

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ AVRASYA YER BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İSTANBUL'DAKİ ŞEHİRLEŞMENİN KAR YAĞIŞINA ETKİSİ



YÜKSEK LİSANS TEZİ

Simla İŞLER

İklim ve Deniz Bilimleri Anabilim Dalı

Yer Sistem Bilimi Programı

ARALIK 2019

İSTANBUL'DAKİ ŞEHİRLEŞMENİN KAR YAĞIŞINA ETKİSİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Simla İŞLER
(601181011)**

İklim ve Deniz Bilimleri Anabilim Dalı

Yer Sistem Bilimi Programı

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ömer Lütfi ŞEN

ARALIK 2019

İTÜ, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü'nün 601181011 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Simla İŞLER, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “İSTANBUL'DAKİ ŞEHİRLEŞMENİN KAR YAĞIŞINA ETKİSİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Prof. Dr. Ömer Lütfi ŞEN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Ömer Lütfi ŞEN**

İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. İsmail GÜLTEPE

Ontario Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Şükran Sibel MENTEŞ

İstanbul Teknik Üniversitesi

Teslim Tarihi : 15 Kasım 2019
Savunma Tarihi : 12 Aralık 2019





Dedeme ve Aileme,



ÖNSÖZ

Eski zamanları anlatan hikaye ve romanlarda, İstanbul sokaklarında günlerce lapa lapa kar yağdığı, kışın sert ve karlı geçtiği anlatılır. Dedemden İstanbul Boğazı'na buzların geldiğini, babamdan saçaklarda aylarca buz sarkıtlarının durduğunu, 1987 kışındaki kar felaketinde 15 gün işyerinde mahsur kaldığını dinlemişimdir. Yaşım o kadar büyük olmasa da çocukluğumda ve ergenlik yıllarımda daha sık ve yoğun kar yağdığını, bir ay boyunca evimizin çevresinden karın kalkmadığını bilirim.

Son yıllarda doğanın beyaz örtüsünü artık göremiyoruz. Bu iklimsel değişikliğin, İstanbul ve çevresindeki bitki örtüsünün azalması, sanayileşme, nüfus artışı ve betonlaşmanın artması ile paralel geliştiğine hepimiz şahidiz. Yapılacak tespitlerde bu durumun da incelenmesi gerekmektedir.

"Dünyada her şey için, medeniyet için, hayat için, başarı için, en hakiki mürşit bilimdir, fendir." Ulu Önder Mustafa Kemal Atatürk'ün bu sözünü kendime her zaman ilke edinmiş, bu bağlamda okuyup, araştırıp, ilerlemeyi kendime borç bilmişimdir. Bu sebeple tezimi, şehirleşme gibi günümüzün en büyük sorunlarından birine ışık tutabilecek bir konu da yapmayı tercih ettim.

Öncelikle eğitim öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi olarak her koşulda bana destek veren aileme, tezimin hazırlanma aşamasında bilgi ve tecrübelerini bana aktaran ve tezime büyük katkıda bulunan Dr. Yasemin EZBER'e, bitirme danışmanım olarak çalışmalarında yol göstericilik yapan Prof. Dr. Ömer Lütfi ŞEN'e, yol göstericiliği, deneyimlerini bana aktarması ve bilgi birikimi ile tezime katkıda bulunan Prof. Dr. İsmail GÜLTEPE'ye, akademik eğitimim boyunca her türlü konuda desteğini, varlığını, bilgi ve tecrübelerini esirgemedi bana her koşulda destek olan yol arkadaşım Yük. Met. Müh. Onur DURMUŞ'a, bilgi birikimi ile her türlü yardımı esirgemeyen Emir TOKER'e, tecrübeleri ile beni aydınlatan Selvi ERİM DURMUŞ'a ve manevi desteğini esirgemeyip her zaman yanımda olan Ece YAVUZSOY'a teşekkürlerimi bir borç bilirim.

Aralık 2019

Simla İŞLER
Araştırma Görevlisi



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	vii
İÇİNDEKİLER	ix
KISALTMALAR	xi
SEMBOLLER	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ŞEKİL LİSTESİ	xvii
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
1.1 Tezin Amacı	5
1.2 Literatür Araştırması	5
1.3 Çalışma Alanı ve Özellikleri	11
2. VERİ VE METOD	15
2.1 Veri	15
2.1.1 Gözlem verileri	15
2.1.2 CORINE altlıkları	19
2.1.3 ERA5 verileri	21
2.2 WRF Modeli	23
2.2.1 Model çalışma alanı ve fizik şeması	24
3. ANALİZLER	27
3.1 Model Tutarlılık Analizi	28
3.2 18.01.2000 – 26.01.2000 Kar Yağışı	33
3.2.1 Sinoptik Analiz	33
3.2.2 Şehirleşme Analizi	38
3.3 22.01.2004 – 24.01.2004 Tarihli Kar Yağışı	50
3.3.1 Sinoptik analiz	50
3.3.2 Şehirleşme analizi	53
3.4 26.01.2012 – 02.02.2012 Tarihli Kar Yağışı	62
3.4.1 Sinoptik analiz	63
3.4.2 Şehirleşme analizi	67
4. SONUÇLAR	79
KAYNAKLAR	83
ÖZGEÇMİŞ	87

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
AFWA	: Hava Kuvvetleri Hava Ajansı
ARCGIS	: Ölçeklendirilebilir Entegre Coğrafi Bilgi Sistemi Yazılımı
ARW	: Gelişmiş Araştırma WRF
CAM	: Topluluk Atmosferi Modeli
CCSM	: Topluluk İklim Sistemi Modeli
CLC	: Corine Arazi Örtüsü
CM	: Santimetre
CORINE	: Çevresel Bilgilerin Koordinasyonu Projesi
DTC	: Gelişimsel Testbed Merkezi
ECMWF	: Avrupa Orta Aralıklı Hava Tahmin Merkezi
EEA	: Avrupa Çevre Ajansı
EMC	: Çevresel Modelleme Merkezi
EPA	: Çevreyi Koruma Ajansı
ERA	: Kazanılan Koşu Ortalaması
ESA	: Avrupa Uzay Ajansı
FAA	: Federal Havacılık İdaresi
GMES	: Global Monitoring for Environment and Security
IRS	: İç Gelir Servisi
Mb	: Milibar
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
M	: Metre
MM	: Milimetre
MMM	: Mezokala ve Mikroskala Meteoroloji
MSS	: Çok Gözlü Tarayıcı Sistemi
NCAR	: Ulusal Atmosferik Araştırma Merkezi
NCEP	: Ulusal Çevresel Tahmin Merkezleri
NMM	: Hidrostatik Olmayan Mezo Ölçek Modeli
NWP	: Sayısal Hava Tahmini
PBL	: Atmosferik Sınır Tabaka

RRTM	: Hızlı Radyasyon Transfer Modeli
TM	: Tematik Eşleştirici
TÜİK	: Türkiye İstatistik Kurumu
UCAR	: Atmosferik Araştırma Üniversitesi
UTC	: Eşgüdümlü Evrensel Zaman
WMO	: Dünya Meteoroloji Örgütü
WPS	: WRF Ön İşleme Sistemi
WRF	: Hava Durumu Araştırması ve Tahmini
YSU	: Yonsei Üniversitesi



SEMBOLLER

C	: Santigrat
°	: Derece
m²	: Metrekare
km²	: Kilometrekare





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 1.1 : Türkiye istatistik kurumu kilometrekareye düşen kişi sayısı (TÜİK, 2018).....	4
Çizelge 2.1 : Yıllara göre günlük yağmurlu, kar yağışlı, donlu günler sayısı olan yılların veri mevcudiyeti.....	16
Çizelge 2.2 : Aylık maximum yağış miktarı ve tarihi (ustte), aylık maksimum kar yüksekliği ve tarihi (altta) olan yılların veri mevcudiyeti	17
Çizelge 2.3 : Veri açıklaması (ECMWF).....	22
Çizelge 2.4 : Parameterizasyonlar.....	26



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 1.1	: Türkiye sayısal arazi modeli (Yalçın ve diğ, 2005).	2
Şekil 1.2	: İstanbul ili (Google Earth, 2019).	12
Şekil 2.1	: Seçilen istasyonların kar yağışlı gün sayısı grafiği.	18
Şekil 2.2	: CORINE arazi örtüsü istanbul bölgesi yıllara göre değişimi (CORINE, 2019).	20
Şekil 2.3	: CORINE arazi örtüsü 1990-2000, 2000-2006, 2006-2012 yılları için şehir örtüsü fark haritaları (CORINE, 2019).	21
Şekil 2.4	: Çalışma alanı nestleri.	25
Şekil 3.1	: Zaman serilerinde kullanılmak üzere seçilen noktalar.	28
Şekil 3.2	: 2000 yılı model ve gözlem verileri karşılaştırması.	30
Şekil 3.3	: 2004 yılı model ve gözlem verileri karşılaştırılması.	31
Şekil 3.4	: 2012 yılı model ve gözlem verileri karşılaştırması.	32
Şekil 3.5	: 18 Ocak 2000-00 UTC (sol üstte), 20 Ocak 2000-00 UTC (sağ üstte), 21 Ocak 2000-00 UTC (sol altta), 24 Ocak 2000-00 UTC (sağ altta) tarihli yer kartları.	33
Şekil 3.6	: 18.01.2000 03 UTC gözlem haritaları, 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem 01 UTC (üste ortada), 700 mb nem (üstte sağda) 18.01.2000 03 UTC model haritaları, 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700 mb nem (altta sağda).	34
Şekil 3.7	: 24.01.2000 06 UTC gözlem haritaları, 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda) 24.01.2000 06 UTC model haritaları, 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700 mb nem (altta sağda).	35
Şekil 3.8	: 25.01.2000 15 UTC gözlem haritaları, 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem-18 UTC (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda), 25.01.2000 15 UTC model haritaları, 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700 mb nem (altta sağda).	36
Şekil 3.9	: 24.01.2000 00 UTC (üstte solda) - 25.01.2000 12 UTC (üstte sağda) gözlem Skew-T diyagramları, 24.01.2000 00 UTC (altta solda) - 25.01.2000 12 UTC (altta sağda) model Skew-T diyagramları.	37
Şekil 3.10	: 18.01.2000 03 UTC'ye ait gerçek altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda) 18.01.2000 03 UTC'ye ait düzenlenmiş altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700mb nem (altta sağda).	38
Şekil 3.11	: 24.01.2000 06 UTC'ye ait gerçek altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700mb nem (üstta sağda) 24.01.2000 06 UTC'ye ait düzenlenmiş altlık ile hazırlanan haritalar 2m	

sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700mb nem (altta sağda).	39
Şekil 3.12 : 25.01.2000 15 UTC'ye ait gerçek altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700mb nem (üstte sağda), 25.01.2000 15 UTC'ye ait düzenlenmiş altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700mb nem (altta sağda).	40
Şekil 3.13 : 24.01.2000 00 UTC'ya ait gerçek altlık ile hazırlanan Skew-T diyagramı (üstte solda), düzenlenmiş altlık ile hazırlanan Skew-T diyagramı (üstte sağda) - 25.01.2000 12 UTC'ye ait gerçek altlık ile hazırlanan Skew-T diyagramı (altta solda), düzenlenmiş altlık ile hazırlanan Skew-T diyagramı (altta sağda).	41
Şekil 3.14 : 2000 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehir-şehir noktaları sıcaklık zaman serileri.	42
Şekil 3.15 : 2000 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehirleşmemiş-şehirleşmiş noktaları sıcaklık zaman serileri.	43
Şekil 3.16 : 2000 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehir-şehir noktaları kar su eşleniği zaman serileri.	44
Şekil 3.17 : 2000 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehirleşmemiş-şehirleşmiş noktaları kar su eşleniği zaman serileri.	45
Şekil 3.18 : 2000 yılı 18.01.2000-00 UTC (üstte solda), 19.01.2000-00 UTC (üstte sağda), 21.01.2000-00 UTC (ortada solda), 23.01.2000-00 UTC (ortada sağda), 24.01.2000-00 UTC (altta solda), 25.01.2000-00 UTC (altta sağda) sıcaklık fark haritaları.	47
Şekil 3.19 : 2000 yılı 18.01.2000-00 UTC (üstte solda), 19.01.2000-00 UTC (üstte sağda), 21.01.2000-00 UTC (ortada solda), 23.01.2000-00 UTC (ortada sağda), 24.01.2000-00 UTC (altta solda), 25.01.2000-00 UTC (altta sağda) karla kaplı alan fark haritaları.	48
Şekil 3.20 : 25.01.2000 fiziksel kar kalınlığı fark haritası.	49
Şekil 3.21 : 25.01.2000 kar su eşleniği haritası fark haritası	49
Şekil 3.22 : 22 Ocak 2004 (solda) 00 UTC, 23 Ocak 2004(sağda) 00 UTC yer kartları.	50
Şekil 3.23 : 22.01.2004 12 UTC'ye ait gözlem Skew-T diyagramı (solda), model Skew-T diyagramı (sağda).	51
Şekil 3.24 : 22.01.2004 00 UTC' gözlem haritaları, 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda) 22.01.2004 00 UTC model haritaları, 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700 mb nem (altta sağda).	52
Şekil 3.25 : 22.01.2004 00 UTC'ye ait gerçek altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda), 22.01.2004 03 UTC'ye ait düzenlenmiş altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700mb nem (altta sağda).	53
Şekil 3.26 : 22.01.2004 12 UTC'ye ait Skew-T diyagramı gerçek altlık (solda), 22.01.2004 12 UTC'ye ait düzenlenmiş altlık (sağda).	54

Şekil 3.27 : 2004 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehir-şehir noktaları sıcaklık zaman serileri.	55
Şekil 3.28 : 2004 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehirleşmemiş-şehirleşmiş noktalar sıcaklık zaman serileri.....	56
Şekil 3.29 : 2004 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehir-şehir noktaları kar su eşleniği zaman serileri.....	57
Şekil 3.30 : 2004 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehirleşmemiş-şehirleşmiş noktalar kar su eşleniği zaman serileri.	58
Şekil 3.31 : 2004 yılı 22.01.2004-00 UTC (üstte solda), 22.01.2004-12 UTC (üstte sağda), 23.01.2004-00 UTC (ortada solda), 23.01.2004-12 UTC (ortada sağda), 24.01.2004 00 UTC (altta) sıcaklık fark haritaları.	59
Şekil 3.32 : 2004 yılı 22.01.2004-00 UTC (üstte solda), 22.01.2004-12 UTC (üstte sağda), 23.01.2004-00 UTC (ortada solda), 23.01.2004-12 UTC (ortada sağda), 24.01.2004 00 UTC (altta) karla kaplı alan fark haritaları.	61
Şekil 3.33 : 24.01.2004 00 UTC fiziksel kar kalınlığı fark haritası.	62
Şekil 3.34 : 24.01.2004 00 UTC kar su eşleniği fark haritası.	62
Şekil 3.35 : 26 Ocak 2012-00 UTC ve 31 Ocak 2012-00 UTC tarihli yer kartları. ..	63
Şekil 3.36 : 26.01.2012 00 UTC (üstte solda), 26.01.2012 12 UTC (üstte ortada), 31.01.2012 00 UTC (üstte sağda) gözlem Skew-T diyagramı, 26.01.2012 00 UTC (altta solda), 26.01.2012 12 UTC (altta ortada), 31.01.2012 00 UTC (altta sağda) model Skew-T diyagramı.	64
Şekil 3.37 : 26.01.2012 00 UTC gözlem haritaları, 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda) 26.01.2012 00 UTC model haritaları, 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700 mb nem (altta sağda).	65
Şekil 3.38 : 31.01.2012 18 UTC gözlem haritaları, 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda) 31.01.2012 18 UTC model haritaları, 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700 mb nem (altta sağda).	66
Şekil 3.39 : 26.01.2012 00 UTC'ye ait gerçek altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda), 26.01.2012 00 UTC'ye ait düzenlenmiş altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700mb nem (altta sağda).	67
Şekil 3.40 : 31.01.2012 18 UTC'ye ait gerçek altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda), 31.01.2012 18 UTC' düzenlenmiş altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700mb nem (altta sağda).	68
Şekil 3.41 : Model ile hazırlanan Skew-T diyagramları; 26.01.2012 00 UTC gerçek altlık ile (üstte solda)-düzenlenmiş altlık ile (üstte sağda), 26.01.2012 12 UTC gerçek altlık ile (ortada solda)- düzenlenmiş altlık ile (ortada sağda), 31.01.2012 00 UTC gerçek altlık ile (altta solda)- düzenlenmiş altlık (altta sağda).	69

Şekil 3.42 : 2012 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehir-şehir noktaları sıcaklık zaman serileri.	70
Şekil 3.43 : 2012 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehirleşmemiş-şehirleşmiş noktaları sıcaklık zaman serileri.....	71
Şekil 3.44 : 2012 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehir-şehir noktaları kar su eşleniği zaman serileri.	72
Şekil 3.45 : 2012 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehirleşmemiş-şehirleşmiş noktaları kar su eşleniği zaman serileri.	73
Şekil 3.46 : 2012 yılı 26.01.2012 00 UTC (üstte solda) -27.01.2012 12 UTC (üstte sağda) -31.01.2012 00 UTC (altta) sıcaklık fark haritaları.	74
Şekil 3.47 : 2012 yılı 26.01.2012 00 UTC (üstte solda) - 27.01.2012 12 UTC (üstte sağda) - 02.02.2012 00 UTC (altta) karla kaplı alan fark haritaları.	75
Şekil 3.48 : 02.02.2012 00 UTC fiziksel kar kalınlığı fark haritası.	76
Şekil 3.49 : 02.02.2012 00 UTC kar su eşleniği fark haritası.....	77

İSTANBUL'DAKİ ŞEHİRLEŞMENİN KAR YAĞIŞINA ETKİSİ

ÖZET

Şehirleşme, özellikle gelişmekte olan ülkelerde, dünyaya hızla yayılan en önemli arazi kullanımını değişikliklerden biridir. Yakın gelecekte, dünyadaki insanların çoğunluğunun, bugüne kadar insan toplumunun çoğuna ev sahipliği yapan kırsal alanların aksine, kentsel ortamlarda yaşayacakları öngörülmektedir. Şehirleşme değiştirdiği atmosferik yapı nedeniyle hava tahmininde, yağışların cinsleri ve miktarında, ve ısı bütçesinin hesabında önemli rol oynar. Şehirleşme beraberinde bir takım sorunlar getirmektedir. Bunlardan en önemlisi şehirleşen bölgenin ikliminin değişmesidir.

