	1	9	1.7	0.0	1.7
7	1996	1	10	2.1	0.0	2.1
8	1996	1	11	0.4	0.0	0.4
9	1996	1	12	2.3	0.0	2.3
10	1996	1	13	2.0	0.0	2.0
11	1996	1	14	2.5	0.0	2.5

Şekil 5.7. Esenboğa Hava Alanı için günlük toplam yağış değerleri.

Çizelge 5.4' te Ankara Esenboğa Hava Alanı istasyonu için 1996 yılına ait toplam yağış değerleri kullanılarak oluşturulan ihtimal tablosu gösterilmiştir.

Çizelge 5.4. Esenboğa Hava Alanı'na ait ihtimal tablosu.

Tahmin Durumları	Gözlem Durumları		
	Evet	Hayır	Ara Toplam
Evet	76 (a)	94 (b)	170 (a+b)
Hayır	23 (c)	140 (d)	163 (c+d)
Ara Toplam	99 (a+c)	234 (b+d)	333 (a+b+c+d = n)

İhtimal tablosundan elde edilen istatistiki değerler Şekil 5.8'de gösterilmiştir. PC değerine bakılarak, model yağışın yağmur olup olmayacağı tahminindeki başarısının % 65 oranında olduğu söylenebilir.

Toplam yağış miktarı doğrulaması, oluşturulan tabloda kullanılacak değerlerin alacağı aralıklar belirlenerek, gözlem ve model değerlerine karşılık gelen alanlara yerleştirme işlemi yapılarak gerçekleştirilir.

BIAS=1,72	PC=0,65	POD=0,77	FAR=0,55
F=0,4	TS=0,39	ETS=0,18	KSS=0,37
HSS=0,3	OR=0,92	ORSS=0,66	

Şekil 5.8. Esenboğa Hava Alanı için hesaplanan istatistiksel değerler.

Çizelge 5.5'te Ankara Esenboğa Hava Alanı istasyonu için 1996 yılına ait toplam yağış değerleri kullanılarak oluşturulan, gözlem ve model değerlerinin ilgili aralıklara yerleştirildiği tablo gösterilmiştir. Çizelge 5.5'deki tabloya bağlı olarak elde edilen istatistiksel değerler Şekil 5.9'da gösterilmiştir. Sonuçlara bakıldığında %47,15 oranında gözlem ve model değerleri aynı aralıklara isabet etmiştir.

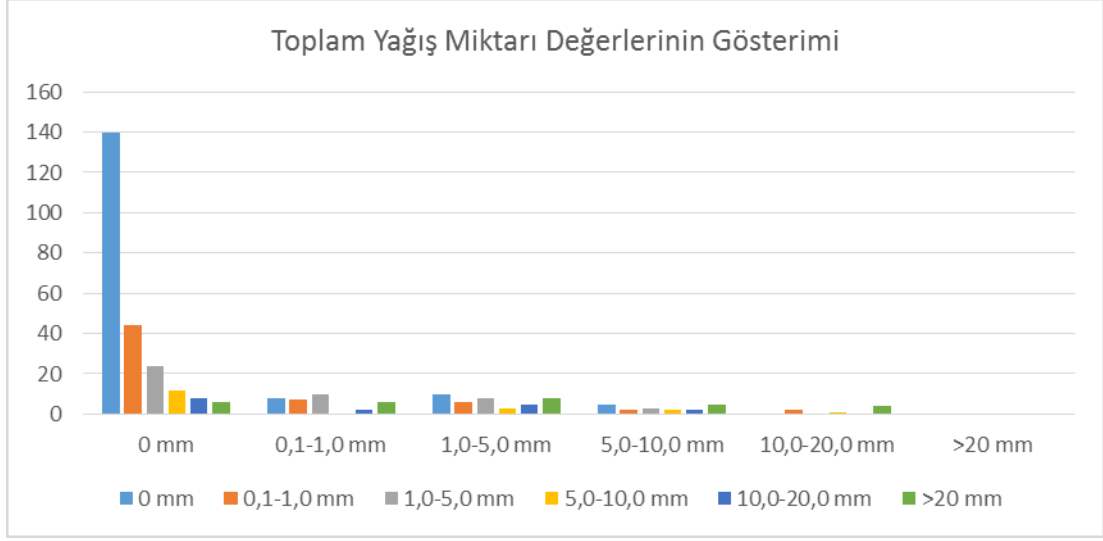
Çizelge 5.5. Esenboğa Hava Alanı'na ait toplam yağış miktarı doğrulama tablosu.

Gözlem\Tahmin	0.0 mm	0.1-1.0 mm	1.0-5.0 mm	5.0-10.0 mm	10.0-20.0 mm	Tahmin >20 mm
0.0 mm	140	44	24	12	8	6
0.1-1.0 mm	8	7	10	0	2	6
1.0-5.0 mm	10	6	8	3	5	8
5.0-10.0 mm	5	2	3	2	2	5
10.0-20.0 mm	0	2	0	1	0	4
Gözlem>20 mm	0	0	0	0	0	0

Çizelge 5.5'deki tablonun subjektif doğrulaması ise, gözlem ve model verileri için "İsabet/Iska Frekans Grafiği" oluşturularak (Şekil 5.10) uygulanmıştır.

Tam İsabet(Hit Rates):%47,15	Önemli Sapma :%8,71
Çok Küçük Sapma:%24,32	Büyük Sapma :%4,2
Küçük Sapma :%13,81	Çok Büyük Sapma :% 1,8

Şekil 5.9. Esenboğa Hava Alanı için hesaplanan istatistiksel değerler (2).



Şekil 5.10. Esenboğa Hava Alanı için isabet/ıska frekans grafiği.

Dinamik yağış verisi tahminleri istenilen alan ölçeğine göre küresel ve sınırlı alan modellerinden, zaman ölçeğine göre Sayısal Hava Tahmini (NWP) ve iklim amaçlı atmosfer modellerinden elde edilmektedir. Alansal olarak ölçek 1 km ila 300 km arasında değişebilirken zamansal olarak 1-2 saatle yüzyılları kapsayan dönemde olabilmektedir. Tahmin aralıkları da (time steep) 6-24 saatten başlayıp model ve bilgisayar gücüne bağlı olarak 1 kaç dakikaya kadar çıkabilmektedir [130].

20. yüzyılın son çeyreğinden itibaren iklim değişikliği ve değişe bilirliliği konusunda insanoğlunun ilgi ve merakı, bilim insanlarının çalışmaları iklim koşullarında meydana gelen değişimlerin hissedilir oranda artması, yaşamsal faaliyetlere etkisinin ekonomik ve sosyal boyutlarının büyümesi neticesinde artmıştır. Yapılan pek çok bilimsel çalışma neticesinde başta sıcaklık ve yağış parametrelerinde olmak üzere pek çok faktörde zamana ve mekâna bağlı olarak değişik ölçeklerde farklılıklar olduğu ve geliştirilen öngörüler doğrultusunda farklılıkların olacağı belirtilmektedir. İklim değişikliğine karşı en hassas bölgelerden biri olarak Akdeniz havzası gösterilmektedir. Gelecek yüzyılda değişik senaryolara bağlı olarak bölgede sıcakların 1,5-5 °C arasında artarken yağışların özellikle güney ve doğu kesimlerde olmak üzere 5-40% oranlarında azalacağı öngörülmekte. Bu öngörülerde en önemli görev küresel ve bölgesel iklim modellerine yüklenmekte. Buna bağlı olarak pek çok önemli merkezler (NASA, NCAR, Hadley Centre, ICTP, CSIRO, CNRM) ve onlara bağlı araştırmacılar tarafından çok sayıda küresel ve bölgesel iklim modeli (HadCM,

FvGCM, ECHAM, ALADIN, CCM, CGCM, RegCM, CWRf, PRECIS, CanRCM4) tasarım ve geliştirme çalışmaları yürütülmektedir [130].