Şehirleşen bölgelerde yeşil alanların ve buharlaşma yüzeylerinin azalması, asfalt yüzeylerin ve inşa edilen binaların artması sonucu meteorolojik parametreler değişmektedir. Örneğin yer tarafından soğurulan kısa dalga boylu radyasyon sonucu sıcaklıklar 30%'a kadar artabilmektedir. Bu değişim sonucunda şehirlerde, bölgesel iklim ve hava olayları değişikliği yaşanmaktadır. Kentsel alanlar ile çevresindeki yarı-kırsal ve kırsal alanlar arasındaki bu iklimsel farklılıklar, şehir ısı ada etkisi olarak adlandırılmaktadır.

Türkiye İstatistik Kurumu (TÜİK) verilerine göre, Türkiye'de şehirlerin nüfusu hızla artmaktadır. Bu durumun en büyük sebebi, artan sanayileşme ve kırsaldan kente olan göçlerdir. Türkiye'nin nüfus artışının en fazla olduğu ve en kalabalık kenti İstanbul'dur. TÜİK 2018 verileri incelendiğinde, İstanbul ilinde metrekareye düşen kişi sayısı 2900'dür. Bu sayı İstanbul ilini, diğer bölgelere nazaran en yoğun nüfus oranına sahip kent yapmaktadır. Nüfusun hızla artması, beraberinde şehirleşmeyi de getirmiştir. Şehirleşme sonucunda insan yaşamını dolaylı olarak etkileyen önemli iklim parametrelerinden biride yağıştır.

İstanbul'un etrafı Marmara Denizi ve Karadeniz ile çevrilidir. İstanbul'da meydana gelen kar yağışları, konumu ve meteorolojik koşullar sebebi ile genellikle denizden etkilenen kar yağışlarıdır. Deniz etkili kar yağışını tanımlayacak olursak; soğuk hava kütlelerinin sıcak deniz veya göl üzerinden geçmesi ile nemlilik kazanması sonucu yağışların normalden şiddetli olmasıdır. Bu durumun oluşabilmesi için belli bir takım koşulların sağlanması gerekmektedir. Bunlar, deniz suyu sıcaklığı ile yukarı atmosfer arasındaki kararsızlığın meydana gelmesi, yer ve bulut tepesi civarındaki rüzgarların yönlerinin çok değişmemesi ve son olarak nemli havanın minimum %80 oranında taşınabilmesidir.

Bu çalışmada, İstanbul'da 2000, 2004 ve 2012 yıllarında meydana gelen kar yağışı hadiseleri, Weather Research and Forecasting (WRF) modeli ile simüle edilmiştir. WRF modeli simüle edilirken, ERA 5 yeniden analiz verilerinin 1979'dan günümüze kadar olan basınç seviyeleri hakkındaki saatlik verileri ve 1979'dan günümüze kadar olan yüzey ve atmosfer katmanları için veri setleri kullanılmıştır. 2004 yılına ait hadise hariç diğer olay yıllarına ait Coordination of Information on the Environment

(CORINE) arazi örtüsü verileri model altlığı olarak kullanılmıştır. 2004 yılına ait CORINE arazi örtüsü altlığı bulunmaması sebebiyle, 2004 yılında gerçekleşen hadise yılına en yakın yıl olan 2006 yılına ait arazi örtüsü kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar, Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)'nden alınan gözlem verileri ile birlikte değerlendirilmiş ve model tutarlık analizi yapılmıştır. Şehirleşmenin kar yağışına olan etkilerini değerlendirmek adına, CORINE arazi örtüsü verileri ARCGIS programına aktarılmış, her bir hadise yılının şehir örtüsü, 1990 yılı baz alınarak azaltılmıştır. Seçilen şiddetli kar yağışı hadiseleri, hem kendi yılına ait arazi örtüsü ile hemde yeniden derlenen, şehir yapısının az olduğu arazi örtüsü ile simüle edilmiştir. Yapılan bu simülasyonlar ile şehir örtüsünün kar yağışına etkisi olup olmadığı incelenmiştir. Elde edilen sonuçlar, hem kendi aralarında hem de gözlem verileri ile karşılaştırılmıştır.

Model tutarlılığını doğrulamak adına, Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan saatlik sıcaklık verileri ile WRF modelinden elde edilen sıcaklık verileri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda, model ve gözlem verilerinin maksimum mutlak farkı 2°C civarında olup birkaç derecelik farklılıklar haricinde tutarlı sonuçlar gösterdiği görülmüştür. Bu durum, modelin gözlem verileri ile tutarlı olduğunu ve modelde kullanılan parameterizasyonların doğru seçildiğini göstermektedir.

İstanbul'daki şehirleşmenin kar yağışına etkisi konulu çalışmanın analizleri yapılırken, öncelikli olarak WRF modeli kullanılarak, şehirleşmenin olduğu ve şehir örtüsünün azaltıldığı her iki altlık için oluşturulan sinoptik haritalar incelenmiştir. İncelemeler sonucunda, sinoptik haritalarda gözle görülebilir bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak, her iki altlık kullanılarak Skew-T diyagramları çizdirilmiştir. Skew-T diyagramlarında da, sinoptik haritalar da olduğu gibi çok büyük farklılıklar görülmemiştir. Genel olarak benzer grafikler elde edilmiştir.

Şehirleşme analizi sonucunda, şehir örtüsü olan yerlerin, şehirleşmemiş yerlere ait yüzey sıcaklıklarına göre birkaç derece daha fazla sıcaklık değerine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Sıcaklığın daha yüksek olması, kar su eşleniği değeri, fiziksel kar kalınlığı ve karla kapla alan değerinin şehirleşmenin olduğu duruma kıyasla daha düşük olmasına sebebiyet vermiştir. Yapılan simülasyonlar da bu bağlamda tutarlı sonuçlar vermiştir. Sonuç olarak, şehirleşme kar yağışını olumsuz yönde etkilemektedir; ancak şehirleşmenin toplam yağışa etkisinin daha detaylı incelenmesi gerekmektedir.

THE IMPACT OF URBANIZATION IN ISTANBUL ON SNOWFALL

SUMMARY

Urbanization affects local atmosphere physically and dynamically, as well as biologically. For example, it results in increasing heat, modified wind flow, and more pollution. This is seen more often in developing as well as well developed countries. Urbanization effect on ecosystem in the future will be seen more often; therefore, its impact needs to be studied in more details.

The meteorological parameters such as temperature change as a result of reduced green areas and evaporation surfaces, and increased asphalt surfaces and number of buildings. Temperature, vapor mixing ratio, and wind speed usually increase with urbanization factor. Compared to rural areas, temperature in cities shows a significant increase due to several reasons such as decrease of albedo (increased absorption) and increase evapotranspiration and anthropogenic pollution. Therefore, urbanization affects the local climate adversely and creates a heat island over the city. This effect leads to an increase in the observed boundary layer temperature. The temperature difference between cities and rural areas reaches maximum when sky is free of clouds because of outgoing infrared radiation.

The heat island effect can be influential up to 800 meters depending on thermal inversion layer height and mixing of air due to turbulence. This causes mega cities to create their own thermal zones. Istanbul, with a population of about 15 million people, is the most important mega-city in Turkey. Located between Çatalca and Kocaeli parts of Marmara region, Istanbul resides at 28° 58' E latitude and 41°01' N longitude. It is located at the region where the continents of Europe and Asia join together, and it is surrounded by the Marmara Sea and Black Sea.

The average annual temperature in Istanbul is 14.1 °C. The average annual rainfall is around 747 mm. The climate of Istanbul is classified as Csa on the basis of Köppen-Geiger climate classification, which has generally warm summers and mild winters due to its location and meteorological conditions, the snowfall conditions over Istanbul is generally complex in the nature, and is affected by the sea surface temperature. Snowfall usually happens when cold air flows over the warm sea and therefore gains moisture resulting in more severe precipitation compared to the average precipitation amount. Certainly atmospheric stability plays a large impact on the intensity of thermal instability.

During the winter months in Istanbul, the facades that are formed as a result of the interaction of polar air mass from the north and mid-latitude air mass from the south cause precipitation. In winter, precipitation occasionally reaches the ground in the form of snow (20% of time). The sea effect is formed as a result of the temperature difference between the sea water and land surface temperatures that cause snowfall to become more intense.

In this study, effects of snowfalls on three different time periods, including 18-25 January 2000, 22-23 January 2004 and 20 January-1 February 2012 were simulated with Weather Research and Forecast (WRF) numerical model. The data sets analyzed in this study include meteorological observation data obtained from the General Directorate of Meteorology (MGM) and ERA5 analysis data obtained from the European Center of Medium Weather Forecast (ECMWF). The main observed parameters are temperature, snow thickness, pressure and daily rainfall. These observation data were used in model output validations. The ERA5 data are used at the surface level and also in pressure heights that represent time period from 1979 to date. The ERA5 data which has a horizontal spatial resolution of 28 km with a vertical resolution of 38 levels and 1 hour time step is used in WRF simulations. In addition to this, Coordination of Information on the Environment (CORINE) land cover data for the years of the event was used as a land cover map in the model.

The main goal of this work is to study the effect of urbanization in metropolitan Istanbul on the snowfall amount. In order to evaluate the effects of urbanization on snowfall, the CORINE land cover data were transferred to the ARCGIS program and the representation of the city coverage of each event was interpolated to the level of 1990. The selected heavy snowfall events were simulated using boundary conditions representative of before and after urbanization conditions. Then, the results were compared to the observational data. With these simulations, it was investigated whether the city cover had an effect on snowfall. The results were compared with each other and with the observation data.

In order to verify the consistency of the model, hourly temperature data obtained from the General Directorate of Meteorology and temperature data obtained from the WRF model were compared. As a result of the comparisons, the maximum absolute difference of the model and observation data was around 2°C and showed consistent results with the exception of several degrees of difference. This shows that the model is consistent with the observation data and that the parameterizations used in the model are selected correctly.

While analyzing the impact of urbanization in Istanbul on snowfall, firstly WRF model was used to analyze the synoptic maps for both less urbanization and urbanization situations. As a result of the investigations, it was concluded that there is no visible difference in synoptic maps. In addition, Skew-T diagrams were plotted using both bases. Skew-T diagrams, as in synoptic maps did not show very large differences. In general, similar graphics were obtained.

As a result of the urbanization analysis, it is concluded that the places with urban cover have a temperature of a few degrees higher than the surface temperatures of the non urban areas. Where the temperature is higher, the snow water equivalent value, the physical snow thickness and the snow-covered area value are lower in urbanization cases. The simulations have also provided consistent results in this context. As a result, urbanization adversely affects snowfall; however, the impact of urbanization on total precipitation needs to be examined in more detail.

1. GİRİŞ

Hava durumu, atmosferde belirli bir bölgede meydana gelen, kısa süreli ve etkin hava olayıdır. İklim ise, geniş bölgelerde uzun yıllar boyunca görülen ortalama hava durumudur. Hava durumu anlık olarak değişim gösterebilirken, bir bölgenin ikliminin değişmesi yüz yıllardan bile fazla sürebilmektedir (Sensoy ve diğ., 2008). Dünya Meteoroloji Örgütü'ne göre bir iklimi belirlemek için yeterli süre minimum 30 yıldır (WMO). Bu iki kavramı birbirinden ayıran en temel farklar zaman ve birinin makro klima, diğ.erin mikro klima ölçekli olmasıdır. Kısaca, iklim geniş bir bölge içerisinde meydana gelen hava olaylarının uzun yıllar ortalamasıdır. Klimatoloji ise bir bölgede yıllarca hakim olan atmosfer koşullarını, kısaca iklimi ve iklimin çevreye ve insanlara olan etkilerini inceleyen bilim dalıdır (Yalçın ve diğ., 2005). Ayrıca, klimatoloji iklim dışında atmosferde meydana gelen ekstrem hava olaylarını da neden ve sonuçları ile birlikte inceler (Deniz ve Uslan, 2018).

Türkiye coğrafi konum olarak 36°- 42° kuzey enlemi ve 26°- 45° doğu boylamında bulunur; ılıman kuşak ile subtropikal kuşak arasında yer alır. Türkiye'nin ikliminin şekillenmesinde yalnızca coğrafi konum değil, özel konum da etkin rol oynamaktadır. Türkiye'nin özel konumunu ele alırsak; üç tarafı denizlerle çevrili olması, yeryüzü şekillerinin çeşitliliği, dağların denizlere dik ve paralel uzanırları ve çeşitli türde bitki örtülerinin varlığı farklı tipte iklim çeşitlerinin görülmesine sebep olmaktadır. Özellikle kıyı bölgelerinde denizel etkiler sebebi ile daha ılıman ve yağışlı iklim görülürken, iç kesimlerde daha kurak iklim gözlenmektedir. İç bölgelerde görülen kurak iklimin temel sebebi, Karadeniz ve Akdeniz Bölgeleri'nde dağların genellikle denize paralel olmasıdır (Şekil 1.1). Bu durum Türkiye'nin kuzeyinden ve güneyinden giren hava kütlelerinin yağışı kıyı bölgelerine bırakmasından kaynaklanmaktadır (Sensoy ve diğ., 2008).

Bir bölgede meydana gelebilecek yağış miktarı, bulunduğu yerin fiziki coğrafyasına, mevcut hava kütlelerinin özelliklerine, mevsimlik hareketlerine ve atmosferik açıdan önemli basınç alanlarına bağlıdır. Bu özelliklere bağlı olarak, basınç sistemleri ve hava kütleleri Türkiye'yi sık sık etkilemekte ve farklı tiplerde yağış gözlemlenmesine sebep

olmaktadır (Yalçın ve diğ., 2005). Türkiye coğrafi konumu itibariyle, subtropikal yağışlı makroklima tipi Akdeniz ikliminin etkisindedir. Bu iklimin özelliklerini, genellikle tropikal ve polar hava kütlelerinin mevsimlik olarak yer değiştirmesi sonucu meydana gelen polar cephe üzerinde oluşan cephesel hareketlerin mevsimlere göre etki sahası, şiddeti ve frekansı belirler.



Şekil 1.1 : Türkiye sayısal arazi modeli (Yalçın ve diğ, 2005).

Türkiye genellikle yaz aylarında güneyden gelen tropikal hava kütlelerine maruz kalır. Bu hava kütlelerinin etkisi altında kalmasından dolayı, yaz ayları çoğunlukla kurak geçer. Kışın ise kuzeyden gelen polar hava kütlelerinden etkilenir. Asya ve Avrupa üzerinden etkisini artırarak gelen polar hava kütlelerinin güneye doğru ilerlemesi ve güneyden gelen tropikal hava kütlelerinin kuzeye doğru ilerlemesi ile ülkemiz üzerinde oluşan polar cephe sonucu oluşan cephesel hareketler vesilesiyle Türkiye’de yağışlar görülür.

Buna ek olarak, Türkiye zaman zaman gezici siklonların da etkisi altında kalmaktadır; bu da kuvvetli yağışa sebebiyet vermektedir. Gezici siklonlar, Türkiye’nin denizel polar hava kütlelerinin Akdeniz üzerinde bir takım değişikliğe uğraması sonucu oluşurlar. Ülkemize batı, güneybatı ve güneyli hava akımları ile ulaşırlar. Gezici siklonlar, ilerledikleri doğrultuda sıcaklığın düşük olması durumunda yağışı kar şeklinde bırakırlar (Günel, 2013).

Kar, sıcaklığın 0 °C altına düşmesi sonucu su buharının süblimasyonu ile oluşur. Beyaz, parlak ve genelde altıgen şeklinde buz kristallerinden oluşurlar. Bu kristaller birleştiğinde 1 ila 3 mm çapında kar tanesi olarak yere ulaşırlar. Oluşum sıcaklıklarına göre kar tanelerinin, boyut, şekil ve yoğunlukları birbirlerinden farklıdır (Günel, 2013). Buna ek olarak sıcaklık ve mutlak nem miktarının da kar tanelerinin şekillerine

etkisi vardır. Sıcaklıkları erime noktasına yakın olan kar kristalleri, mutlak nem miktarı yüksek olup sıcaklığı da çok düşük olmayan hava kütlelerinde bulunmaları durumunda, durgun hava ortamında birleşerek, yaklaşık 1cm çapında kar tanelerine dönüşürler. Yere bu şekilde ulaşan kar taneleri “Lapa lapa” veya “Kuşbaşı kar” olarak adlandırılır. Mutlak nem miktarı düşük olan ve sıcaklığı çok düşük olan hava kütlelerinde ise çapı 1mm’den az buz taneleri oluşur. Bu taneler yere ulaştığında ince bir örtü oluştururlar ve güneş ışığında parlarlar. Ayrıca, hızlı bir şekilde eriyemediği için üzerlerine düşen maddeleri ıslatmazlar. “Kuru kar” olarak adlandırılan bu türdeki yağış, genellikle dağların yüksek kesimlerinde ve kutup bölgelerinde görülürler. Ülkemizde de soğuk kış günlerinde görülebilen bu yağış türü, kuvvetli rüzgar ile birlikte şiddetini arttırırsa kar fırtınası veya tipi olarak adlandırılan yağış şeklinde yere ulaşır (Günel, 2013).