Öngörülen tahminlerin tutarlılığı oluşturulan senaryoların dışında kullanılan modellerin mevcut atmosfer koşullarını temsil edebilme kabiliyetlerine bağlıdır. Bu kabiliyetleri geçmiş dönemlere ait benzetimlerin gözlem değerleriyle karşılaştırılmasıyla sınanması başvurulan en yaygın ve geçerli yöntemdir. Bu karşılaştırmalar sinoptik olay (şiddetli yağış, extreme sıcaklıklar, fırtına, hurricane, v.s.) bazında olabildiği gibi kısa ve uzun dönem anlık ve ortalama değerlerin karşılaştırılması şeklinde de yapılmaktadır. Gözlem değerleri olarak ulusal meteoroloji ve sublim servislerinin istasyon gözlem değerleri kullanılabildiği gibi bazı merkezler tarafından oluşturulan küresel gözlem very setleri (TRMM, CRU vs.) de kullanılabilmektedir.

Sübjektif değerlendirmelerin yanı sıra objektif değerlendirmelerde pek çok istatistiki yöntem kullanılmaktadır. Uzun yıllar ortalama yağış verilerinin Ortalama Hata (ME), Ortalama Mutlak Hata (MAE), Hata Miktarı Karelerinin Ortalamasının Kök Değeri (RMSE) iklim modellerinin sınanmasında en çok kullanılan yöntemlerdir. 2x2'lik ve çok sınıflı ihtimal tablosu ve bu tablodan elde edilen indeksler ise daha çok operasyonel sayısal hava tahmini modellerinin sınanmasında kullanılmaktadır. Günümüzde bitki ve diğer canlıların çevresel yaşam şartlarının sınırlarının belirlenmesinin yanı sıra bu ekosistemlere anlık etkilerin sonuçlarının belirlenebilmesi için uzun dönem ortalama değerlerdeki değişimlerden çok anlık değerlerin analiz edilmesi gerekmektedir. Örneğin bir havzada meydana gelen sel havza ekosistemindeki canlıların yaşam alanı sınırlarını belirlemezken yaşam şartlarına büyük etkisi olabilmektedir. Bunun gibi nedenlerden ötürü iklim modellerinin sonuçlarının bu tür olayların öngörüsünde kullanılabilişliğinin sorgulanması gerekmektedir [130].

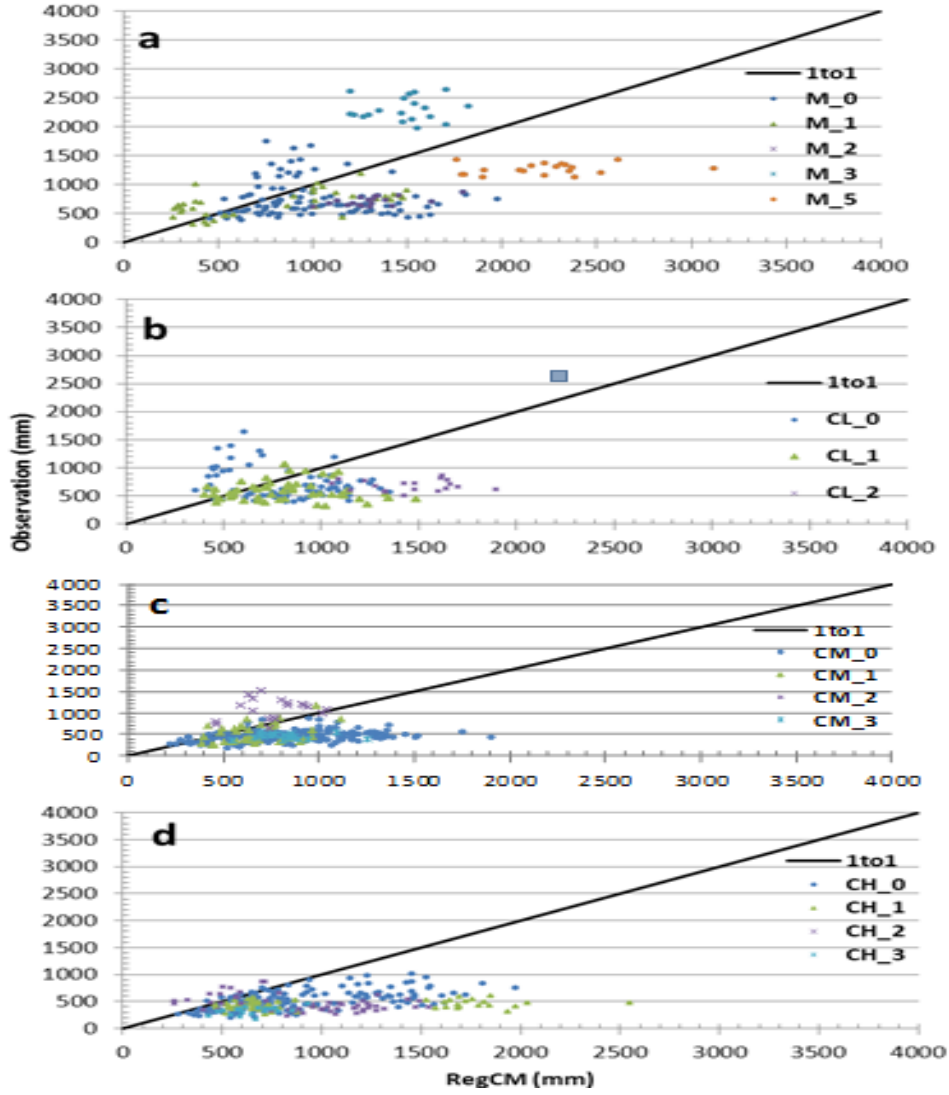
Çalışmada iklim değişimi çalışlarında yaygın olarak kullanılan RegCM4 bölgesel iklim modelini hidrolojik çalışmalarda kullanılabilişliğini görmek amacıyla sayısal hava tahmininde kullanılan istatistiklerle test edilmiştir [130].

Çalışmada test istatistiklerinin uygulanmasından önce model yağış değerlerinin tutarlılığı hakkında ön bilgi sahibi olmak için scatter plot (1to1) grafikleri çizilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne ait değerlendirmeye alınan 50 istasyonun 19 yıllık günlük toplam yağış değerleri 6939 adet veri oluşturmaktadır.

Şekil 5.11.(a)'da grafiklenen 14 istasyonun (Alanya, Bodrum, Canakkale, Fethiye, Giresun, İstanbul, İzmir, Kocaeli, Rize, Samsun, Silifke, Sinop, Tekirdag, Zonguldak) verilerine göre model kıyı kesimindeki istasyonlarda 1000 mm ye kadar olan yağışlarda model değerlerinin gözlem değerlerinden önemli bir sapma göstermediği görülmektedir [131].