Ülkemizin bazı bölgelerinde Aralık, Ocak ve Şubat aylarında gözlemlenmiş kar yağışlı gün sayısı 1 ile 10 gün arasında değişmektedir. Edirne, Bursa ve Göztepe’de 8 gün, Çorlu’da 9 gün, Tekirdağ, Yalova ve Zonguldak’ta 10 gün, Çanakkale’de 3 gün bunlara örnektir. Kar örtüsünün yerde kalma süresi, temel olarak yer sıcaklığı ve iklim şartlarına bağlıdır. Kar örtüsü oluşabilmesi için, hava ve yer sıcaklığının 0 °C altında olması gerekmektedir. Güneydoğu Anadolu, Akdeniz, Ege ve Marmara bölgelerinde, karla örtülü gün sayısı 1 ile 20 gün arasında değişmektedir. Örnek olarak, Şile ve Tekirdağ’ında 7 gün, Samsun ve Bursa’da 9 gün, Göztepe’de 8 gün, Yalova, Çanakkale ve Kahramanmaraş’ta 4 gün, Diyarbakır’da 13 gün kar ile örtülü gün sayısı gözlemlenmiştir. Marmara bölgesinde, 1970 ile 2011 yılları arasında ölçülen en yüksek kar kalınları, İstanbul, Tekirdağ ve Bilecik’te 44 cm, Bursa’da 66 cm, Gaziantep’te 47 cm, Kahramanmaraş’ta 37 cm olarak ölçülmüştür (Günel, 2013).

Türkiye’nin kuzeybatısında yer alan Marmara Bölgesi, 29°-32° kuzey enlemlerini ve 38°-42° doğu boylamlarını kapsayan 67 000 km² alana sahip bir bölgedir. Genel olarak bitki örtüsü, alçak alanlarda Akdeniz türü bitkiler, yüksek bölgelerde Karadeniz bitki topluluğu ve nemli ormanlardan oluşmaktadır. Marmara bölgesi arazi örtüsü yıllar içerisinde bir çok önemli değişime uğramıştır. Bu değişim, özellikle 1980’li yıllar sonrasında hızlanan sanayileşme ve nüfus artışının bir sonucudur. Bölge iklimi genel olarak ılımandır (Sertel ve diğ., 2011).

Marmara bölgesinin kuzey kesimlerinde Karadeniz iklimi, iç kesimlerinde Karasal iklim, güney ve alçak kesimlerinde Akdeniz iklimi görülmektedir. Karasal iklimin

özelliği, sıcak ve kurak yaz aylarına, soğuk ve yağışlı kış aylarına sahip olmasıdır. Marmara iklimi, Karadeniz iklimine nazaran daha az yağışlı, Akdeniz ikliminden daha serin, kışları Karasal iklime göre daha ılımandır ve yazları da o kadar kurak geçmemektedir (Sensoy ve diğ., 2008). Kışları ortalama 5°C, yazları ise ortalama 25°C civarında hava sıcaklığına sahiptir (Sertel ve diğ., 2011).

Türkiye İstatistik Kurumu 2018 verileri bölge sınıflandırma kriterlerine göre, İstanbul ili metrekareye düşen 2900 kişi sayısı ile diğer bölgelere göre en yoğun nüfus oranına sahiptir (Çizelge 1.1) (TÜİK, 2018). Bu oran her geçen yıl giderek artmaktadır. Nüfusun hızlı artışı, beraberinde artan şehirleşmeyi getirmektedir. Şehirleşme sürecinde gerçekleşen kaçak ve plansız yapılaşma, yeşil alanlarının hızlı tahribine sebep olmuş ve betonlaşmayı arttırmıştır.

Çizelge 1.1 : Türkiye istatistik kurumu kilometrekareye düşen kişi sayısı (TÜİK, 2018).

Yıl	Bölge Kodu	Bölge Adı	Nüfus Yoğunluğu (Km ² 'ye Düşen Kişi Sayısı)
2018	TR1	İstanbul	2900
2018	TR2	Batı Marmara	83
2018	TR3	Ege	118
2018	TR4	Doğu Marmara	163
2018	TR5	Batı Anadolu	110
2018	TR6	Akdeniz	118
2018	TR7	Orta Anadolu	45
2018	TR8	Batı Karadeniz	64
2018	TR9	Doğu Karadeniz	77
2018	TRA	Kuzeydoğu Anadolu	31
2018	TRB	Ortadoğu Anadolu	51
2018	TRC	Güneydoğu Anadolu	118

Şehirleşmeye bağlı olarak, iklim elemanlarında önemli değişiklikler gözlemlenmektedir. Özellikle ölçülen sıcaklık değerlerinde artış, rüzgar hızlarında azalma ve nem miktarında değişimler görülmektedir. Şehirleşme ile birlikte albedonun azalması, evapotranspirasyonun azalması, antropojenik ısı kaynaklarının artışı gibi sebeplerden dolayı, şehirlerde sıcaklık kırsal alanlara göre belirgin bir artış göstermektedir.

Şehir ve kırsal alan arasındaki bu sıcaklık farkı, şehir ısı adası olarak adlandırılmaktadır (Landsberg, 1981). Şehir ısı ada etkisi, şehirleşme nedeni ile doğal yüzey ve bitki örtüsünün asfalt ve betonla örtülmesi, yüzey nem miktarı ve yeşil alan yüzeylerinin azalması sonucunda oluşur (Chandler, 1965). Bu etki gözlemlenen yüzey

ve hava sıcaklıklarında artışa neden olur. Şehirler ve kırsal bölge arasında oluşan bu sıcaklık farkı, açık gökyüzü ve rüzgarsız zamanlarda maksimuma ulaşırken, kapalı gökyüzü ve yüksek rüzgar hızlarında minimuma inmektedir (Çiçek ve Doğan, 2005).Mega şehirlerdeki şehirleşme miktarına bağlı olarak gelişen ısı ada etkisi, yaklaşık 800 metreye kadar etkili olabilmektedir. Bu durum mega şehirlerin, kendi termal alanlarını oluşturmasına sebep olur. İstanbul, 15 milyonun üzerinde nüfusu ile, Türkiye'nin en önemli mega şehridir. Bu sebeple, İstanbul'da şehir ısı ada etkisi ölçülen sıcaklıklarda ve yağışların yere ulaşma formlarında önemli rol oynamaktadır.

1.1 Tezin Amacı

Aşırı kar yağışı hadisesi insan yaşamını özellikle miktarına bağlı olarak; ulaşım, enerji, ekonomi, eğitim-öğretim, sosyal gibi konular da olumsuz etkilemektedir. Nüfus yoğunluğu, şehirleşme hızı ve büyüklüğü göz önünde bulundurulduğunda, İstanbul gibi mega kentlerde meteorolojik hadiselerden etkilenen insan sayısı fazladır. Ayrıca İstanbul çalışan nüfus oranı ve gelişmiş sanayisi ile aşırı kar yağışlarından ekonomik açıdan da fazlasıyla etkilenmektedir. Bu sebeple, bu çalışmada İstanbul'da, 18-26 Ocak 2000, 22-24 Ocak 2004 ve 26 Ocak - 2 Şubat 2012 tarihlerindeki kar yağışı etkilerinin, mezo ölçek atmosfer modeli olan WRF ile benzeşimleri (simülasyonları) yapılmış ve model performansı gözlemler ile karşılaştırılmıştır.

Ayrıca bu çalışmada İstanbul'da ki şehirleşmenin günümüzde giderek azalan kar yağışı hadiselerine etkisi incelenmeye çalışılmıştır. Şehirleşmenin etkisi, farklı yıllara ait CORINE arazi kullanım/arazi örtüsü verilerinin model altlığı olarak kullanılarak model benzeşimleri gerçekleştirilmesiyle incelenmiştir. Böylece, hadisenin meydana geldiği yıla ait arazi örtüsü ile şehirleşmenin daha az olduğu yıla ait arazi örtüsü arasında kar yağışında meydana gelen değişim ile şehirleşme etkisinin ortaya konulması amaçlanmıştır.

1.2 Literatür Araştırması

Karaca ve diğ. (1995), bölgesel iklim değişikliğini incelenmiş ve kentleşmenin Türkiye'nin en büyük iki ili olan İstanbul ve Ankara illeri üzerindeki etkileri araştırmıştır. İstanbul ve Ankara'nın hava sıcaklığı verileri, bölgesel iklim değişikliğini incelemek, sanayileşme ve ülkenin kırsal kesimlerinden gelen büyük

miktarda göç akışı nedeniyle meydana gelen kentleşmenin bu bölgelerin iklimi üzerindeki olası etkilerini anlamak için analiz edilmiştir. Trend analizi için Mann-Kendall testinin sıralı versiyonu ve doğrusal regresyon analizi kullanılmıştır. Yapılan analizler sonucunda, kentin kırsal kesimlerine kıyasla en kalabalık ve en sanayileşmiş bölgesi olan güney kısmının sıcaklık değerlerinde belirgin bir artış görüldüğüne, buna karşın kentin kuzey kesimlerinde belirgin bir artış gözlemlenmediğine, aksine bir soğuma eğilimi görüldüğüne kanaat getirilmiştir. İstanbul bölgesinin güney kesimindeki şehirleşme eğilimi, kentin bölgesel olarak ısınma eğilimi göstermesine neden olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Ankara'da ise, şehir yapısı ve hava kirliliği sorunu olmasına karşın, sıcaklıklarda belirgin bir artış gözlemlenmediği sonucuna varılmıştır.

Kadıoğlu (1997), Marmara Bölgesi'ne ait 40 adet gözlem istasyonunun günlük yağış verileri kullanılarak Mann Kendall analizi yapmıştır. Elde edilen sonuçlar, yağışlı gün sayılarındaki artışın, bölgede bulunan büyükşehirlerin doğu kesimlerinde görüldüğü; buna karşın yağışlı gün sayılarındaki azalışın ise büyükşehirlerin birkaçının şehir merkezinde görüldüğüdür.

Tayanç ve Toros (1997), Türkiye'nin dört büyük şehri olan Adana, İzmir, Bursa ve Gaziantep illerinin, 1951-1990 yıllarına ait kentsel ve kırsal istasyonlarını incelemiştir. Yapılan analizler esnasında, günlük minimum ve 21 saatlik sıcaklık farkı serilerinin frekans dağılımları incelenmiş olup, dağılımlarda sıcak tarafa doğru bir kayma olduğu tespit edilmiştir. Bunun sebebi olarak, kentsel ısı ada etkisi gösterilmiştir. Sıcaklık farkları veri tabanından elde edilen, maksimum kentsel ısı adası yoğunluğu eğilimi, Oke (1973)' nin Avrupa şehirleri için uyarlanan formülü ile uyumlu çıkmıştır. 21 saatlik sıcaklık serisinin mevsimsel analizi, bölgesel ısınmanın ilkbaharda en güçlü, sonbahar ve kış aylarında en zayıf olduğunu göstermiştir. Kentsel ısınma eğiliminin, tüm yıl boyunca neredeyse eşit oranda dağıldığı, sonbahar aylarında ise hafif bir artış ile dağılım gösterdiği tespit edilmiştir. Sıcaklık farkı serisine Mann-Kendall testi uygulanmış, kentsel ısı ada etkisinin tüm şehirlerde etkili olduğu kanısına varılmıştır. Buna karşın, yağışta neredeyse hiçbir önemli kentsel etki tespit edilmemiştir.

Çiçek (2004), Mayıs-Eylül aylarında yağışlı gün sınıflarının eğilimleri ve seçilen periyottaki eğilimlerinin sebepleri incelemiştir. Çalışma için, şehir ve kırsal kesimden iki farklı istasyon seçilmiştir. Bunun sebebi, yağış eğilimlerinin iklimsel mi yerel mi olduğunu ortaya koymaktır. Yapılan incelemeler sonucunda, her iki istasyonda da

yağışlı gün ve hafif yağışlı gün sayılarında bir artış görüldüğü gibi, şehir istasyonunda şiddetli yağışlı gün sayısında artış, kırsal karakterli istasyonda ise azalma gözlemlenmiştir. Kent ile kırsal kesim arasındaki bu fark, yağışlı gün sayısındaki artışın şehirleşmeden kaynaklandığını ortaya koymaktadır.

Çiçek ve Doğan (2005), nüfus artışının beraberinde getirdiği kentleşmenin, iklim elemanlarında değişikliklere sebep olduğunu, etkilenen en önemli iklim elemanının da sıcaklık parametresi olduğunu vurgulamaktadır. Şehirleşme sürecinde, planlanmamış ve kaçak yapılaşma ile birlikte gün içerisinde artan sıcaklık farklılıkları görülmektedir. Bunun sebebi şehir ısı ada etkisidir. Kent ve kırsal kesim arasındaki yüzey ve hava sıcaklığı farklılığı şehir ısı ada etkisi olarak adlandırılmaktadır. Yeşil alanların azalması, betonlaşmanın artması gibi etkenler şehir ısı ada etkisini güçlendirmektedir. Bu çalışmada, Ankara ilinde bulunan farklı şehir dokularını yansıtan yedi istasyona ait veriler değerlendirilmiştir. Değerlendirme sürecinde şehir ısı ada etkisinin en çok soğuk dönemde gözlemlendiği tespit edilmiştir. Bu sebeple çalışmada şubat ayına ait veriler değerlendirilmiştir. Oke (1979) denklemine göre, Ankara'da gözlemlenen maksimum şehir ısı ada etkisi 9°C 'dir. Veriler incelendiğinde, 2 Şubat 2002 tarihinde saat 15:00'da şehir ısı ada etkisinin $9,4^{\circ}\text{C}$ olduğu görülmüştür. Ayrıca incelenen dönemde akşam saatlerinde, gündüz saatlerine nazaran daha fazla şehir ısı ada etkisi olduğu görülmüştür. Şubat ayı boyunca her gün saat 21:00'da şehir ısı ada etkisi görülmüş bu etkilerin çoğu da 4°C üzerinde seyretmiştir.

Ezber ve diğ. (2007), Türkiye'nin en kalabalık şehri olan İstanbul'da şehirleşmenin iklim üzerine olan etkilerini araştırmak için istatistiksel ve sayısal modelleme yöntemleri kullanmışlardır. Trendlerin varlığını, trendlerin değişime uğradığı yaklaşık yılları belirlemek için, seçilen kırsal, kentsel ve banliyö bölgelerinde bulunan istasyonların minimum sıcaklık verilerine Mann-Kendall trend testi uygulanmıştır. Buna ek olarak mezo ölçek sayısal atmosferik modeli kullanılarak, şehirleşmenin atmosferik etkilerini araştırmak adına duyarlılık testi uygulanmıştır. Yapılan analizler, kent ve kırsal kesimdeki istasyonlarda minimum sıcaklık farklarının zaman serilerinde istatistiksel olarak anlamlı bir eğilim olduğunu ortaya koymuştur. Mevsimsel analizler iklim üzerindeki kentleşme etkisinin yaz aylarında en belirgin olduğunu göstermiş, ayrıca çoğu durumda eğilimlerdeki değişimlerin 1970-1980 yıllarında yani İstanbul'un nüfusunun hızla arttığı dönemde meydana geldiği görülmüştür. Model çıktıları 1951-2004 yılları arasında kentsel ısı adasının kayda değer bir genişleme olduğunu

göstermiş, bu neticenin şehir alanının genişlemesi ile doğru orantılı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Geçmiş ve şimdiki simülasyonlar arasındaki maksimum referans seviyesi sıcaklık farkının 1°C civarında olduğu bulunmuştur. Buna ek olarak model, hâkim rüzgâr olan kuzeydoğu rüzgârının hızının ve su buharı karışma oranının şehir üzerinde azaldığı sonucunu vermektedir. Sonuç olarak, şehirlemeden kaynaklanan ısınma etkisinin, şehir alanları üzerindeki atmosferin 600-800 m yüksekine kadar nüfuz ettiği ve iki yüzeysel ısı ada hüccresinin de şehir üzerinde birleştiği ortaya konmuştur.