Test istatistiklerinde tamamı kullanılan bu verilerin (scatter plot) grafiğinde günlük olarak işaretlenmesi yoğun işaretlemeden dolayı görsel olarak anlam çıkarmayı zorlaştırdığından istasyonların yıllık toplam (950 adet) ve 19 yıllık ortalama toplam yağış verileri (50 adet) grafiklenmiştir. Model tutarlılığında istasyonların gerçek koordinatlara göre kara-deniz, istasyon yüksekliğinin ve model topografyasının gerçek topografyadan yükseklik açısından farkının etkisinin görülebilmesi amacıyla istasyonlar; kıyı kesimindeki istasyonlar (maritime), karasal istasyonlar (continental) yüksekliklerine göre low (CL=0-400 m), medium (CM=401-1000 m) ve high (CH=>1000) olarak sınıflandırılmıştır. Ayrıca istasyonların gerçek yüksekliklerinden model yükseklik farkları 0 dan 9 a kadar sınıflandırılmıştır (0= 0-200, 1=201-400, 2=401-600, 3=601-800, 4=801-1000, ..., 9=>1800 m). Bu sınıflandırmalar eşliğinde oluşturulan grafikler Şekil 5.11'de verilmiştir.

Genel olarak modelin bu istasyonlarda gözlenen değer üzerinde benzetim değeri ürettiği (overestimate) belirlenmiştir. Gözlemlenen yağışın 1300 mm ve üzerinde olduğu özellikle iki istasyonda (Rize ve Giresun) modelin sapma gösterdiği gözlenmiştir. Bu sapma Rize de gözlem değerinden daha düşük değer simüle etmek (lowerestimate) şeklinde iken Giresun istasyonunda overestimate şeklinde olduğu görülmektedir. Rize ve Giresun istasyonlarının ortak özelliği Karadeniz kıyısında olup gerçek yükseklikleriyle (sırasıyla 9 ve 38 m) model yükseklikleri (sırasıyla 733 ve 1123 m) arasında önemli yükselti farkı olmasıdır.



Şekil 5.11. İstasyonların model ve gözlem yıllık toplam yağışlarının istasyon lokasyonu ve yükseklik koşullarına göre sınıflandırılmış scatter plot grafikleri.

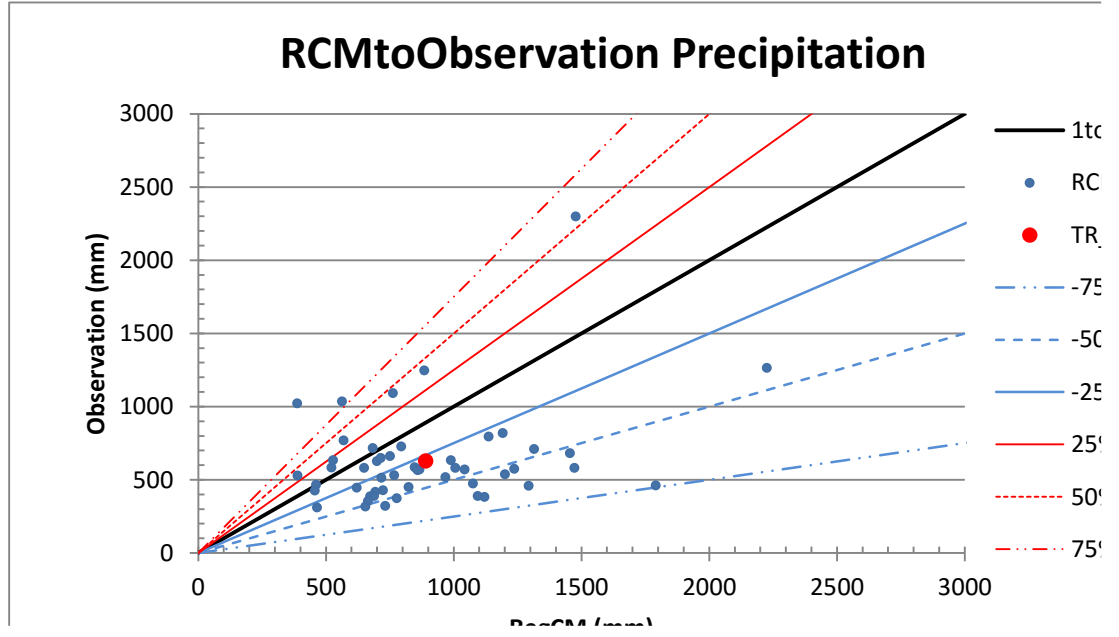
Şekil 5.11'de (b),(c) ve (d) grafiklerinde belirtilen toplam 36 istasyonun yağış benzetim değerleri gözlem değerleriyle kıyaslandığında modelin yükseklik arttıkça ve yağış miktarı azaldıkça (gözlem) artan oranda overestimate yaptığı belirlenmiştir. Şekil 5.11 de yer alan tüm istasyonlar topluca değerlendirildiğinde 50 istasyonda kıyaslama yapılan 950 yağış değerine göre model benzetim sonuçları 209'unda lowerestimate 741'inde overestimate şeklinde olmuştur. Benzetim değerlerinin gözlem değerlerinden yüzdesel olarak farkları incelendiğinde yağış değerlerinden 220'si $\pm 25\%$ dilimi içerisinde yer almaktadır. Geriye kalan yağış benzetim değerlerinden lowerestimate değerlerinden 87'si $-(26-50)\%$, 30'u $-(51-75)\%$, 1'i $>75\%$ 'lik dilimlerde yer almaktadır. Overestimate edilen benzetim sonuçlarının

119'u 26-50%, 143'ü 51-75%, 350'si >75% dilim içerisinde yer almıştır. İstasyonların 1989-2007 dönemini kapsayan ortalama yıllık toplam yağışları Şekil 5.12'de verilen grafikte kıyaslanmıştır. Buna göre RegCM4 modeli yağışları 11 istasyonda gözlem değerinden düşük 39 istasyonda gözlem değerinden yüksek simüle etmiştir. Ortalama yağış benzetim değerlerinin gözlem değerlerinden yüzdesel olarak farkları incelendiğinde yağış değerlerinden 10'u $\pm 25\%$ dilimi içerisinde yer almaktadır. Geriye kalan yağış benzetim değerlerinden lowerestimate değerlerinden 6'sı $-(26-50)\%$, 1'i $-(51-75)\%$ dilimlerde yer almaktadır. Overestimate edilen benzetim sonuçlarının 6'sı 26-50%, 8'i 51-75%, 19'u >75% dilim içerisinde yer almıştır. Tüm istasyonların ortalamasından Türkiye ortalaması elde edilerek kıyaslandığında, Türkiye ortalamasını modelin 42% oranında overestimate ettiği görülmüştür [131].

Tüm bu değerlendirmeler göz önüne alındığında ortalama yıllık toplam yağışlarla yıllık toplam yağış verilerinin benzetim başarı oranlarının (scatter plots grafiklerinde yüzdesel dilimlere düşen veri sayılarının yüzdeliklerine göre) yaklaşık olarak aynı olduğu belirlenmiştir.

Scatter plots grafiklerine göre model yağış miktarları değerlendirilen istasyonların 22% sinde lowerestimate, 78% inde overestimate yapmaktadır. Türkiye ortalamasına göre ise yağış miktarı açısından 42% oranında yağışı fazla simüle etmektedir. Yıllık toplam yağış miktarları ile uzun yıllar ortalama yağış miktarının değerlendirmeleri arasında fark bulunmamaktadır. Genel olarak istasyon yüksekliği arttıkça overestimate yapma oranı da artmaktadır. 2*2 ihtimal tablosunun elde edilen B, PC, POD, FAR, F, KSS, TS, ETS, HSS, OR, ORSS skorlarına göre RegCM4 modeli NWP alanında operasyonel olarak kullanılan pek çok modele yakın başarı oranlarına sahip olduğu belirlenmiştir.

Bu başarı oranları modelin uygun parametrisasyonların seçimi, bölgesel uyarlamalara yönelik ayarlamaların (tuning) yapılması, daha yüksek model yatay ve dikey çözünürlükte ve boundary koşullarıyla çalıştırılmasıyla daha üst seviyelere çıkartılabilir.