Türkoğlu ve Çalışkan (2011), Nevşehir ve Ürgüp şehirlerinin fizyolojik eşdeğer sıcaklıklarını baz alarak biyoklimatik koşulları analiz etmişlerdir. Hesaplamalarda kullanılan bir takım meteorolojik parametreler hariç insan ısı dengesi de hesaba katılmıştır. İncelenen şehirlerde, ısı stresine yaz ayları yalnızca öğleden sonraları, konforlu ısı algılamalara yol açan koşullara ise akşam ve sabah saatlerinde rastlandığı sonucuna varılmıştır. Ekim-Mart ayları arasında, saat 07:00 ve 21:00'de soğuk stresinin farklı seviyeleri açığa çıkmakta ve saat 14:00 da daha sıcak ve konforlu ısı koşullar meydana geldiği görülmektedir. Değerlendirmelerde, termal algılamaların zaman içindeki gelişimlerinin saptanması adına Pearson korelasyonu analizi kullanılmıştır. Analizler sonucunda, 1975-2008 yıllarında 07:00, 14:00 ve 21:00 saatlerinde Nevşehir için sırasıyla, +0.048, +0.074, 0.074 ve Ürgüp için sırasıyla -0.036, +0.075, -0.027 korelasyon katsayıları hesaplanmıştır. Ayrıca Nevşehir için günlük ortalama +0.067 ve Ürgüp için günlük ortalama +0.006 korelasyon katsayıları hesaplanmıştır.

Kum ve Kılıç (2013), özellikle son 50 yılda meydana gelen şehirleşmenin, şehir iklimi üzerinde oldukça önemli değişikliklere sebep olduğunu, öncelikli olarak sıcaklık parametresi ve bunun gibi birçok iklim elemanına doğrudan etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Gaziantep ilinin çalışılmasının sebebi, son yıllarda hızlı bir şehirleşme sürecine girmiş olması ve bölgenin sıcak hava dalgalarından etkilenerek kentleşmenin iklimsel etkileri arttırmasıdır. Çalışmadaki analizlerde kullanılmak üzere, 1975-2010 yıllarına ait şehir ve kırsal bölgelerden seçilen istasyonlara ait maksimum, minimum ve ortalama sıcaklık ve yağış verileri değerlendirilmiştir. Değerlendirmeler sonucunda, yaz ayları gece saatlerinde şehir merkezinde artışları gözlenme ihtimali oldukça yüksek bulunmuştur. Yağış değerleri ele alındığında, kesin olmamak ile birlikte, yaz aylarında çöl tozları etkisi ile sıcaklık artışı eğilimleri de görüldüğü saptanmıştır.

Sensoy ve diğ. (2005), aşırı sıcaklık olaylarının kentleşme üzerine olan etkilerini anlamak adına, Ankara ilinde bulunan bir adet iklim bir adet kırsal istasyondan alınan verileri incelenmiştir. 1960 – 2000 yıllarına ait olan günlük veriler, RclimDex yazılımı ile çalıştırılmıştır. Kentleşme etkilerinin gözlenildiği en belirgin iklim indeksleri, Donlu Günler (FD0), Serin Geceler (TN10p), Soğuk Devre Süresi (CSDI), Tropik Geceler (TR20), Büyüme Sezonu Uzunluğu (GSL), Günlük Sıcaklık Aralığı (DTR), Yaz Günü (SU25), Sıcak Günler (TX90p) ve Sıcak Devre Süresi İndisleri (WSDI)'dir. Bu indislerden maksimum sıcaklık ile ilişkili olanları, şehir etkisini belirlemede etkin rol oynamamaktadır. Yapılan analizler şehirleşme etkisinin en çok minimum sıcaklıklar ile ilişkili olduğunu ortaya koymuştur. Ankara ilinde yeşil alanların azalması, hızla artan nüfus, beton örtüsünün artması, çoğalan trafik, sanayileşme gibi etkilerle meydana gelen sıcaklık artışı sebebiyle şehirleşmenin iklime olan etkisi artmaktadır.

Aykır (2017), 1970-2012 yılları arasındaki periodu esas alarak, 42 adet meteoroloji istasyonu seçmiş, seçilen istasyonlardan kırsal ve şehir olmak üzerine çiftler oluşturmuştur. Oluşturulan istasyon çiftlerinin iklim indisleri arasındaki farklarının seyrettiği durum, 1970-2012 yıllarına ait olan gözlem verileri ile değerlendirilmiştir. İndislerin üretilmesinde RclimDex programı kullanılmış; 27 adet indis belirlenmiştir. Çalışmada kullanılmak üzere seçilen 10 adet sıcaklık indisi incelenmiş, aralarında bir artış azalış ilişkisi olduğu tespit edilmiştir. Şehir istasyonunda bulunan indislerin kırsal istasyonlara göre daha büyük dalgalanmalar yaşadığı görülmüştür. Buna ek olarak, Mann Kendall trend analizi irdelendiğinde, elde edilen tüm istasyon çiftlerinde soğuk devre süresi indis farkında azalma, tropical gün, yaz günleri, sıcak geceler, sıcak günler, minimum sıcaklıkların minimum ve maksimumu indislerinde ise artma görülmüştür.

Moradi ve Tamer (2017), 1984-2014 yıllarında, Bursa ilinin gelişiminin yerel iklim değişikliği üzerine olan etkilerini ortaya koymuşlardır. Çalışmada uydu görüntüleri ve iklim parametrelerinden yararlanılmış olup, iklim parametreleri analizinde Eşli Örneklem T-Test kullanılmıştır. Sonuç olarak, belirlenen periyotta kent nüfusunda iki buçuk kat artış görülürken, kentsel kesime yerleşimde altı kat artış görülmüştür. Artan nüfusun beraberinde getirdiği kentleşme, şehir alanlarında artışa sebebiyet vermiş bu da tarım ve orman örtüsünde azalmaya sebep olmuştur. Verilere uygulanan Holdren Modeli sonuçlarına göre, 1995-2003 yıl aralığındaki büyümenin

şehirleşmenin yayılmasından kaynaklandığı görülmüştür. Söz konusu periyotta şehirleşme sebebiyle, ortalama aylık minimum sıcaklık değerinde 1.36° C artış görülmüştür.

EnTao (2013), WRF modeli ile hazırlanan, Çin'in kuzeydoğu bölgesi mevsimsel kar yağışı analizi, modelin performansı, yatay çözünürlük ve fiziksel parametrisasyon şemaları etkileri incelemiştir. Sonuç olarak, WRF modelinin, sıcaklık ve yağışın temel özelliklerini kabul edilebilir düzeyde yansıttığı, daha yüksek çözünürlüklü simülasyonların daha iyi sonuçlar elde ettiği kanısına varmıştır. Ayrıca, WRF modelinin konvektif kümülüs parametrisasyonundansa, kara yüzey ve mikrofizik şeması seçimine daha duyarlı olduğu sonucuna ulaşmıştır.

Gregory ve diğ. (2008), yeni geliştirdikleri bir mikrofizik parametrisasyonunun, WRF ve benzeri modellerle kullanımını incelemiştir. Bir önceki tek momentli mikrofizik parametrisasyonu ile karşılaştırdıklarında, yeni parametrisasyonun hem fiziksel süreçlere hem de bilgisayar kodlamasına yönelik çok sayıda iyileştirme içerdiği, arama tablolarını kullanarak çok karmaşık spektral/kutu şemalarında kullanılan birçok tekniği içerdiği kanısına varılmışlardır. Diğer mikrofizik parametrisasyonlarının aksine, varsayılan kar büyüklüğü dağılımı hem buzlu su içeriğine hem de sıcaklığa bağlı olup, üstel ve gama dağılımlarının toplamı olarak temsil edilmektedir. Yeni şemanın kar kategorisi, küreselliği ve dağılım şekli karakteristiklerini test etmek için tasarlanan duyarlılık deneylerinde daha önceki araştırmalara uyarlayarak yeniden kategori edildi. Sonuç olarak birçok hadise ve model sonuçları karşılaştırılarak yapılan analizlerin sonuçları doğrulanmıştır.

Cheng ve diğ. (2009), NCAR/ATES WRF-ARW tabanlı gerçek zamanlı dört boyutlu veri asimilasyonu ve tahmin sistemi kullanarak, Colorado'da ki 16-18 Nisan 2009 kış fırtınasını simüle etmişlerdir. Simülasyon gerçekleştirilirken, fiziksel proseslerin performansını ve rollerini incelemek adına, WRF modelinde bulunan, kara/yüzey parametrisasyonu, atmosferik sınır tabaka, mikrofizik ve farklı yüzey katmanı kombinasyonları kullanılmıştır. Sonuç olarak, WRF modelinin genel olarak büyük ölçekli simülasyonlar konusunda daha başarılı olduğu kanısına varılmıştır. Çalışılan hadise için de yüzey katmanı şeması için Monin Obukhov'un, atmosferik sınır tabaka için Yamada-Janjic'in, rüzgâr varyasyonu için ise, RUC LSM'nin en iyi sonuçları elde ettiği kanısına varılmıştır.

Andrettaa (2018), 26 Aralık 2003 yılında Doğu Idaho’da meydana gelen nadir ve uzun ömürlü kar yağışı hadisesi incelemiştir. 26 Ocak günü hafif şiddette başlayan yağışın ilerleyen günlerde şiddetlenmesi ile 38 cm’e ulaşan kar yağışı görülmüştür. Bu hadise, bu çalışmada, WRF modeli ve çeşitli mikrofizik parameterizasyonları kullanılarak simüle edilmiştir. Sonuç olarak, tüm parametrelerde düşük tahminlere ulaşılmıştır. En düşük hatayı veren mikrofizik parametrizasyonu olarak Purdue-Lin ve Weather Research and Forecasting Double-Moment 6-Class şemaları olduğu sonucuna varıldı.

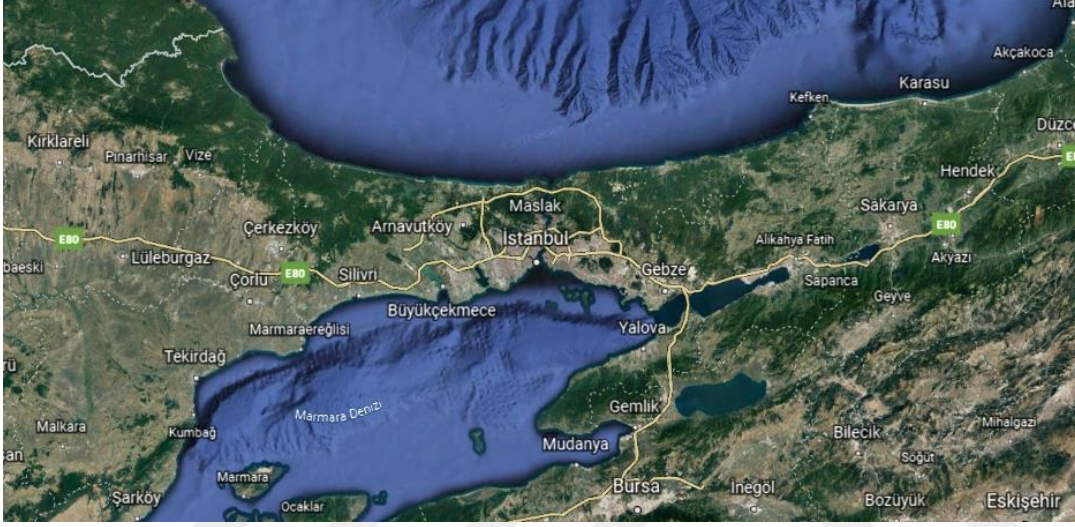
Peace (1966), 1694-1965 kar sezonunda Atmosfer Bilimleri Araştırma Merkezi, New York Eyalet Üniversitesi ve Osewego’daki SUNY kolejinin doğu kesimindeki yüzey sıcaklıkları ve rüzgârları kaydeden istasyonların dağılım ağları incelemiştir. İncelemeler yapılırken, 3-4 Şubat 1956 kar fırtınası dönemi için hava ve radar verileri ile birlikte bir takım sinoptik analizleri birlikte değerlendirmiştir. Analizler sonucunda, kar fırtınası karakteristiğinin, kar bandı altındaki 0.1-0.5 n.mi alanının rüzgâr kaydırma bölgesi olduğu kanısına varılmıştır. Buna ek olarak, göl etkisinden kaynaklı bantların oluşumunun havanın ılık bir göl tarafından ısıtılmasından kaynaklandığı, bantlarının konumunun ve hareketinin yüzeykoşullarındansa ılık rüzgârlarla kontrol edildiği sonucuna varılmıştır.

1.3 Çalışma Alanı ve Özellikleri

Türkiye’nin Marmara Bölgesi Çatalca – Kocaeli Bölümü’nde bulunan İstanbul, 28° 58’ doğu enlemi ve 41° 01’ kuzey boylamı civarında yer almaktadır (Şekil 1.2). Avrupa ve Asya kıtalarının birbirlerine en çok yaklaştığı yerde konumlanan, bu iki kıta arasında köprü görevi gören bir şehirdir. İstanbul’un batısında Çatalca, doğusunda Kocaeli, güneyinde Bursa, güneybatısında Tekirdağ ve kuzeybatısında Kırklareli şehirleri bulunmaktadır. İl, adalar dahil 5712 km²’lik yüzölçümüne sahiptir.

Bölge iklimi genel olarak Akdeniz iklimine benzer özellikler göstermektedir. İstanbul’un bitki örtüsü çoğunlukla makidir. Makiler, 1-2 metre boylarında küçük ağaç veya çalılardan oluşur. Ayrıca, kentin kuzeyinde bulunan ve en geniş orman alanına sahip Belgrad ormanları, Anadolu Yakası’nda bulunan İstanbul Kent, Kayışdağı, Taşdelen, Sultançifliği Taşlıtepe ve Alemdağ Ormanları gibi yer yer ormanlık alanlar da mevcuttur (İstanbul İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, t.y.). Bölge de bulunan en büyük akarsu, kaynağını Kocaeli’nden alan, güneydoğu kuzeybatı yönünde akarak

Karadeniz'e dökülen Riva çayıdır. Uzunluğu yaklaşık olarak 71 km'dir. İstanbul'da Terkos, Küçükçekmece ve Büyükçekmece gölleri bulunmaktadır. Bu göllerden biri olan Terkos'tan ilin suya ihtiyacı sağlanmaktadır (İstanbul İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü, t.y.). İstanbul'un yıllık ortalama sıcaklığı 14.1°C'dir. Yıllık ortalama yağış miktarı ise 747 mm civarındadır. Köppen-Geiger iklim sınıflandırması bazında Csa (Kış ılık, yazı çok sıcak ve kurak iklim (Akdeniz iklimi)) sınıfındadır. Kent iklimi, yazları genellikle sıcak, kışları genellikle ılımandır (MGM, 2019).



Şekil 1.2 : İstanbul ili (Google Earth, 2019).

İstanbul, konumu itibari ile denizel etkiye sahiptir. Kış aylarında kuzeyden gelen polar hava kütlesi ve güneyden gelen tropical hava kütlesi etkileşimi sonucunda oluşan cepheler yağışa sebebiyet verir. Kış aylarında görülen bu tip yağış, genellikle yere kar şeklinde ulaşır. Şehrin üzerine gelen hava kütleleri Karadeniz veya İstanbul Boğazı etkisi altında ise deniz etkisine sebep olur. Su ve kara yüzeyi arasındaki sıcaklık farkının neden olduğu bu etki, meydana gelen kar yağışı hadisesinin daha da kuvvetlenmesine sebebiyet verir.

Yüzyıllardır çeşitli medeniyetleri bünyesinde barındırmış kent, halihazırda Türkiye'nin en kalabalık nüfusuna sahiptir. Bunun en temel sebebi, geçmişten günümüze her dönemde göç almış olmasıdır. TÜİK verilerine göre, İstanbul nüfusu 2018 yılında 15 milyon'u geçmiştir ve bu rakamın her geçen yıl giderek artması beklenmektedir (TÜİK, 2019). Artan nüfus beraberinde şehirleşmeyi de getirmiştir. İstanbul, 1950'li yılların başlarında göç ve sanayileşme sebebiyle şehirleşmeye başlamış, ortalarına doğru nüfusun 1 milyonu aşması ile birlikte nüfus ölçüm kriteri

olarak metropolitan şehir sınıfına girmiştir. Günümüzde ise mega şehir statüsündedir (Keçeci, 2018). Nüfus yoğunluğu, şehirleşme hızı ve büyüklüğü dolayısıyla etkilenecek insan sayısının fazla olması sebebiyle kar yağışı hadisesi ve sonuçlarının araştırılması İstanbul ili için önem arz etmektedir. Bu sebeple çalışma alanı olarak İstanbul ili seçilmiştir.





2. VERİ VE METOD

2.1 Veri

Bu çalışmada analiz edilen veri kümeleri arasında MGM'den alınan meteoroloji gözlem verileri ve European Center for Medium Range Weather Forecast (ECMWF)'den alınan ERA5 reanaliz verileri bulunmaktadır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan gözlem verilerinin başlıcaları sıcaklık, kar kalınlığı, basınç ve günlük yağış hadisesi durumudur. Temin edilen gözlem verileri, model verileri ile karşılaştırmada kullanılmıştır. ERA5 analiz verilerinden iki parametre birlikte kullanılmıştır. Bunlar, 1979'dan günümüze kadar olan basınç seviyeleri hakkındaki 6 saatlik veriler ve 1979'dan günümüze kadar olan yüzey ve atmosfer katmanları için veri setidir. ERA5 verileri, yüksek yatay çözünürlüğü 28 km ve düşey çözünürlüğü 38 seviyedir. ERA5 sınır koşulları WRF çalışmalarında 3 saatlik zamansal çözünürlükte kullanılmıştır. Bunlara ek olarak, Coordination of Information on the Environment (CORINE) arazi örtüsü verilerinden de yararlanılmıştır.