Şekil 5.12. İstasyonların model ve gözlem ortalama yıllık toplam yağışlarının scatter plot grafikleri [131].

Ayrıca model sonuçlarının istasyon noktalarına enterpolasyonunda farklı yöntemlerin sınanarak kullanılması, ham model sonuçlarının (direct model outputs) farklı tekniklerle postprosesing işlemleri (e.g. bias correction, logistic regression) uygulanarak kuraklık ve sel tahmini gibi hidrolojik uygulamalar için gerekli hassasiyetlere yaklaştırılması bu uygulamalarda istenilen başarı oranlarına ulaşılmasını kolaylaştıracaktır. Ayrıca yağış parametresi 2*2 ihtimal tablosunun yanı sıra farklı yağış aralıklarında (thresholds) multi-category contingency tables kullanılarak değerlendirilmelidir. Böylece extreme yağış koşullarına modelin hassasiyeti ve sel, taşkın gibi hidrolojik olayların tahmininde kullanılabilirliği net olarak test edilebilir [130].

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, RegCM Bölgesel İklim Modeliyle üretilen verilerin Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü'ne ait meteorolojik gözlem istasyonlarının verilerinin karşılaştırılmasına olanak veren bir sistem geliştirilmiştir.

Dünyadaki ülkelerin ve Ülkemizin ilerki yıllarda meydana gelecek iklim değişikliklerinin sonuçlarına şimdiden hazırlanabilmesi için gelecekte iklimin nasıl olacağına ilişkin öngörülere ihtiyaç vardır. İklim sistemini oluşturan bileşenlerin, arasındaki etkileşimlerin ve geri beslemelerin matematiksel gösterimi olan ve iklim değişikliğini tahmin etmek için iklim modelleri kullanılmaktadır. Değişen iklim koşulları göz önüne alındığında iklim modellerinin yaptığı kestirimleri doğrulamak çok önemli hale gelmiştir. Geliştirilen uzman sistem meteoroloji uzmanları ve iklim bilimciler tarafından kullanılacak bir sistemdir. Elde edilen sonuçları tüm bilim insanları ve politika üreticilerin kullanarak ilerde meydana gelecek olan iklim değişikliklerine uygun çalışmalar yapmasına zemin hazırlanmıştır. Bu çalışma kapsamında yapılan incelemelerde bazı ülkelerin beklenen iklim değişimlerine uygun bitki türlerini geliştirmeye başladıkları görülmüştür. Ülkemizde beklenen değişiklik, sıcaklığın 1,5-5°C artacağı ve yağışlarda azalma olacağı yönündedir. Yağışların kısa sürede çok miktarda olacağı ve bununla sel ile su baskınları yüzünden mal ve can kayıplarını ortaya çıkaracağı öngörülmektedir.

Çalışmada, sıcaklık ve yağış verileri kullanılarak sistem test edilmiş ve başarıyla uygulanmıştır. Objektif doğrulama için Ortalama Hata(ME), Ortalama Standart Hata(MAE) ve Hata Miktarı Karelerinin Ortalamasının Kök Değeri(RMSE) ile oluşturulan 2x2'lik ihtimal tablosundan elde edilen istatistiksel değerler (B, PC, POD, FAR, F, KSS, TS, ETS, HSS, OR, ORSS) hesaplandıktan sonra sonuçların

grafiksel olarak gösterimi, yapılacak olan analiz ve incelemeleri kolaylaştırmakta ve modelin doğruluğu test edilmektedir.

Sıcaklık verileri üzerinde yapılan analiz sonuçlarına göre çift doğrusal interpolasyonla en yakın komşu interpolasyon yöntemi incelenip objektif olarak değerlendirildiğinde önemli bir fark olmadığı görülmektedir. 18 istasyonun 6'sında çift doğrusal interpolasyonla elde edilen değerler daha iyi sonuç verirken, 10 tanesinde en yakın komşu yöntemi daha iyi sonuç vermiş, 2 istasyonda ise aynı sonuçları göstermişlerdir. Çift doğrusal interpolasyonla en yakın komşu interpolasyon tekniklerinin kullanıldığı doğrulama skorları arasındaki fark sadece 4 istasyonda $\pm 0,1$ 'in üstünde iken, 14 istasyonda $\pm 0,1$ 'in altındadır. Bu değerlendirme göz önüne alındığında iki interpolasyon tekniği arasında seçilen istasyonlar ve değerlendirilen veri açısından önemli bir fark bulunmadığı görülmektedir.

Analiz sonuçlarında ME ve MAE sonuçlarının bir birine yakın olması modelin sürekli olarak (over/lower estimate) üst/alt tahmin yaptığını göstermektedir. Modelin bazen üst tahmin bazen alt tahmin yaptığı durumlarda ME değeri MAE değerinden önemli oranda küçük çıkmaktadır. RMSE ve MAE değerleri arasında önemli bir fark bulunmamaktadır.

En yakın komşu interpolasyon tekniğine göre 18 istasyonun RMSE verifikasyon skorları 9,2 ile 3,71 arasında, MAE skorları 8,36 ile 3,0 arasında, ME skorları -8,33 ile -0,66 arasında değişmektedir. Ortalama değerler sırasıyla "5,09", "4,19", "-3,13" olarak belirlenmiştir.

Çift doğrusal interpolasyon tekniğine göre 18 istasyonun RMSE verifikasyon skorları 9,5 ile 3,71 arasında, MAE skorları 8,68 ile 3,0 arasında, ME skorları -8,66 ile -0,66 arasında değişmektedir. Ortalama değerler sırasıyla "5,14", "4,25", "-3,22" olarak belirlenmiştir.

İki yönteme göre de net bir şekilde modelin 00 GMT için "alt tahmin" yaptığı yani daha düşük sıcaklık tahmininde bulunduğu görülmektedir. Bunun nedeni modelin

gece radyasyona bağlı soğumayı normalden fazla yansıtması olarak değerlendirilebilir.

Ankara Esenboğa Hava Alanı istasyonu için 1996 yılına ait (333 gün) günlük toplam yağış değerleri kullanılarak yapılan analiz sonuçlarına göre; 76 günlük tahmin için gözlem verisine göre yağışın olduğu ve modelin bunları doğru tahmin ettiği, 140 günlük tahmin için gözlem verisine göre yağışın olmadığı ve modelin bunları yine doğru tahmin ettiği, 94 günlük tahminde yağışın olmadığı fakat model verisinin yanlış tahminde bulunduğu ve 23 günlük tahminde yağışın olduğu fakat model verisinin yine yanlış tahminde bulunduğu söylenebilir. Bu sonuçlara göre iklim modeli, yağışın olup olmaması ihtimalini 333 günlük tahmin içinden 216 gün doğru tahmin ederek % 65 oranında bir başarı elde etmiştir. Toplam yağış miktarına göre yapılan değerlendirmede ise 157 günlük tahmin değeri gözlem değeriyle aynı aralıktadır ve % 47,15'lik (Tam İsbet Değer) bir başarıdan söz edilebilir. Bu değerlendirme sonucunda elde edilen diğer istatistiklerde; çok Kk Sapma değer % 24,32, Kk Sapma değer % 13,81, önemli Sapma Değer % 8,71, Büyük Sapma Değer % 4,2 ve çok Büyük Sapma Değer % 1,8'dir.

İleriye yönelik çalışmalarda sisteme farklı iklim modelleri eklenebilir, bu modellere ait tahmin verilerinin gözlem verileriyle karşılaştırılması sağlanarak istenen konum için en iyi sonucu veren iklim modeli tercih edilebilir.

KAYNAKLAR

1. Türkeş, M., “Hava, iklim, şiddetli hava olayları ve küresel ısınma”, *T.C. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü 2000 Yılı Seminerleri, Teknik Sunumlar, Seminerler Dizisi: 1*, 187-205 (2001).
2. İnternet: Doğa Koruma Merkezi, “İklim Değişikliği ve Ormancılık: Modellerden Uygulamaya”, www.dkm.org.tr (2011).
3. Marland, G., Boden, T. A., and Andres, R. J., “Global, regional, and national CO₂ emissions. In trends: A compendium of data on global change. Carbon dioxide information analysis center”, *Oak Ridge National Laboratory*, Tennessee (2005).
4. İnternet: NASA Website, “NASA, GISS”, <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs> (2011).
5. Türkeş, M., “Küresel iklim değişikliği: Tarım ve su kaynakları üzerindeki olası etkiler” *İklim Değişikliklerinin Tarım Üzerine Etkileri Paneli*, Ankara, 91-128 (2001).
6. Coughlan, M. J., and Nyenzi, B. S., “Climate trends and variability, in climate change: Science, impacts and policy”, *Proceedings of the Second World Climate Conference*, Cambridge (1991).
7. Broecker, W. S., and Denton, G. H., “The role of ocean-atmospheric reorganizations in glacial cycles”, *Geochemica et Cosmochimica Acta*, 2465-2501 (1989).
8. Broecker, W. S., Peteet, D., and Rind, D., “Does the Ocean-Atmosphere System have more than one stable mode of operation?”, *Nature*, 21-25 (1985).
9. Huntley, B., and Prentice, I. C., “July temperatures in europe from pollen data, 6000 years before present”, *Science*, 687-690 (1988).
10. Webb, T., Bartlein, P. J., and Kutzbach, J. E., “Climatic change in Eastern North America during the Past 18000 Years: Comparisons of pollen data with model results”, *The Geology of North America*, 447-462 (1987).
11. Robinson, P. J., and Henderson-Sellers, A., “Contemporary Cimatology”, 2nd ed., *Prentice Hall Inc.*, London, 120-125 (1999).

12. Houghton, J. T., Ding, Y., Griggs, D. J., Noguer, M., Linden, P. J., Dai, X., Maskell, K., and Johnson, C. A., "The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate change", *Cambridge University Press* (2001).
13. IPCC, Climate Change 2007, "The physical science basis: Summary for policymakers-contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on climate change (IPCC)", *IPCC Secretariat, WMO*, Geneva (2007).
14. Türkeş, M., "Küresel iklim değişikliği ve gelecekteki iklimimiz", *23 Mart Dünya Meteoroloji Günü Kutlaması Gelecekteki İklimimiz Paneli*, Ankara, 12-37 (2003).
15. Türkeş, M., "Küresel iklim değişikliği ve olası sonuçları", *Hava kuvvetleri Dergisi*, 348: 70-77 (2004).
16. WMO, "WMO statement on the status of the global climate in 1998", *World Meteorological Organization*, Geneva (1999).
17. İnternet: University of East Anglia, "Climatic Research Unit Information Sheets: Global Temperature Records" <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming> (2005).
18. Keeling, C. D. and Whorf T. P., "Atmospheric CO₂ records from sites in the SIO air sampling network. In trends: A compendium of data on global change", *Carbon Dioxide Information Analysis Center, Oak Ridge National Laboratory, U.S. Department Of Energy*, Oak Ridge, Tenn. U.S.A (2005).
19. IPCC, "Special report on emissions scenarios: A Special report of Working Group III of The Intergovernmental Panel on climate change (IPCC)" *Cambridge University Press*, New York (2000).
20. İnternet: BGST Anasayfası, "Küresel Ekolojik Kriz Ve İklim Değişimi". <http://www.bgst.org/keab/aks130105.php>. (2005).
21. İnternet: TOBB, "İklim Değişikliği Ve Türkiye", <http://www.tobb.org.tr> (2005).
22. Türkeş, M., "Küresel iklim değişikliği nedir? Temel kavramlar, nedenleri, gözlenen ve öngörülen değişiklikler", *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi*, İstanbul (2007).
23. Stott, P. A., Tett, S. F. B., Jones, G. S., Allen, M. R., Mitchell, J. F. B., Jenkins, G. J., "External control of twentieth century temperature variations by natural and anthropogenic forcings", *Science*, 15: 2133-2137 (2000).

24. Tett, S. F. B., Jones, G. S., Stott, P. A., Hill, D. C., Mitchell, J. F. B., Allen, M. R., Ingram, W. J., Jons, T. C., Johnson, C. E., Jones, A., Roberts, D. L., Sexton, D. M. H., and Woodage, M. J., "Estimation of natural and anthropogenic contributions to 20th Century", *Hadley Centre for Climate Prediction and Response, Meteorological Office*, UK, 22-65 (2000).
25. Türkeş, M., "İklim değışikliği ve küresel ısınma olgusu: bilimsel değeriendirme", *Küresel Isınma ve Kyoto Protokolü İklim Değişikliğinin Bilimsel, Ekonomik ve Politik Analizi*, İstanbul, 21-59 (2008).
26. UKMO/DETR, "Climate change and its impacts, stabilisation of CO₂ in the atmosphere", *United Kingdom Meteorological Office and Department of the Environment, Transport and the Regions*, (1999).
27. Dalfes, H. N., Karaca, M. and Şen, Ö. L., "Climate change scenarios for Turkey" *United Nations Development Programme (UNDP)*, Ankara, 11-18 (2007).
28. Demir, İ., Kılıç,, G. ve Coşkun, M., "Climate predictions for Turkey using PRECIS Regional Climate Model: Scenario HaDAMP3 SRES A2." *Proceedings of the International Fourth Symposium on Atmospheric Sciences*, İstanbul (2008).
29. Öno1, B., Semazzi, F. M., "Regionalization of climate change simulations over the Eastern Mediterranean", *Journal of Climate* 22: 1944-1961 (2009).
30. Türkeş M., "Vulnerability of Turkey to desertification with respect to precipitation and aridity conditions". *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences* 23: 363-380 (1999).
31. Jalili, A., Jamzad, Z., Thompson, K., Araghi, M. K., Ashrafi, S., Hasaninejad, M., Panahi, P., Hooshang, N., Azadi, R., Tavakol, M. S., Palizdar, M., Rahmanpour, A., Farghadan, F., Mirhossaini, S. G., and Parvaneh., K., "Climate change, unpredictable cold waves and possible brakes on plant migration", *Global Ecology and Biogeography* 19: 642–648 (2010).
32. Bilgin, C. C. and Türkeş, M., "Country report for Turkey", *Changing climate, changing biodiversity in South-East Europe*, Sırbistan (2008).
33. Anonim, "Bildirim", *Türkiye İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirimi*, 273-274 (2007).
34. İnternet: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü "Küresel İklim Değişikliği Ve İnsan Sağlığına Etkileri", <http://www.mgm.gov.tr/files/genel/saglik/iklimdegisikligi/kureseliklimdegi sikligietkileri.pdf>, 31-32 (2008).