2.1.1 Gözlem verileri

Gözlem verileri, yer seviyesi ve yukarı seviyelerde, meteorolojik parametreler olan rüzgar, basınç, sıcaklık, nem v.b. değişkenlere karşılık gelen ölçülen değerleridir. Çalışmada kullanılmak üzere MGM'den alınan gözlem verilerinden bazıları, otomatik meteoroloji gözlem istasyonu (OMGİ) saatlik toplam yağış ($\text{mm}=\text{kg}/\text{m}^2$), saatlik sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), saatlik minimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), saatlik mevcut kar kalınlığı (cm), saatlik maksimum sıcaklık ($^{\circ}\text{C}$), saatlik deniz suyu sıcaklığı ($^{\circ}\text{C}$), günlük yağmurlu, kar yağışlı, donlu günler sayısı, aylık maksimum kar yüksekliği ve tarihi (gün/ay/yıl)'dir. Temin edilen verilerin sürekliliğinin tüm istasyonlar için yeterli olmaması sebebiyle, çalışılacak istasyonlar olarak Sarıyer/Kumköy/Kilyos, Sarıyer, Kadıköy/Rıhtım, Şile ve Florya seçilmiştir. Çizelge 2.1 ve 2.2'de temin edilen verilerden günlük yağmurlu, kar yağışlı, donlu günler sayısı, aylık maksimum yağış miktarı ve tarihi, aylık maksimum kar yüksekliği ve tarihi veri başlıkları için istasyonlara ait verilerin mevcut olduğu yıllar verilmiştir.

Seçilen istasyonlar olan, Sarıyer/Kumköy/Kilyos, Sarıyer, Kadıköy/Rıhtım, Şile ve Florya için, kar yağışlı gün sayıları bar grafik şeklinde Şekil 2.1’de verilmiştir. İstasyon grafikleri incelendiğinde, verilerin başlangıç tarihinden günümüze doğru artış azalış şeklinde bir eğilimde olduğu görülmektedir. 2012 yılında yaşanan ekstrem durum hariç karlı gün sayılarında günümüze yaklaştıkça azalan bir eğilim gözlemlenmektedir.



Şekil 2.1 : Seçilen istasyonların kar yağışlı gün sayısı grafiği.

Grafiklerde görülen, karlı gün sayılarındaki azalma eğiliminin şehirleşmeden kaynaklanıp kaynaklanmadığı model sonuçları ile birlikte değerlendirilerek yorumlanacaktır. Şehir etkisinin olup olmadığı kanısına varmak için, şehir yapısı değiştirildikten sonra elde edilen değerler, gözlem verileri ile karşılaştırılarak analizler yapılacaktır.

2.1.2 CORINE altlıkları

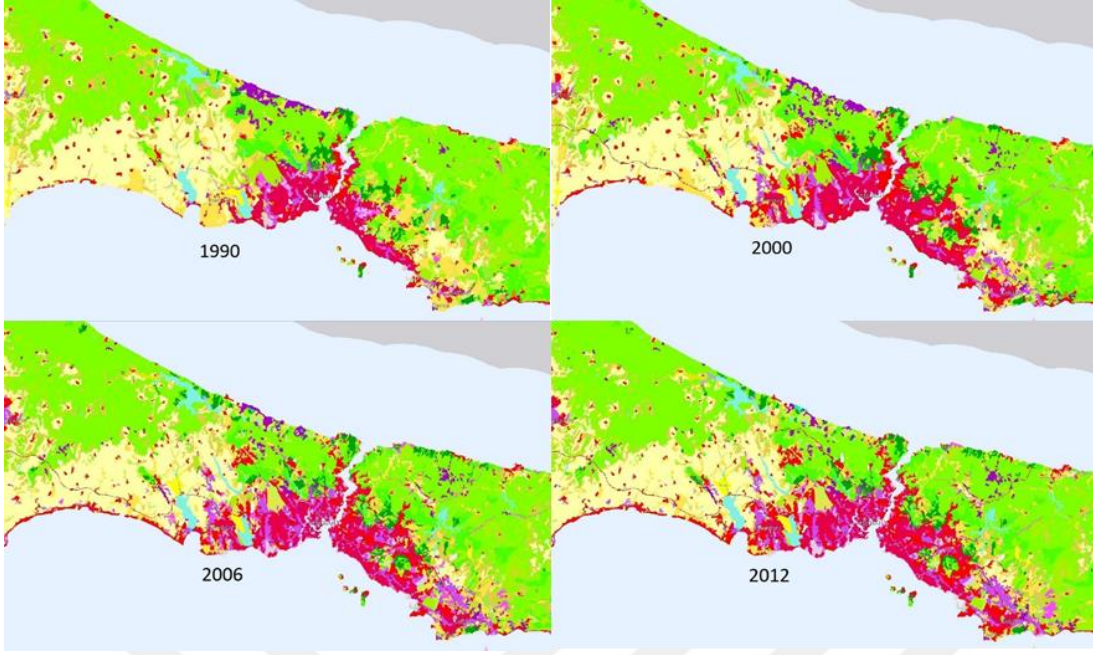
Coordination of Information on the Environment olarak adlandırılan CORINE, dünya gözlem uyduları tarafından toplanan ve dünya yüzeyindeki sensör ağlarından gözlem verileriyle birleştirilen verileri temsil eder. CORINE'in amaçları, topluluğun tüm üye devletleri için öncelikli belirli konularla ilgili çevre durumu hakkında bilgi derlemek, verilerin derlenmesi ve üye devletler içinde veya uluslararası düzeyde bilgilerin düzenini koordine etmek, bilgilerin tutarlı olmasını ve verilerin uyumlu olmasını sağlamaktır.

CORINE programının bir başka amacı, çevre ve değişim şekli hakkında daha fazla bilgi edinmek için yıllar boyunca çeşitli düzeylerde (uluslararası, topluluk, ulusal ve bölgesel) yapılan girişimlerin bir araya getirilmesidir (EEA, 1994).

CORINE Land Cover (CLC) envanteri, bir Pan-Avrupa arazi kullanım ve arazi örtüsü haritalama programıdır. Avrupa çevre peyzajının durumu ve zaman içinde nasıl değiştiği konusunda mekânsal veriler sağlar.

Uydu görüntülerinin yorumlanmasına dayanarak, CLC, Avrupa'daki otuz dokuz ülke için altı yıl bazında ulusal ölçekte arazi örtüsü ve arazi örtüsü değişikliği haritaları sunmaktadır. Türetilmiş veri katmanlarının tematik doğruluğu \geq %85'dir ve geometrik doğruluk 100 m'den daha iyidir. CLC metodolojisi ve sonuçları diğer birçok projede yaygın olarak kullanılmaktadır ve arazi yönetimi, doğa koruma ve su yönetimi ile ilgili politikalarla ilgilidir.

Veri serileri, çeşitli ulusal çevre ajansları, özel şirketler, çevre araştırmacıları ve akademisyenler tarafından çok çeşitli sosyal ve çevresel uygulamalarda kullanılmaktadır. Pan-Avrupa veri kümesi olması, politika oluşturma ve Avrupa genelinde karşılaştırmalı çevresel analiz ve değerlendirme için yararlı olduğu anlamına gelir. Serideki dördüncü kısım olan CORINE 2012; 1990, 2000 ve 2006 yıllarına ek olarak henüz tamamlanmıştır (EPA, 2012). Bu yıllar için CORINE arazi örtüsünün çalışma alanını temsil eden görüntüleri Şekil 2.2'de verilmiştir.

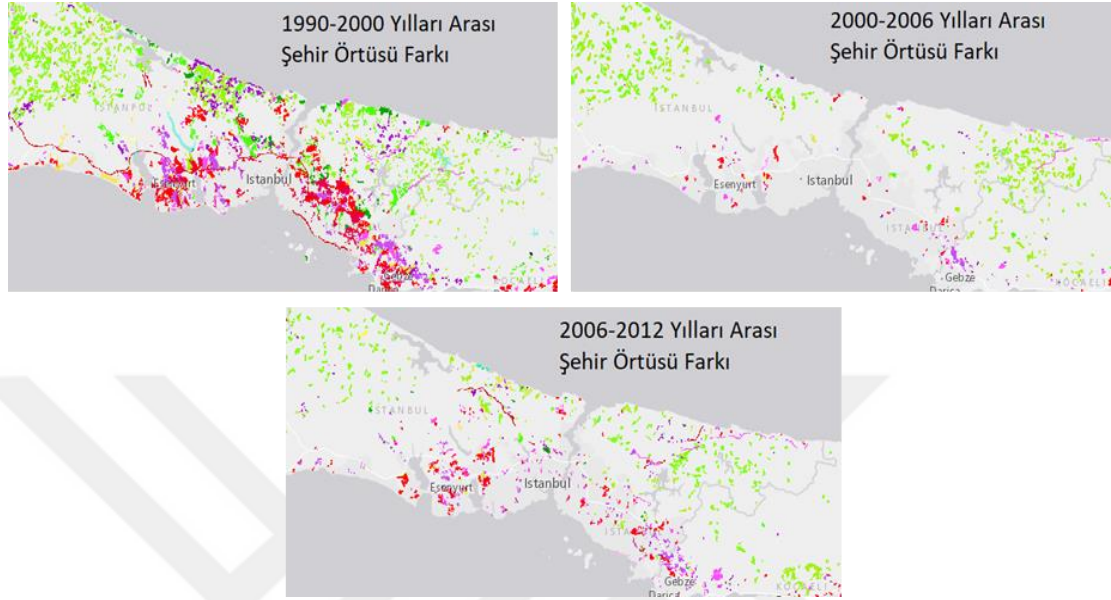


Şekil 2.2 : CORINE arazi örtüsü istanbul bölgesi yıllara göre değişimi (CORINE, 2019).

Mekansal ve spektral çözünürlük, uydu sensörünün dünya yüzeyindeki nesnelere yakalama kabiliyetini belirlemektedir. Uydu sensörleri her zaman dünyanın yüzeyindeki tüm farklı nesnelere yakalayamamaktadır. Yalnızca sensörlerin piksel boyutundan daha büyük ve çevreleyen nesnelere spektral olarak farklı olduklarında ayırt edilebilirler. CLC 2000 için 10x10m (SPOT Panchromatic) ile 80x80m (Landsat) uzamsal çözünürlüğü kullanılmıştır. Landsat-7 uydusu CLC 2006 için mevcut değildir, bu nedenle yeni bir uydu görüntü kaynağı kullanılmıştır. European Space Agency (ESA) ve Global Monitoring for Environment and Security (GMES) ile iş birliği, SPOT-4 ve IRS P6 olmak üzere iki yeni uydu sağlanmıştır. 2012 CLC'si içinde aynı uydu görüntüsü kombinasyonu kullanılmıştır. Bu iki sensörün mekansal kapsamı, Landsat-7'ye çok benzerdir. Görüntü renginde hafif teknik farklılıklar meydana gelmiştir. Bunlar, spesifik bant kombinasyonlarının uygulanmasıyla telafi edilmiştir. Uydu sensörleri sadece iş ölçeğini değil aynı zamanda kartografik ürünlerin ölçeğini de belirlemektedir. CLC'nin tüm çıktı ürünlerinin ölçeği 1:100000'e ayarlanmıştır, uydu görüntüleri (Spot, Landsat MSS, TM ve IRS) ve bunların temsili yoluyla arazinin temel özelliklerinin tespitini kolaylaştırmaktadır (EPA, 2019).

Çalışmada, CORINE 1990-2000-2006 ve 2012 verileri kullanılarak şehirleşmenin kar yağışına olan etkileri irdelenmiştir. Bu bağlamda 1990 yılı arazi örtüsü şehir örtüsünün en az olduğu yıl olarak baz alınmış, incelenen diğer yıllar olan 2000-2006 ve 2012

yılları için CORINE arazi örtüsü 1990 yılına göre revize edilmiştir. ARCGIS programı kullanılarak, her iki yıl da da şehir olan gridler şehir olarak bırakılmış; çalışılan yılda şehir olup, 1990 yılında şehir olmayan gridler için ise 1990 yılındaki gridin durumu mevcut durum olarak kabul edilmiştir.



Şekil 2.3 : CORINE arazi örtüsü 1990-2000, 2000-2006, 2006-2012 yılları için şehir örtüsü fark haritaları (CORINE, 2019).

Şehir örtüsü farkını daha iyi gözlemleyebilmek adına, Şekil 2.3’de 1990-2000, 2000-2006, 2006-2012 yıllarına ait şehir örtüsü fark haritaları verilmiştir.

2.1.3 ERA5 verileri

Model çalıştırılırken kullanılacak veri tipi olarak ERA5 verileri tercih edilmiştir. ERA5, ECMWF tarafından üretilen, birçok atmosferik karasal yüzey ve deniz durumu parametresiyle ilgili belirsizlik tahminleri ile birlikte saatlik veri sağlayan en güncel iklim reanaliz verisidir.

Çalışmada kullanılan ERA5 verileri 1979’dan günümüze olan verilerdir. Bu veriler günümüze kadar olan basınç seviyeleri hakkında saatlik veriler ve yüzey ve atmosfer katmanı için saatlik veri seviyeleridir. Veri setleri, İklim Veri Deposunda $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ çözünürlükte, normal enlem-boylam ızgaralarında (grid), 38 seviye düşey ve yaklaşık 28 km yatay çözünürlükte atmosferik parametrelere sahiptir (Çizelge 2.3) (ECMWF, 2019). ERA5, küresel iklimin beşinci nesil ECMWF atmosferik yeniden analizidir. Yeniden analizler, fizik yasalarını kullanarak model verilerini dünya genelindeki gözlemlerle birleştirerek küresel olarak eksiksiz ve tutarlı bir veri setine

dönüştürür. Veri asimilasyonu adı verilen bu prensip, sayısal hava tahmini merkezlerinin kullandığı methoda dayanmaktadır. Buradaki birçok saatte (ECMWF’de 12 saat), önceki tahmin, güncel gözlemler ile iyileştirilerek yeni bir tahminin yayımlandığı analiz adı verilen atmosfer durumunun en iyi tahminini üretmek için mevcut gözlemlerle en uygun şekilde birleştirilir.

Çizelge 2.3 : ERA5 veri açıklaması (ECMWF).

Yatay Alan	Küresel
Yatay Çözünürlük	0.25°x0.25° (Atmosfer), 0,5°x0.5° (Okyanus Dalgaları)
Düşey Seviye	1000 hPa - 1 hPa
Düşey Çözünürlük	37 Basınç Seviyesi
Zaman Aralığı	1979’dan Günümüze
Zamansal Çözünürlük	Saatlik

Yeniden analiz de yine bu şekilde çalışır; fakat birkaç 10 yıl öncesinin veri setlerini elde etmek adına düşük çözünürlükte çalışır. Yeniden analiz, zamanında tahmin verme kısıtına sahip değildir, bu sayede gözlemleri toplamak için daha fazla zamana sahiptir ve zaman içerisinde daha geriye giderken gözlemlerin iyileştirilmiş versiyonlarının alınımına izin verir. Bunların tümü yeniden analiz ürününün kalitesine fayda sağlamaktadır.

Asimilasyon sistemi, gözlemler arasındaki sapmaları tahmin etmekte ve iyi kalitedeki verileri zayıf verilerden elemektedir. Fizik yasaları, Kuzey Kutbu'ndaki yüzey sıcaklığı gibi, veri kapsamının düşük olduğu yerlerdeki tahminlere izin vermektedir. Her bir kılavuzdaki tahminlerin sağlanması, her bir normal çıktı zamanı için dünyayı işaret eder. Uzun süre boyunca, her zaman aynı formatı kullanmak, yeniden analiz etmeyi çalışmak için çok uygun ve popüler bir veri kümesi yapar.

Gözlem sistemi zaman içerisinde büyük ölçüde değişmiştir. Asimilasyon sistemi, veri eksikliklerini çözebilse, başlangıçta çok daha yaygın olan ağlar daha az doğru tahminlere yol açacaktır. Bu sebeple, ERA5 ürünlerinin nerede daha fazla ya da az olması gerektiği konusunda rehberlik sağlayan bir belirsizlik tahmini içermektedir.

Veri alışı ve yeniden analizler tamamlandığında, ERA5 toplam atmosfer büyüklüğü yaklaşık 9 petabayt olacak ve 1950’lerden beri olan küresel atmosferin gelişiminin ayrıntılı bir kaydını içerecektir. Her ne kadar analiz prosedürü bir seferde 12 saatlik bir pencerede veri parçalarını dikkate alsada ERA5 dünya çapında günün her saati için tahminler sunar. Bu, gözlemlerin tam zamanlamasını ve asimilasyon penceresi

içindeki model evrimini dikkate alan dört boyutlu varyasyon (4D-Var) asimilasyon yöntemi ile mümkün olmaktadır. Bu saatlik çıktı çözünürlüğü, bir diğer reanaliz veri seti olan ERA-Interim'e göre oldukça iyi bir gelişmedir ve belirli hava olaylarının daha ayrıntılı bir gelişimini sağlamaktadır (Climate reanalyze, 2019).

2.2 WRF Modeli

WRF hem atmosferik araştırma hem de sayısal hava tahmini için tasarlanmış yeni nesil bir mezo ölçek sayısal hava tahmin modelidir. İki dinamik çekirdek, bir veri asimilasyon sistemi, paralel hesaplamayı ve sistem genişletilebilirliğini destekleyen bir yazılım mimarisine sahiptir. Model, onlarca metreden binlerce kilometreye kadar olan ölçeklerde çok çeşitli meteorolojik uygulamalar sunmaktadır.