35. Oğuz, T., “Climatic warming impacting pelagic fish stocks in The Black Sea due to an ecological regime shift during mid-1990s”, *Globec International Newsletter*, 9: 18-20 (2003).
36. Oğuz, T., Çokacar, T., Malanotte-Rizzoli P., and Ducklow, H. W., “Climatic warming and accompanying changes in The Ecological Regime Of The Black Sea during 1990s”. *Global Biogeochemical Cycles*, 17: 1088 (2003).
37. Karaca M. ve Ünal Y. S., “Potential implications of accelerated sea- level rise for Turkey”, *Journal Coastal Research*, 288-298 (2003).
38. Tezcan, L., Ekmekçi M., Atilla Ö., Gürkan D., Yalçınkaya O., Namkhai O., Soylu M. E., Donma S., Yılmaz D., Akyatan A., Pelen, N., Topaloğlu, F., and İrvem, A., “Seyhan nehri havzasında tarım güvenliği için su kaynakları sistemlerinin iklim değişikliklerine karşı duyarlılıklarının araştırılması”, *ICCAP Projesi Türk Grubu Sonuç Raporları*, 1-24 (2007).
39. Wilhite, D. A., “Drought as a natural hazard: Concepts and definitions”, *Routledge Publishers*, UK, 63-75 (2000).
40. Lloyd, H. B. and Saunders, M., “A Drought Climatology For Europe”, *International Journal Climatology* 22: 1571-1592 (2002).
41. Kömüşçü, A. Ü., “Weather modification activities in Turkey”. *Proceedings of Eight WMO Scientific Conference on Weather Modification*, 39-42 (2003).
42. Türkeş, M., “Influence of geopotential heights, cyclone frequency and southern oscillation on rainfall variation in Turkey”, *International Journal Of Climatology*, 18: 649-680 (1998).
43. Türkeş, M., and Erlat E., “Precipitation changes and variability in Turkey linked to The North Atlantic oscillation during the period 1930-2000”, *International Journal Of Climatology*, 23: 1771-1796 (2003).
44. Türkeş, M., “Küresel ısınma: yeni rekorlara doğru”, *Cumhuriyet Bilim Teknik Dergisi*, 673: 20-21 (2000).
45. Altan, T., Atmaca, M., Aktoklu, E., Kaplan, K., Atik, M., Artar, M., Güzelmansur, A., Çinçinoğlu, A., and Büyükaşık, Y., “Seyhan Havzası bitki örtüsünün floristik ve vejetasyon açısından araştırılması”, *ICCAP Projesi Türk Grubu Sonuç Raporları*, 43-64 (2007).
46. Rosenzweig, C., and Hillel, D., “Climate change and the global harvest”, *Oxford University Press*, UK, 32-50 (1998).
47. Kimball, B. A., Pinter, P. J. Jr, Garcia, R. L., Lamorte, R. L., Wall, G. W., Hunsaker, D. J., Wechsung, G., Wechsung, F., and Kartschall, T., “Productivity and water use of wheat under free-air CO₂ enrichment”, *Global Change Biol*, 429-442 (1995).

48. Chaudhuri, U. N., Kirkham, M. B., and Kanemasu, E. T., "Root growth of winter wheat under elevated carbon dioxide and drought", *Crop Science*, 30: 853-857 (1990).
49. Mitchell, R. A. C., Mitchell, V. J., Driscoll, S. P., Franklin, J., and Lawlor, D. W., "Effects of increased CO₂ concentration and temperature on growth and yield of winter wheat at two levels of nitrogen application", *Plant Cell Environment*, 16: 521-529 (1993).
50. Sionit, N., Mortensen, D. A., Strain, B. R., and Hellmers, H., "Growth response of wheat to CO₂ enrichment and different levels of mineral nutrition", *European Journal Agron*, 73: 1023-1027 (1981).
51. Tubiello, F. N., Donatelli, M., Rosenzweig, C., and Stockle, C. O., "Effects of climate change and elevated CO₂ on Italian cropping systems Eur", *European Journal Agron*, 13: 179-189 (2000).
52. Long, S. P., "Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO₂ concentrations: Has its importance been underestimated?", *Plant Cell Env*, 729-739 (1991).
53. Rosenzweig, C., and Tubiello, F. N., "Impacts of future climate change on Mediterranean agriculture: Current methodologies and future directions", *Strategies Climate Change I*, 219-232 (1997).
54. IPCC., "Climate Change 2001: The scientific basic contribution of Working Group I to the third assessment report of The Intergovernmental Panel on climate change", *Cambridge University Press*, Cambridge (2001).
55. İnternet: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü "Türkiye İklim Değişikliği Birinci Ulusal Bildirimi", <http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/ulusalbildirimtr.pdf>, 135 (2007).
56. Alpert, P., Krichak, S. O., Shafir, H., Haim, D., and Osetinsky, I., "Climatic trends to extremes employing regional modeling and statistical interpretation over The E. Mediterranean", *Global And Planetary Change*, 163-170 (2008).
57. Beniston, M., Stephenson, D. B., Christensen, O. B., Ferro, C. A. T., Frei C., Goyette, S., Halsnaes, K., Holt, T., Jylhä, K., Koffi, B., Palutikof, J., Schöl, R., Semmler, T., and Woth, K., "Future extreme events in European climate: An exploration of regional climate model projections", *Climatic Change*, 81: 71-95 (2007).
58. Demir, İ., Kılıç, G., and Coşkun, M. "PRECIS bölgesel iklim modeli ile Türkiye için iklim öngörülleri: HadAMP3 SRES A2 Senaryosu", *IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, İstanbul, 365-373 (2008).

59. Demir, İ., Kılıç, G., ve Coşkun, M. “Türkiye ve bölgesi için PRECIS bölgesel iklim modeli çalışmaları”, *İklim Değişikliği Ve Çevre, Su Vakfı*, 1: 21-31 (2008).
60. Demir, İ., Kılıç, G., ve Coşkun, M., “Türkiye ve bölgesi için PRECIS bölgesel iklim modeli çalışmaları”, *I. Türkiye İklim Değişikliği Kongresi*, İstanbul, 252-261 (2007).
61. Gao X., Pal, J. S., and Giorgi, F., “Projected changes In mean and extreme precipitation over The Mediterranean Region from a high resolution double nested RCM simulation”, *Geophysical Reserch Letters*, 33: 2-4 (2006).
62. Giorgi, F., Bi, X. and Pal, J. S., “Mean, interannual variability and trends in A regional climate change experiment over Europe. Part II: Future climate scenarios (2071-2100)”, *Climate. Dynamics*, 839-858 (2004).
63. Giorgi, F., Bi, X., and Pal, J. S., “Mean, interannual variability and trends in a regional climate change experiment over Europe. Part I: Present day climate (1961–1990)”, *Climate. Dynamics*, 733-756 (2004).
64. ICCAP., “The final report of ICCAP Project. The research project on the impact of climate changes on agricultural production system in arid areas (ICCAP).”; *The Scientific And Technological Research Council Of Turkey*, 343 (2007).
65. ICCAP., “The final report of ICCAP Project. The research project on the impact of climate changes on agricultural production system in arid areas (ICCAP). Research Institute For Humanity and Nature (RIHN)”; *The Scientific And Technological Research Council Of Turkey (TÜBİTAK)*, 188 (2007).
66. Krichak, S. O., Alpert, P., Bassat K. and Kunin, P., “The surface climatology of the Eastern Mediterranean Region obtained in a three- member ensemble climate change simulation experiment”, *Advances Geosciences*, 12: 67-80 (2007).
67. ÖnoI, B., “Dynamic downscaling”, Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 54-72 (2004).
68. ÖnoI, B., and Semazzi F., “Regionalization of climate change simulations over Eastern Mediterranean”, *Journal Of Climate*, 4-6 (2008).
69. ÖnoI, B., Unal, Y. S., and Kahraman, A., “Sensitivity analysis of regional climate model (RegCM3) over Turkey”. *Geophysical Research Abstracts*, 10 (2008).
70. Raisanen, J. U., Hansson, A. Ullerstig, R. Doascher, L. P. Graham, C., Jones, H. E. M., Meier, P., and Samuelsson, U. W., “European climate in the late