WRF geliştirme çalışmaları 1990'lı yıllarda başlamıştır. National Center for Atmospheric Research (NCAR), National Oceanic and Atmospheric Administration (National Centers for Environment Prediction (NCEP) ve Earth System Research Laboratory (ESRL) tarafından temsil edilen), U.S. Air Force, Naval Research Laboratory (NRL), Oklahoma Üniversitesi ve Federal Aviation Administration (FAA) iş birliğine dayanmaktadır (NCAR/UCAR, 2019).

WRF, gözlemlerden ve analizlerden alınan gerçek atmosferik koşullara veya idealize koşullara dayalı simülasyonlar üretebilir. Model, fizik, sayısal ve veri asimilasyonundaki son gelişmeleri yansıtırken, esnek ve hesaplama açısından verimli bir platform olan operasyonel öngörmeyi sunar. WRF şu anda NCEP'de ve diğer ulusal meteoroloji merkezlerinde ve laboratuvarlarda, üniversitelerde ve şirketlerde gerçek zamanlı tahmin yapılandırılmalarında kullanılmaktadır.

Model sistemi, Advanced Research WRF (ARW) çekirdeği ve Non-hydrostatic Mesoscale Modeli (NMM) olarak adlandırılan iki dinamik çözücü içerir. Dinamik çekirdekler genellikle, adveksiyon, basınç gradyanı, Coriolis, hidrostatik kaldırma, filtreler, difüzyon ve zaman çizelgesi içerir. ARW desteği ve gelişimi NCAR/MMM'den, NMM gelişimi NCEP/EMC'den desteği NCAR/DTC'den sağlanmaktadır. Fizik, yazılım çerçevesi, veri öncesi ve sonrası işlemleri çekirdekler arasında paylaşılır. Her iki çekirdek de atmosferik fizik ve parameterizasyon araştırmalarında, olay çalışmalarında, gerçek zamanlı NWP ve tahmin sistemi araştırmasında ve data asimilasyon araştırmasında kullanılmaktadır. Yalnızca ARW

ise, bölgesel iklim ve mevsimsel zaman ölçeği araştırmasında, küresel simülasyonlarda ve konveksiyon, baroklinik dalgalar, geniş girdap simülasyonları gibi birçok ölçekte idealize edilmiş simülasyonlar da kullanılmaktadır (NCAR/UCAR, 2019).

WRF atmosferik simülasyonlar üretir. Sürecin iki aşaması vardır; bunlardan ilki, model alanını yapılandıran, girdi verilerini alan ve başlangıç koşullarını hazırlayan, ikincisi ise öngörü modelini çalıştırmak için kullanılan aşamalardır. Model simülasyonları, WRF ön işleme sistemi olan WPS ile başlar. WPS öncelikli olarak coğrafi bilgileri (topoğrafya, yüzey örtüsü) kullanarak modelin alanını kurar. Daha sonra, kullanıcının alanı için gerekli olan ilk tahmin verilerini içine çeker, yeniden biçimlendirir ve interpolate eder.

Son olarak, girdi alanları modelin düşey seviyelerine yerleştirilir ve yanal sınır koşulları oluşturulur. Tüm bu işlemler sonucunda model çalışmaya hazırdır. Bu süreç, atmosferik işlemler (mikrofizik, radyasyon, gezegensel sınır tabaka v.b.) için dinamik çözücü ve fizik paketlerini içeren tahmin bileşeni tarafından yapılır. Bir araştırma aracı olarak kullanılmasının yanısıra model, idealleştirilmiş simülasyonlar koşulluk üzere yapılandırılabilir. Bu imkân, kullanıcıların sınırlı fizik kullanırken parametreleri ve başlangıç koşullarını değiştirebilmelerine olanak verir (NCAR/UCAR, 2019).

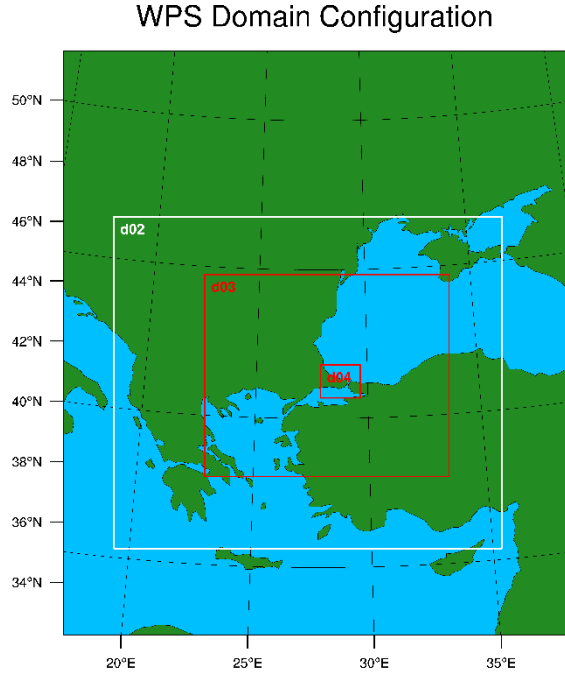
2.2.1 Model çalışma alanı ve fizik şeması

Simülasyonlar, dört iç içe alanlar içermektedir (Şekil 2.4). Her bir alan için sırasıyla 27, 9, 3 ve 1 km grid aralığı vardır. Modelin düşey çözünürlüğünde otuz sekiz seviye kullanılmıştır. Radyasyon, kümülüs, atmosferik sınır tabakası, yüzey ve nem parametreleri için çeşitli fiziksel parameterizasyonlar ve Lambert Konformal Konik İzdüşüm projeksiyonu kullanılmıştır.

WRF modeli genel olarak cepheleri ve siklonları oldukça iyi simüle eder, çünkü baroklinik kararsızlık iyi anlaşılmuş bir hadisedir. Bununla birlikte, karmaşık arazideki cephelerin ve siklonların zamanlamasını ve ayrıntılı yapılarını simüle etmek hala bir zorluktur (Cheng ve Steenburgh, 2007). Sorunun bir kısmı, sayısal modellerin altında yatan orografyi yeterince çözemediği gerçeğinde yatmaktadır.

Bazı araştırmalar cephelerin ve siklonların mezo ölçek modellerde okyanus veya düz araziler üzerinde fiziği modelleme hassasiyetini incelemiştir (örneğin, Zhang ve diğ,

1999). Bununla birlikte, daha az sayıda çalışma WRF modelinde cephelerin ve siklonların karmaşık arazi üzerindeki hassasiyetini WRF modelinde çok yüksek çözünürlükte incelemiştir.



Şekil 2.4 : Çalışma alanı nestleri.

Fiziksel parameterizasyonlar simülasyon için oldukça önem taşır. Bunun en temel sebebi, parameterizasyonların birçok olasılığının olması ve kombinasyonlarının çıktısı, doğruluğunu etkilemesidir. WRF modelindeki fiziksel parameterizasyonlar; radyasyon (kısa ve uzun), yüzey (yüzey katmanı ve toprak/su yüzeyi), atmosferik sınır tabaka (PBL), türbülanslı/difüzyon, kümülüs parametresi ve mikrofiziktir.

Bu çalışmada WRF/ARW kullanılarak, belirlenen hadise günlerinin simülasyonları yapılmış, simülasyonlar yapılırken, parametreler geçmiş araştırmalar ışığında belirlenmiştir. Seçilen model fizik seçenekleri Çizelge 2.4’de verilmiştir. Uzun dalga boyu parameterizasyonu için hızlı radyasyon transfer modeli (RRTM) şeması seçilmiştir. Kısa dalga boylu radyasyon parametresi için ise NCAR/CAM seçilmiştir. NCAR/CAM, CCSM’de kullanılan CAM 3 iklim modelinden derlenmiştir. Aerosoller ve iz gazlar için kullanılabilir. Arazi Yüzey parametresi MM5 benzerliği olarak belirlenmiştir. MM5 benzerliği, Carslon-Boland viskoz alt tabakasına sahip Monin-Obukhov standart benzerlik fonksiyonları baz alınarak hazırlanmıştır. Kara/Su Yüzey parametresi için NOAH seçilmiştir. NOAH, dört tabakadaki toprak sıcaklığı ve nemi, kısmi kar örtüsü ve donmuş toprak fiziği ile birleştiren NCEP/NCAR/AFWA

şemasıdır. 1. ve 2. model alanı için Kain-Fristch kümülüs şeması kullanılırken 3. ve 4. alan için ise herhangi bir kümülüs şeması kullanılmamıştır. Kain-Fristch, aşağı yönlü hava akımı ve konvektif yeterlikli potansiyel enerji kaldırma zaman ölçeği ile kütle akı yaklaşımı kullanan derin ve sığ konveksiyon şemasıdır. Buna ek olarak, sürüklenme / bozulmayı belirlemek için karmaşık bir bulut karıştırma şeması kullanır ve bunlar üzerinde kayma efektleri içerir. Atmosferik sınır tabaka parametrizasyonu olarak, Yonsei Üniversitesi tarafından hazırlanan YSU kullanılmıştır. YSU, sınır tabakasında yüksek çözünürlük için uygun olan kararsız karışık tabakada belirgin tabaka ve parabolik K profilini açıklar. Mikrofizik parametrizasyonu olarak Lin Et. Al kullanılmıştır. Bu parametrizasyon, gerçek verilerle yüksek çözünürlüklü simülasyonlar için uygun, buz, kar, bulut ve grezil işlemlerine sahip sofistike bir şemadır. Ayrıca mezo ölçekte grid boyutu için buz karı işlemlerini de içerir (Run ve Case, 2019).

Çizelge 2.4 : Parametrizasyonlar.

Uzundalga Radyasyon Parametrizasyonu	RRTM
Kısdalga Radyasyon Parametrizasyonu	NCAR/CAM
AraziYüzey Parametrizasyonu	MM5
Kara/Su Yüzey Parametrizasyonu	NOAH
Kümüülüs Parametrizasyonu	Kain-Fristch
Atmosferik Sınır Tabaka Parametrizasyonu	YSU
Mikrofizik	Lin. Et. Al.

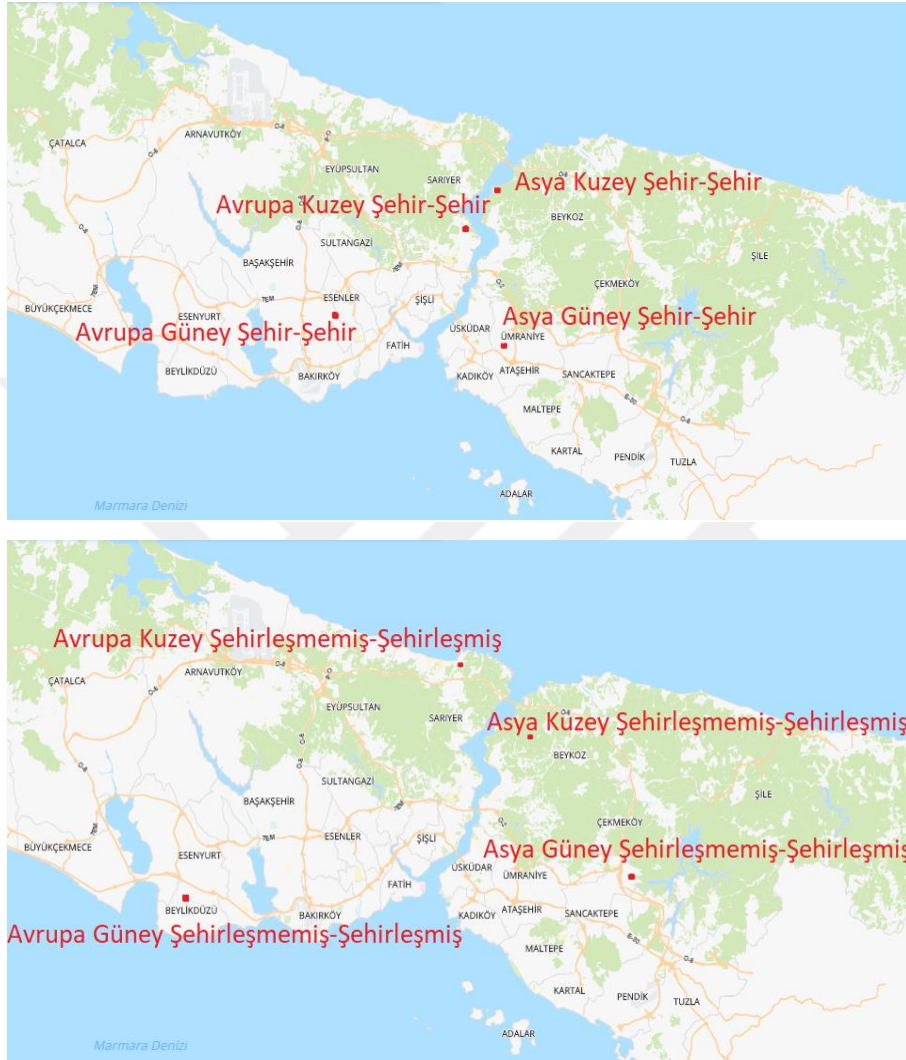
3. ANALİZLER

Bu bölümde, seçilen her bir hadise için yapılacak analizler, sinoptik analiz ve şehirleşme analizi olarak iki kısımda incelenmiştir. Sinoptik analiz kısaca belirli bir zamanda çeşitli atmosferik gözlem ve model verilerine dayanarak atmosferik şartların belirlenmesidir. Ayrıca sinoptik analizler basınç paternlerinin, rüzgâr hızı ve yönünün, çeşitli seviyelerdeki sıcaklık ve nem değerlerinin gelecek birkaç günde nasıl değişeceğini tahmin etmekte de oldukça yararlıdır.

Özellikle kar yağışını oluşturan atmosferik şartların belirlebilmesi için sinoptik analizler büyük önem arz etmektedir. Gözlenen yağış tipi, sıcaklık ve nem dağılımları, düşey hareket, bulut ve buz çekirdeği dağılımlarını içeren belirli atmosferik koşullara bağlıdır. Bununla birlikte, düşey sıcaklık profilinin önemli olduğu uzun zamandır bilinmektedir (Wagner, 1957; Koolwine, 1975; Bocchieri 1980; Czys ve diğ., 1996). Bazı durumlarda, farklı fazlar arasında, örneğin donmuş yağmur ve yağmur arasında veya kar ve yağmur arasında bir geçişin olması için sadece 1°C'lik bir sıcaklık değişimi yeterlidir. Bu, yağış türlerini doğru bir şekilde belirlemek için doğru bir düşey sıcaklık profili tahmini yapılması gerektiği anlamına gelir (Bourgouin, 2000). Bu nedenle bu çalışmada şehirleşmenin İstanbul'daki kar yağışına etkilerini incelemek için seçilen 2000, 2004 ve 2012 yıllarında meydana gelen aşırı kar yağışı hadiselerinin sinoptik analizlerine yer verilmiştir.

Şehirleşme analizi yapılırken, model iki farklı şehir örtüsü altılığı ile çalıştırılmış, sonuçları karşılaştırılmıştır. Her bir hadise öncelikle kendi yılına ait şehir altılığı, sonrasında 1990 yılına göre yeniden uyarlanarak şehir altyapısı azaltılan şehir altılığı tanıtılıp çalıştırılmıştır. Model çıktıları kullanılarak zaman serileri elde edilmiştir. Zaman serilerinde kullanmak üzere 8 adet nokta seçilmiştir. Bu noktalar Avrupa ve Asya kıtalarının kuzey ve güney kesimlerinden ikişer adet seçilmiştir. Seçilen noktalardan biri, şehir örtüsünün az olduğu yılda da şehir olup, şehirleşmenin arttığı yılda da şehir olan nokta olup, diğeri şehirleşmenin az olduğu yılda şehir olmayıp şehirleşmenin arttığı yılda şehir olan noktadır. 2000-2004-2012 yıllarında yaşanan kar yağışı hadiselerinin her biri için tamamen aynı noktalar kullanılmıştır. Bunun sebebi

şehirleşmenin etkisini ilerleyen yıllar içerisinde noktasal bazlı görebilmektir. Seçilen bu noktalar Şekil 3.1’de verilmiştir. Zaman serileri hem sıcaklık hem de kar su eşleniği değeri için hazırlanmıştır. Yapılan tüm analizler sonrasında elde edilen sonuçlar doğrultusunda şehirleşmenin etkisi değerlendirilmiştir.



Şekil 3.1 : Zaman serilerinde kullanılmak üzere seçilen noktalar.

3.1 Model Tutarlılık Analizi

Bu çalışmada, İstanbul’da, 18-26 Ocak 2000, 22-24 Ocak 2004 ve 26 Ocak- 2 Şubat 2012 tarihlerindeki kar yağışı etkileri WRF ile benzeşimleri (simülasyonları) yapılmış ve bu simülasyonlardan elde edilen değerler, modelin doğruluğunu anlamak adına, Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden alınan gözlem verileri ile karşılaştırılmıştır.