- twenty-first century: Regional simulations with two driving global models and two forcing scenarios”, *Climate Dynamics*, 22: 13-31 (2004).
71. Tatlı, H. ve Türkeş, M., “Türkiye’deki 2006/2007 kuraklığı ile geniş ölçekli atmosferik değişkenler arasındaki bağlantının lojistik regresyonla belirlenmesi”, *IV. Atmosfer Bilimleri Sempozyumu*, 516-527 (2008).
 72. Tatlı, H., “Statistical downscaling methods for general circulation model simulations: Case studies over Turkey”, Doktora Tezi, *İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul, 53-86 (2004).
 73. Tatlı, H., Dalfes H. N., and Menteş Ş. S., “A statistical downscaling method for monthly total precipitation over Turkey”. *International Journal Of Climatology*, 24: 161-180 (2004).
 74. Tatlı, H., Dalfes, H. N., and Menteş, Ş. S., “Near-surface air temperature variability over Turkey and its connection to the large- scale upper air circulations via multivariate techniques”, *International Journal Of Climatology*, 89 (2004).
 75. Gao, X. J., and Giorgi, F., “Increased aridity in the mediterranean region under greenhouse gas forcing estimated from high resolution regional climate model projections”, *Global And Planetary Change*, 196-201 (2007).
 76. IPCC., “The science of climate change, The Intergovernmental Panel on climate change”, *Cambridge University Press*, New York (1996).
 77. IPCC, “Climate change 2001 impacts, adaptation and vulnerability- contribution of working group II to the third assessment report of The Intergovernmental Panel on climate change”, *Cambridge University Press*, Cambridge (2001).
 78. Giorgi, F., and Mearns, L.O., “Introduction to special section: Regional climate modeling revisited”, *Jornal of Geophysical Resech-Atmosphere*, 104: 6335-6352 (1999).
 79. Small, E.E., Giorgi, F. and Sloan, L.C., “Regional climate model simulation of precipitation in Central Asia: Mean and interannual variability”, *Jornal of Geophysical Resech-Atmosphere*, 140 (1999).
 80. Takle E. S., Gutowski W. J., Arritt R. W., Pan, Z., Anderson C. J., Da Silva, R. R., Caya, D., Chen, S.C., Giorgi, F., Christensen, J. H., Hong, S.Y., Juang, H. M. H, Katzfey, J., Lapenta, W. M., Laprise, R., Liston, G. E., Lopez, P., Mcgregor, J., Pielke, R. A. and Pielke Sr. R. A., “Project to intercompare regional climate simulations (PIRCS)”, *Jornal of Geophysical Research*, 19443-19447 (1999).

81. Öno1 B., "Türkiye ve civarı ikliminin bölgesel bir iklim modeliyle simülasyonu: Yüzeý koşullarına duyarlılık", Yüksek Lisans Tezi, **İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü**, İstanbul, 46-53 (2001).
82. Pal J. S., F. Giorgi, Bi X., Elguindi N., Solmon F., Gao X., Rauscher S. A., Francisco R., Zakey A., Winter J., Ashfaq M., Syed F. S., Bell J. L., Difenbaugh N. S., Karmacharya J., Konare A., Martinez D., Rocha R. P., Sloan L. C., and Steiner, A., "Regional climate modeling for the developing world: The ICTP RegCM3 and regcnet bull", **American Meteorological Society**, 395-409 (2007).
83. İnternet: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, "Türkiye İklimi", http://www.mgm.gov.tr/FILES/iklim/turkiye_iklimi.pdf (2011).
84. İnternet: Relient Earth Web Site, "Why Climate Modeling Is Not Climate Science | The Resilient Earth" <http://www.theresilientearth.com/?q=content/why-climate-modeling-not-climate-science> (2011).
85. Şen, B., "Bölgesel iklim modelleri kullanılarak Çukurova Yöresi'nde iklim değişikliğinin 1.ve 2. ürün mısır verimine olası etkilerinin belirlenmesi", Doktora Tezi, **Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü**, Adana, 13-25, 42-77 (2009).
86. İnternet: T.C. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü, "Bölgesel İklim Modelleri" <http://www.mgm.gov.tr/files/kurumsal/ekitap/4mevsim7/23iklimmodelleri.pdf> (2011).
87. İnternet: National Oceanic and Atmospheric Administration "Climate Modeling" http://www.gfdl.noaa.gov/cms-filesystem-action/model_development/climate_modeling.pdf (2011).
88. İnternet: T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Devlet Meteoroloji Genel Müdürlüğü, "Sayısal Hava Tahmini" <http://www.mgm.gov.tr/FILES/genel/sss/sayisalnedir.pdf> (2011).
89. Henderson-Sellers, A. and Mcguffie, K., "A climate modelling primer", **John Wiley & Sons, Inc.**, 49-58 (1987).
90. Dickinson, R. E., Errico, R.M., Giorgi, F., and Bates, G. T., "A regional climate model for The Western United States", **Climate Change**, 383-422 (1989).
91. Giorgi, F., "Simulation of regional climate using a limited area model nested in a general circulation model", **Journal Of Climate**, 941-964 (1990).
92. Giorgi, F., Marinucci, M. R. and Bates, G. T., "Development of a second generation Regional Climate Model (RegCM2), boundary layer and radiative transfer processes", **Monthly. Weather Review**, 121: 2794-2813 (1993).

93. Hostetler, S. W., Giorgi, F., Bates, G. T., and Bartlein, P.J., "the role of lake atmosphere feedbacks in Sustaining Paleolakes Bonneville and Lahontan 18,000 years ago", *Science*, 263: 665-668 (1994).
94. PRECIS, "The hadley centre regional climate modelling system Precis (Providing Regional Climates For Impacts Studies) brochure", *The Conference Of The Parties To The Unfcc (Cop7)*, Marrakech (2001).
95. Qian, Y. and Giorgi, F., "Interactive coupling of regional climate and sulfate aerosol models over Eastern Asia", *Jornal of Geophysical Research.*, 140 (1999).
96. Lynch, A. H., Chapman, W. L., Walsh, J. E., and Weller, G., "Development of a regional climate model of the Western Arctic", *Jornal of Climate*, 1555-1570 (1995).
97. Hostetler, S. W., Bates, G. T., and Giorgi, F., "Interactive nesting of a lake thermal model within a regional climate model for climate change studies", *Jornal of Geophysical Research*, 98, 5045-5057 (1993).
98. Giorgi, F., and Shields, C., "Tests of precipitation parametrizations available in latest version of NCAR Regional Climate Model (RegCM) over Continental United States", *Jornal of Geophysical Research*, 6353-6375 (1999).
99. Qian, Y., Giorgi, F. and Fox, R. M., "Regional stretched grid generation and its application to the NCAR RegCM", *Jornal of Geophysical Research*, 140 (1999).
100. Giorgi F., Mearns O. L., Shields C., and Mayer L., "A regional model study of the importance of local versus remote controls of the 1988 drought and the 1993 flood over The Central United States", *Jornal of Climate*, 1150-1162 (1996).
101. Internet: The World Meteorological Organization (WMO) "Regionalization Of Climate Change Information For Impact Assessment And Adaptation" http://www.wmo.int/wcc3/bulletin/57_2_en/giorgi_en.html (2011).
102. Asvija, B., Shamjith, K. V., Sridharan R. and Chattopadhyay, S., "Provisioning the MM5 meteorological model as grid scientific workflow", *2010 International Conference on Intelligent Networking and Collaborative Systems*, 310-314 (2010).
103. Internet: MM5 Community Model Homepage, "Introduction To MM5 Modeling System", <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/documents/tutorial-v3-notes-pdf/intro.pdf> (2011).
104. Internet: Website of The ALADIN, "High Resolution Numerical Weather Prediction Project Homepage ALADIN" <http://www.cnrm.meteo.fr/aladin/> (2011).