Her bir hadise için hazırlanan model-gözlem karşılaştırma grafikleri Şekil 3.2-3.3-3.4’de verilmiştir. Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden elde edilen veriler yağış ve

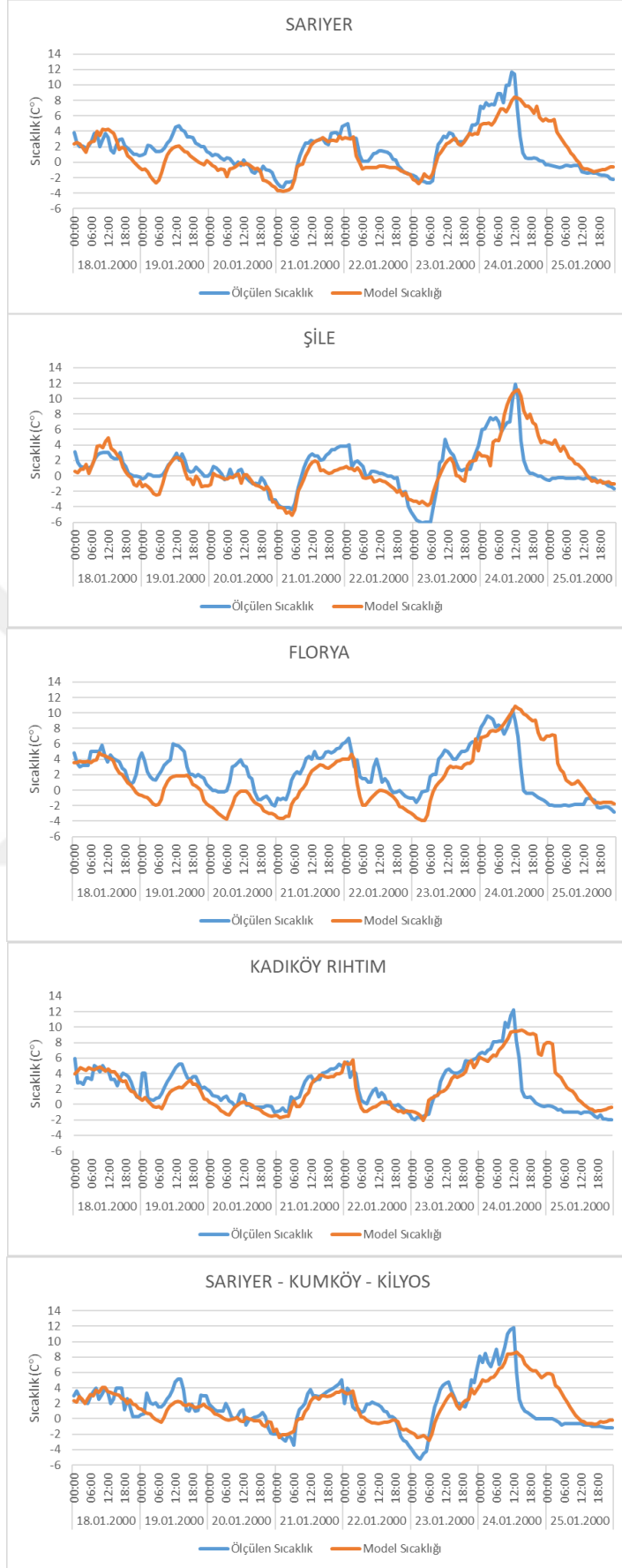
sıcaklık verileridir. Bu veriler kullanılarak, her bir istasyona ait, yıllara göre veri mevcudiyeti tablosu hazırlanmıştır (Çizelge 2.1-2.2). Bu doğrultuda veri sürekliliği bakımından uygun olabilecek beş adet istasyon seçilmiştir. Bunlar, Sarıyer-Kumköy-Kilyos, Florya, Şile, Kadıköy Rıhtım ve Sarıyer istasyonlarıdır. Seçilen istasyonlara ait ve WRF modeli çıktılarından elde edilen sıcaklık verileri, modelin tutarlılığını analiz edebilmek için karşılaştırılmıştır.

2000 yılı için model ile elde edilen sıcaklık değerleri, istasyon verilerinden birkaç derece daha düşük seyrederken, 2004 ve 2012 yılların bu durum tam tersidir. 2004 ve 2012 yıllarında modelden elde edilen sıcaklık değerleri, istasyon verilerinin üzerinde değerler vermektedir.

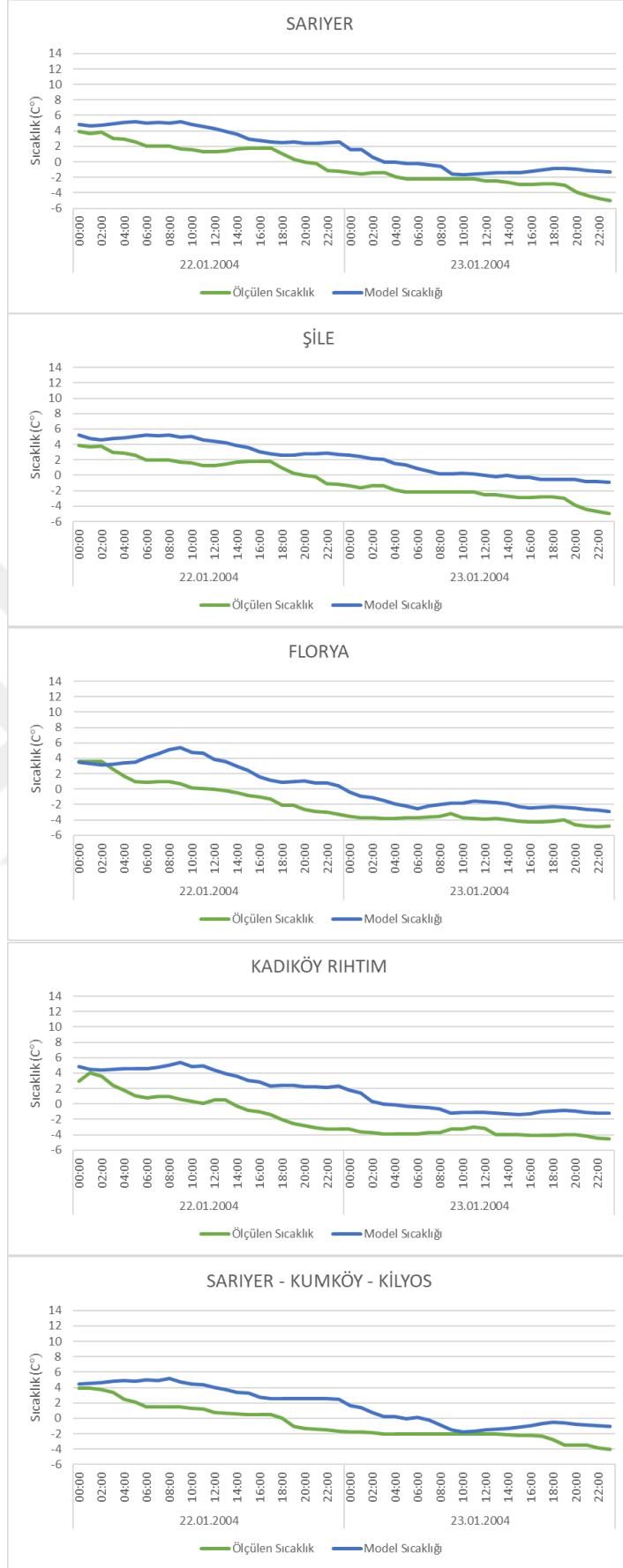
Şekil 3.2’de seçilen beş istasyona ait 2000 yılı model gözlem karşılaştırma grafiği verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, model verilerinin gözlem verileri ile uyum içinde olduğu görülmektedir. Model ve gözlem verileri arasında genel olarak 2-3 derecelik farklılıklar olduğu dikkat çekmektedir. Model sıcaklıkları, gözlem sıcaklıklarından daha düşük değerler elde etmiştir. Model ve gözlem verileri 24 Ocak 2000 tarihi öğle saatlerine kadar benzer salınımlar göstermiştir. 24 Ocak 2000 tarihi öğle saatlerinden sonra modelden elde edilen değerler, gözlem verileri değerlerine göre daha daha yüksek sıcaklık değerlerine sahiptir. 24 Ocak 2000 öğle saati hadisenin en şiddetli yaşandığı saattir.

Şekil 3.3’de 2004 yılına ait model gözlem karşılaştırma grafiği verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, model sıcaklıklarının tüm istasyonlarda, ölçülen sıcaklıklardan birkaç derece daha yüksek olduğu; ancak istasyonun ölçüm sıcaklıkları ve model sıcaklıklarının salınımları birbirlerine oldukça benzerdir. 23 Ocak 2004 öğle saatlerine doğru yağış maksimum seviyeye ulaşmıştır. Bu tarih grafiklerde incelendiğinde, model ve gözlem tutarlılığının da en yüksek olduğu tarih olduğu dikkat çekmektedir.

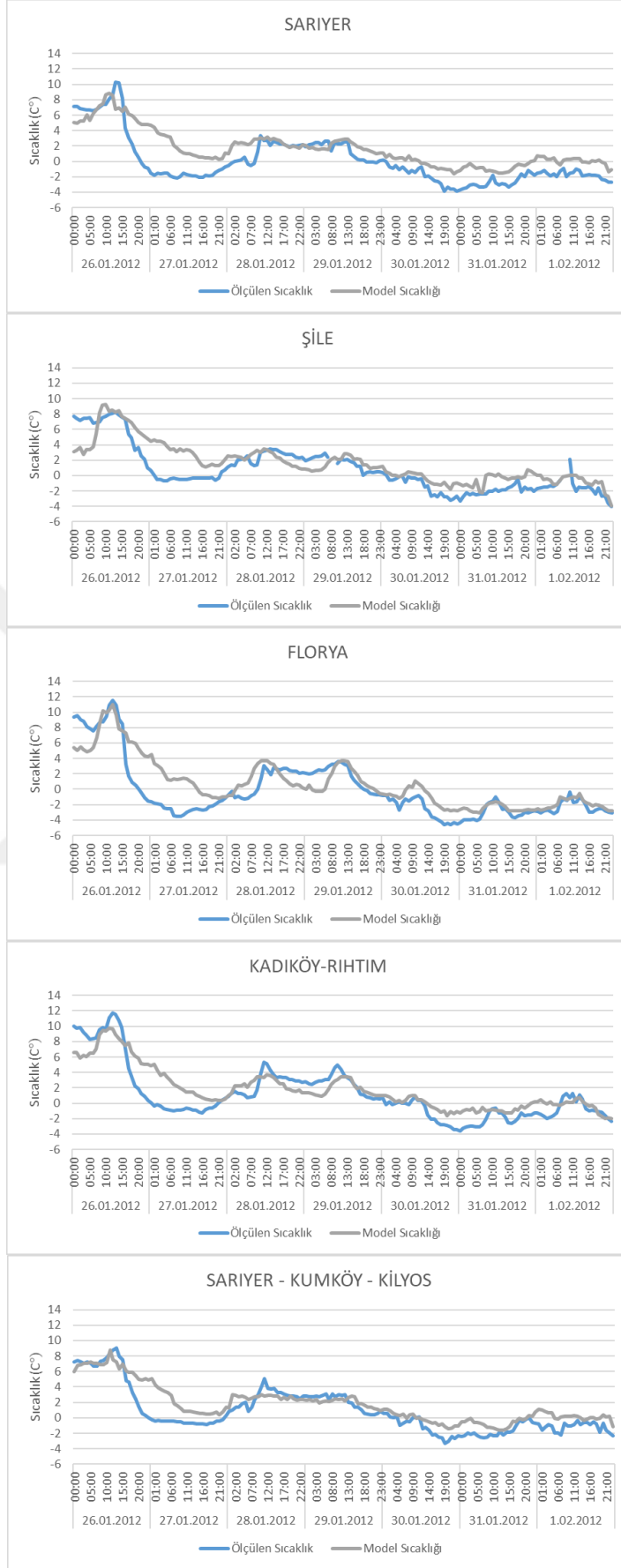
Şekil 3.4’de 2012 yılına ait sıcaklık değerlerinin model gözlem karşılaştırma grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, 2004 yılı grafiklerinde olduğu gibi birbirlerine yakın değerler elde edildiği, model verilerinin gözlem verilerinden birkaç derece yüksek olduğu görülmektedir. Yağışın maksimuma ulaştığı günler olan 27 Ocak ve 31 Ocak tarihlerinde, model ve gözlem tutarlılıkları da maksimuma ulaşmıştır. Yapılan analizler doğrultusunda, WRF modeli kullanılarak elde edilen değerlerin, gözlem verileri değerleri ile tutarlı sonuçlar elde ettiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 3.2 : 2000 yılı model ve gözlem verileri karşılaştırması.



Şekil 3.3 : 2004 yılı model ve gözlem verileri karşılaştırılması.



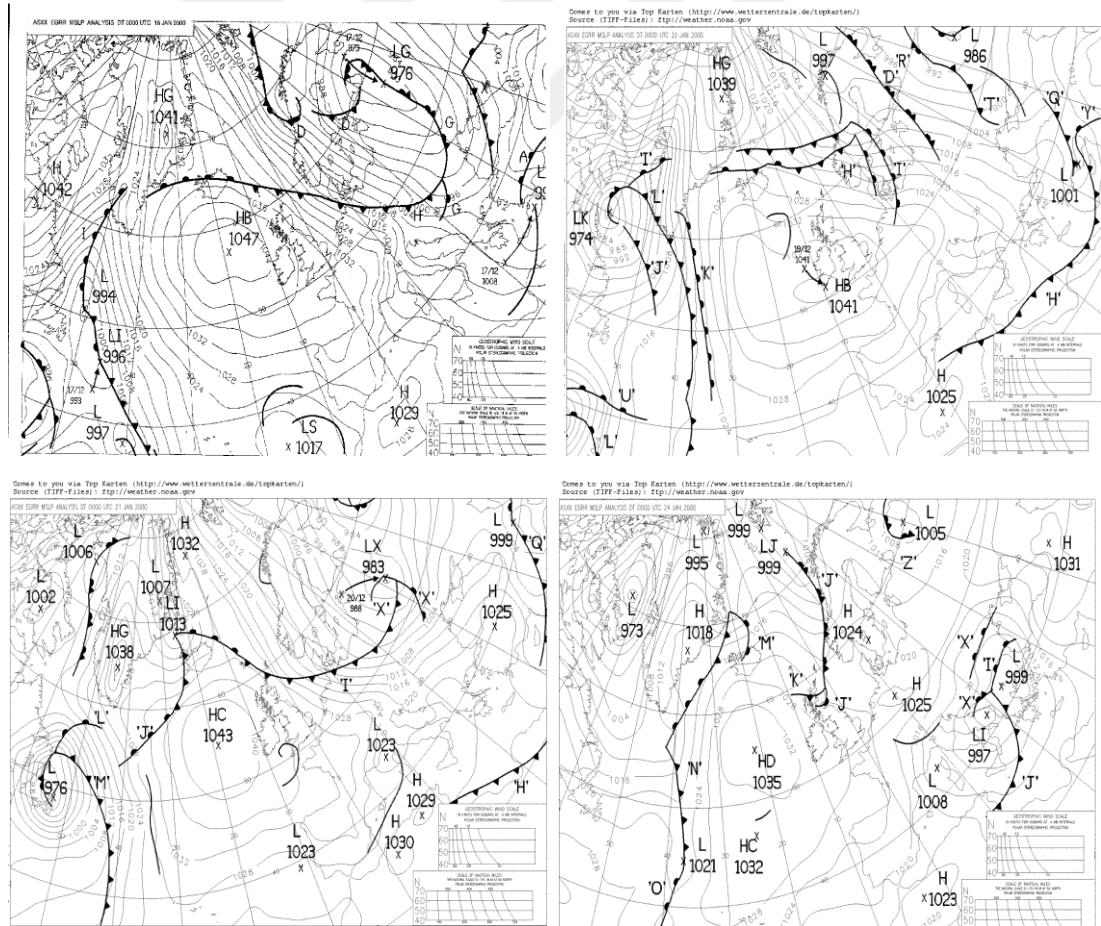
Şekil 3.4 : 2012 yılı model ve gözlem verileri karşılaştırması.

3.2 18.01.2000 – 26.01.2000 Kar Yağışı

18 Ocak 2000 tarihi itibari ile İstanbul'da hafif şiddette ve aralıklarla görülen kar yağışı 24 Ocak 2000 gecesi itibari ile düşük sıcaklık değerleri ile birlikte şiddetli kar yağışına dönmüş ve 26 Ocak 2000 tarihine kadar etkisini sürdürmüştür.