105. İnternet: NICCD Website, "PRECIS: Regional Climate Modelling For Adaptation And Devolopment Planning", http://www.niccd.org/sites/default/files/NICCD_Strategy_Case_Study_PRECIS.pdf (2010).
106. Demir, İ., Kılıç, G., Alan, İ., Tüvan, A. ve Demirbaş, H., "Bölgesel iklim modeli projeksiyonları ve önemi", *Uluslararası Katılımlı I. Meteoroloji Sempozyumu* 196-205 (2010).
107. Grell, G. A., Dudhia, J. and Stauffre, D. R., "Description of the fifth generation Penn State/NCAR Mesoscale Model (MM5)", *NCAR Technical Note*, 121 (1994).
108. Haltiner, G. J. and Williams, R. T., "Numerical prediction and dynamic meteorology", *John Wiley & Sons, Inc.*, 98-120 (1980).
109. Taştan, F., "Grid bazındaki verilerin enterpolasyonu ve verifikasyonu". *TC. Başbakanlık Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Araştırma ve Bilgi İşlem Dairesi Başkanlığı Araştırma Şube Müdürlüğü*, 75-77 (1998).
110. Soycan, A., ve Soycan M., "Yol projelerinde sayısal arazi modellerinin kullanılması", *Selçuk Üniversitesi Jeodezi Ve Fotogrametri Mühendisliği Öğretiminde 30. Yıl Sempozyumu*, 495-499 (2002).
111. You J., Hubbard, G. K, and Goddard, S., "Comparison of air temperature estimates from spatial regression and Inverse Distance Method", *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 7453-7455 (2004).
112. Isam S. M, Hakan B., Pettersson L., Sivertun A. and Lund E., "Spatial correlation between radon (²²²Rn) in groundwater and bedrock uranium (²³⁸U): GIS And Geostatistical Analyses", *Journal Of Spatial Hydrology*, 2: 2 (2002).
113. Erol B., and Çelik R. N., "Modelling local Gps/Levelling geoid with the assessment of inverse distance weighting and geostatistical Kriging Methods", *Xth Isprs Congress*, 1-4 (2004).
114. Yang C. S., Kao S. P., Lee F. B., and Hung, P. S., "Twelve different interpolation methods: A case study of surfer 8.0", *Xth Isprs Congress*, 3-5 (2004).
115. Fencik R., and Vajsablova M., "Parameters of interpolation methods of creation of digital model of landscape" *9th AGILE Conference On Geographic Information Science*, 374-380 (2006).
116. Türkeş, M., Sümer U. M., and Kılıç G., "Persistence and periodicity in the precipitation series of Turkey and associations with 500 Hpa geopotential heights", *Climate Research* 21: 59-81 (2002).

117. İnternet: ECMWF Website“Verification of ECMWF products in member states and co-operating states report 2005”, <http://www.ecmwf.int/sites/default/files/elibrary/2006/9218-application-and-verification-ecmwf-products-member-states-and-co-operating-states.pdf>, 1144-1149 (2005).
118. Sanders, H. D., “Statistics: A First Course, 5th edition”, *Mc Graw-Hill*, 145-147 (1995).
119. Gregory D., and Morris D., “The sensitivity of climate simulations to the specification of mixed phase clouds”, *Climate Dynamics*, 12: 641–651 (1996).
120. Smith, R. N. B., “A scheme for predicting layer clouds and their water content in a general circulation model”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 116: 435-460 (1990).
121. Smith, R. N. B., “Experience and developments with the layer cloud and boundary layer mixing schemes in the UK meteorological office unified model. In: Proc ECMWF/GCSS workshop on parametrization of the cloud-topped boundary layer”, *ECMWF*, 319-350 (1993).
122. Pope, V. D., Gallani, M. L., Rowntree, P. R., and Stratton, R. A., “The impact of new physical parametrisations in the Hadley Centre Climate Model”, *Climate Dynamics*, 16: 123-146 (2000).
123. Edwards J. M., and Slingo A., “Studies with a flexible new radiation code. I: Choosing a configuration for a large scale model”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 122: 689-719 (1996).
124. Cusack, S., Edwards, J. M., and Crowther, J. M., “Investigating KDistribution methods for parametrizing gaseous absorption in the Hadley Centre Climate Model”, *Jornal of Geophysical Research*, 104: 2051-2057 (1999).
125. Giorgi, F. B. X. and Pal, J. S., “Mean, interannual variability and trends in a regional cimате change experiment over Europe. Part II: Future climate scenarios (2071-2100)”, *Climate Dynamics*, 23: 839-858 (2004).
126. İnternet: UNİDATA Website, “NetCDF”, <http://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/docs/> (2014).
127. Sonuç, E., “RegCM4 bölgesel iklim modeli verilerinin verifikasyonu”, Yüksek lisans Tezi, *Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Karabük, 43-60 (2012).
128. Murphy, A. H., "What is a good forecast? An essay on the nature of goodness in weather forecasting", *Weather and Forecasting*, 2: 281-293 (1993).
129. Sonuç, E., Şen, B., and Şen, B., "Verifying regional climate model results with web-based expert-system", *1st World Conference On Innovation and Computer Sciences*, 3-6 (2011).

130. Şen, B., Kılınç, R., Şen, B., and Sonuç, E., “Validation of a daily precipitation estimates of the regional climate model RegCM4 over the domains in Turkey with NWP verification techniques”, *Parlar Scientific Publications*, 4-7 (2014).
131. Şen, B., Kılınç, R., Şen, B., and Sonuç, E., “Niğde yöresi için RegCM4 modeli yağış verifikasyonu” *İç Anadolu Bölgesi 1. Tarım Ve Gıda Kongresi*, 3-8 (2013).
132. Şen, B., Şen, B., Sonuç, E., Topçu, S., Krichak, S.O., and Kılınç, R., “Assessing the capturing capacity of RegCM4 for the precipitation over Med-CORDEX using boundary data with higher resolution and improved accuracy” *Sixth ICTP Workshop on the Theory and Use of Regional Climate Models*, 4-8 (2012).

ÖZGEÇMİŞ

Recep KILINÇ 1966 yılında Kocaeli’de doğdu; ilk ve orta öğrenimini aynı şehirde tamamladı. İzmit Endüstri Meslek Lisesi Elektronik Bölümü’nden mezun oldu. 1985 yılında Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü’nde öğrenime başlayıp 1989 yılında mezun oldu. 1990 yılında Ondokuz Mayıs Üniversitesi Amasya Meslek Yüksekokulunda Öğretim görevlisi olarak göreve başladı. Aynı yıl Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Bilgisayar Eğitimi Bölümü’nde başladığı yüksek lisans programını, 1997 yılında tamamladı. 2009 yılında Karabük Üniversitesi’nde Bilgi İşlem Daire Başkanı olarak göreve başladı ve halen aynı yerde göreve devam etmektedir.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi
Demirçelik Kampüsü
Bilgi İşlem Daire Başkanlığı
KARABÜK

Tel : (370) 433 4018

E-posta : recepkilinc@karabuk.edu.tr