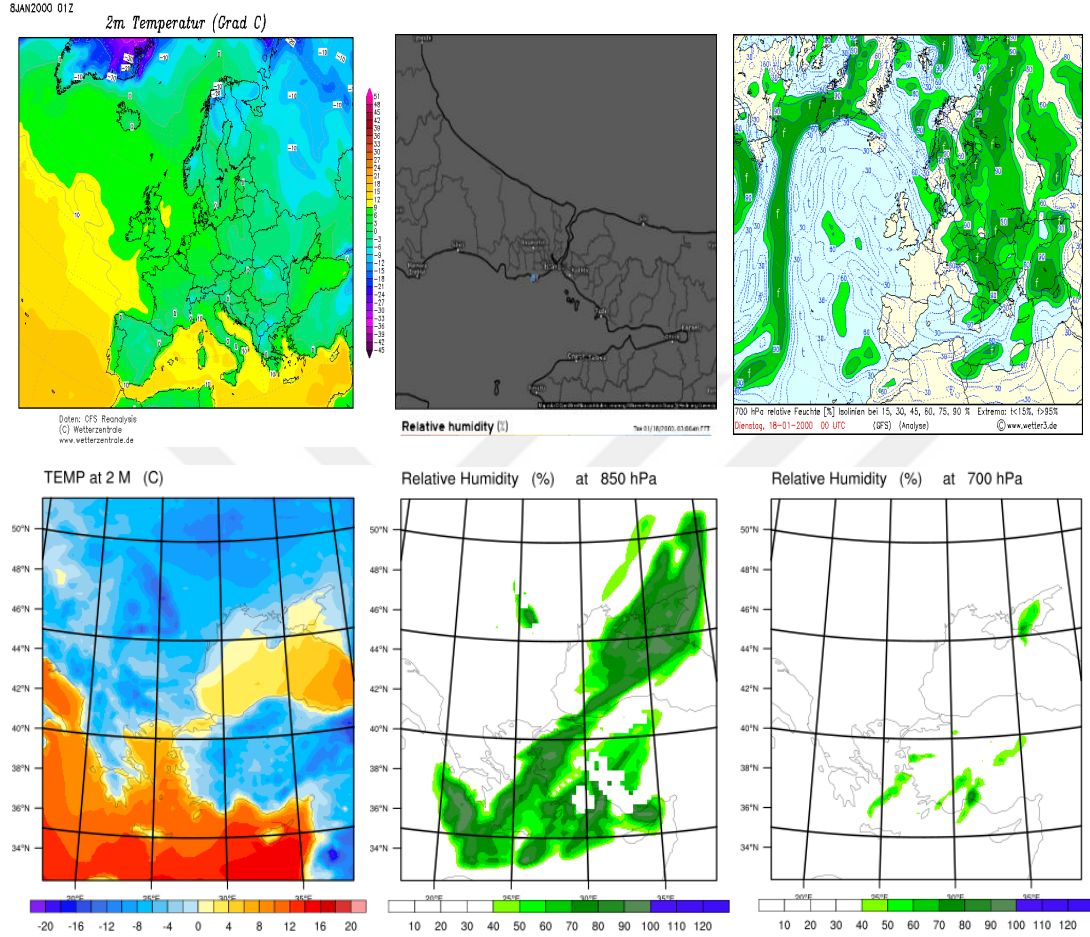
3.2.1 Sinoptik Analiz

18 Ocak 2000 tarihinde Türkiye'nin kuzeyinde bulunan soğuk cephenin etkisini göstermesi ile hafif şiddette ve aralıklı kar yağışı İstanbul ve çevresinde görülmeye başlanmıştır. Bu hafif şiddette etkisini gösteren sistem zamanla doğuya kayarak İstanbul üzerindeki etkisini kaybetmeye başlamıştır. Bu sistemin geçişiyle birlikte 20 Ocak 2000 tarihinde Türkiye üzerindeki yüksek basınç sistemi yağışların kesilmesine sebep olmuştur. Bu sistemi takiben ülkemize 21 Ocak 2000 tarihi 18 UTC'den itibaren Balkanlar üzerinden giriş yapan soğuk cephe İstanbul üzerinden Türkiye'nin güneyine doğru ilerlemiştir.



Şekil 3.5 : 18 Ocak 2000-00 UTC (sol üstte), 20 Ocak 2000-00 UTC (sağ üstte), 21 Ocak 2000-00 UTC (sol altta), 24 Ocak 2000-00 UTC (sağ altta) tarihli yer kartları.

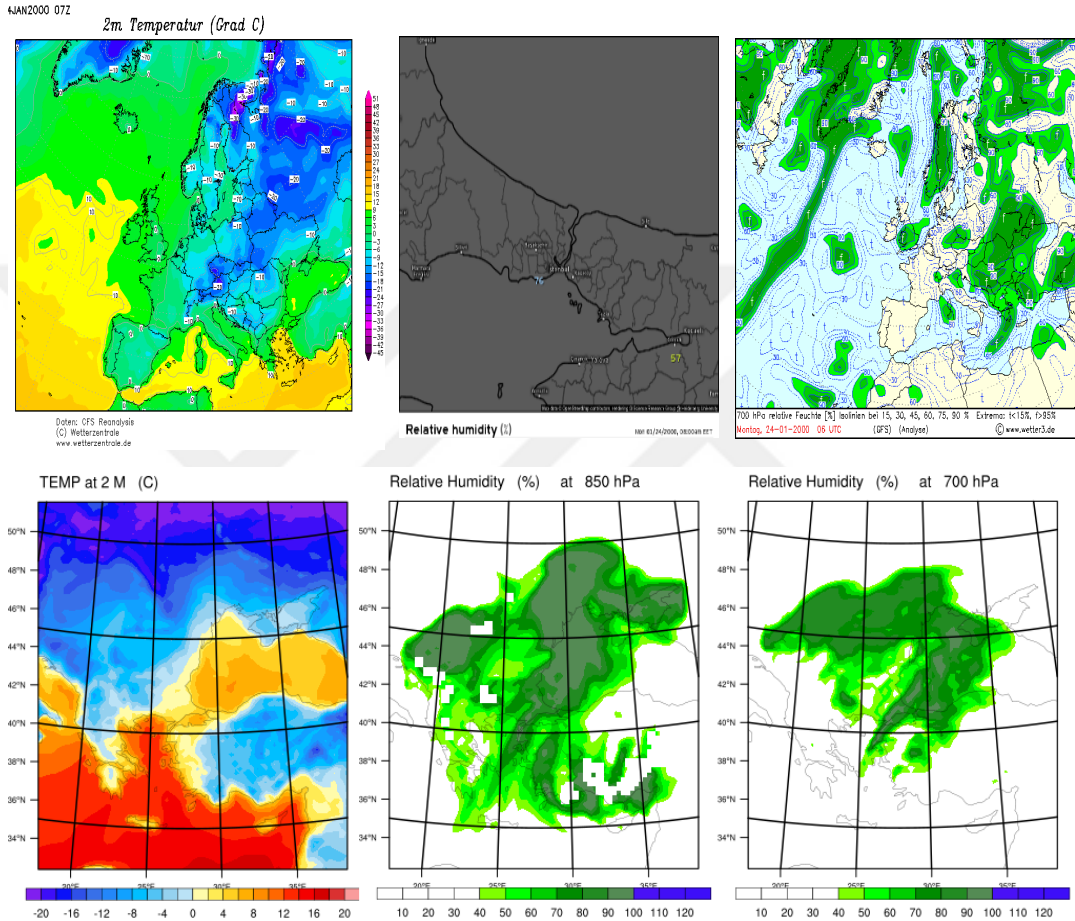
Bu sistem ayın 24'ü itibari ile siklonik dönüş yaparak oklüzyon cephe halini almıştır. Bu dönüş sırasında Ege ve Marmara denizinden nem kazanarak kuvvetli kar yağışına sebep olmuştur. Sistem İstanbul ve çevresindeki etkisini 26 Ocak 2000 tarihine kadar göstermiştir (Şekil 3.5).



Şekil 3.6 : 18.01.2000 03 UTC gözlem haritaları, 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem 01 UTC (üste ortada), 700 mb nem (üstte sağda) 18.01.2000 03 UTC model haritaları, 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700 mb nem (altta sağda).

Özellikle yağışın süresi ve şiddetini belirleyen en önemli etmenlerden biri atmosferin değişik seviyelerindeki nem miktarıdır. Şekil 3.6'da 18 Ocak 2000 tarihine ait gözlem ve model çıktıları ile elde edilen 2m sıcaklık, 850 mb ve 700 mb nem haritaları verilmiştir. 18.01.2000 tarihinde 850 mb seviyesinde bağıl nem oranı %75 civarındadır; bu değer hem gözlem hem de model haritalarında da benzer orandadır. Ayrıca yeryüzüne yakın seviyelerdeki sıcaklıklar donma noktasının üzerindedir. Bu durum yağışın sulu kar şeklinde yere ulaşmasına neden olmuştur. Atmosferin daha yüksek seviyelerindeki nem miktarı daha düşük olduğu için yağış hafif şiddette ve aralıklarla gerçekleşmiştir (Şekil 3.6).

Şekil 3.7’de 24 Ocak 2000 tarihine ait gözlem ve model çıktıkları ile elde edilen 2m sıcaklık, 850 mb ve 700 mb nem haritaları verilmiştir. Gözlem haritaları incelendiğinde, 24 Ocak itibari ile yüzey sıcaklığı 0°C derece civarına düşmüştür. Buna ek olarak siklonik dönüş başlayan sistem yer seviyesindeki nemi yukarı seviyelere kadar taşımıştır. Bu durum yer seviyesindeki nem değerlerini düşürükten yukarı seviyelerde nemlilik değerlerini arttırmıştır (Şekil 3.7).

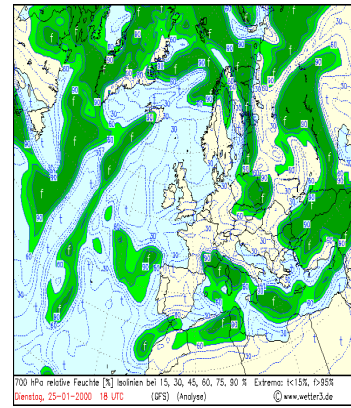
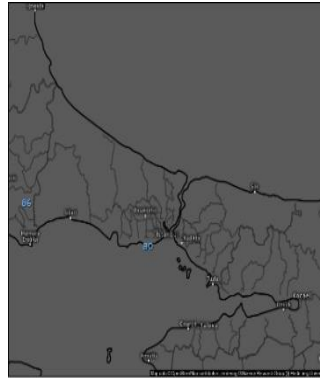
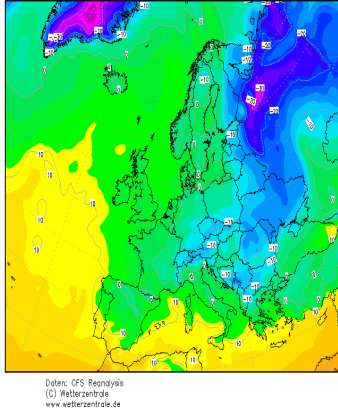


Şekil 3.7 : 24.01.2000 06 UTC gözlem haritaları, 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda) 24.01.2000 06 UTC model haritaları, 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700 mb nem (altta sağda).

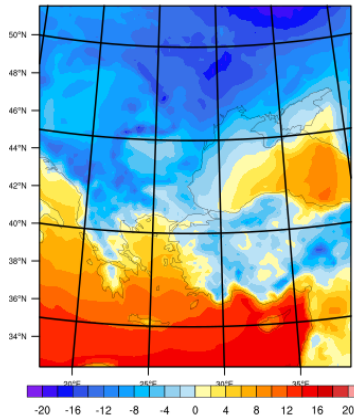
25 Ocak 2000 tarihinde yüzey sıcaklıkları -4°C derece civarındadır. Nemlilik değerleri, bu tarihte sıcaklıkların düşmesi ve deniz etkisiyle beraber bağıl nem değerleri maksimuma ulaşarak yer seviyesinde nem tekrar yükselmiş, İstanbul üzerinde 850 mb seviyesinde bağıl nem %100’e, 700mb seviyesinde ise %70 - %80 civarına ulaşmıştır. Yere yakın seviyelerdeki sıcaklıkların donma noktasının altında olması yağışın kuvvetli ve sürekli kar yağışı olarak yere ulaşmasını sağlamıştır (Şekil 3.8).

15JAN2000 13Z

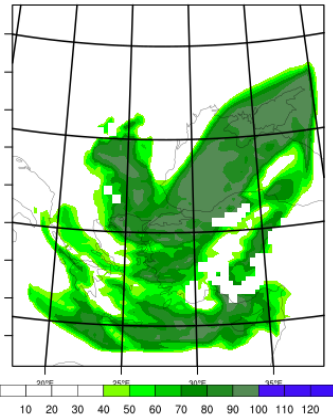
2m Temperatur (Grad C)



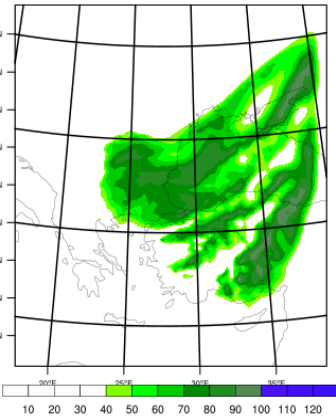
TEMP at 2 M (C)



Relative Humidity (%) at 850 hPa



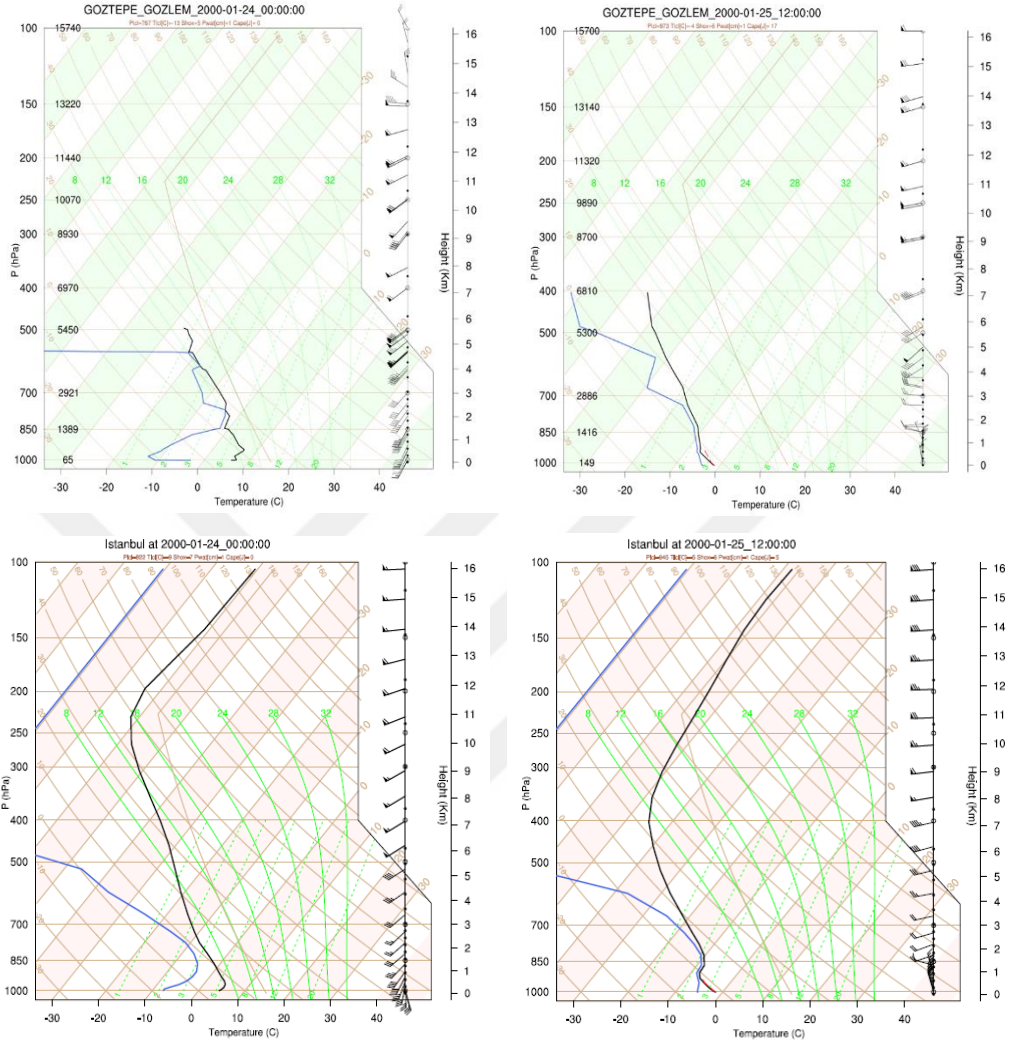
Relative Humidity (%) at 700 hPa



Şekil 3.8 : 25.01.2000 15 UTC gözlem haritaları, 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem-18 UTC (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda), 25.01.2000 15 UTC model haritaları, 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700 mb nem (altta sağda).

Şekil 3.9’de verilen gözlem ve model Skew-T Diyagramları incelendiğinde; İstanbul ve çevresinde şiddetli kar yağışının gözlemlendiği 24 Ocak 2000 tarihinde yüzeyden 500 mb seviyesine doğru rüzgârlar ile birlikte kuzey ve güney batılı rüzgarlardan önemli bir nem taşınımı gerçekleşmiştir. Bu durum düşük sıcaklık değerleri ile birlikte kar yağışının şiddetlenmesine neden olmuştur. 25 Ocak 2000 tarihi 06 UTC ‘ye ait Skew-T diyagramı ve yer kartları birlikte incelendiğinde, 06 UTC itibari ile oklüzyon cephenin İstanbul üzerinden güney-doğu yönüne ilerlemesi ile sistem nem desteğini kaybetmiş, bulutlar yere yakın seviyelerde kalmış ve yağışın etkileri azalmıştır. Modelden elde edilen Skew-T diyagramı ile gözlem verileri ile oluşturulan Skew-T diyagramı karşılaştırıldığında yüzey sıcaklıklarının tahmini konusunda modelin oldukça başarılı olduğu görülmektedir. 24 Ocak 2000 00 UTC tarihli model tahminlerde bulut kalınlığı, yukarı seviyelerdeki hava sıcaklığı ve çığ noktası sıcaklığı tahmininde yeterli oranda başarı gösterememiştir. Ancak sistemin etkisini kaybetmeye başladığı 25 Ocak

2000 12 UTC’de model tahminleri ölçüm verileri oldukça tutarlıdır. Ayrıca yer seviyesinden atmosferin yukarı seviyelerine kadar rüzgâr yön ve şiddet tahmininde modelin yine oldukça başarılı olduğu görülmektedir.

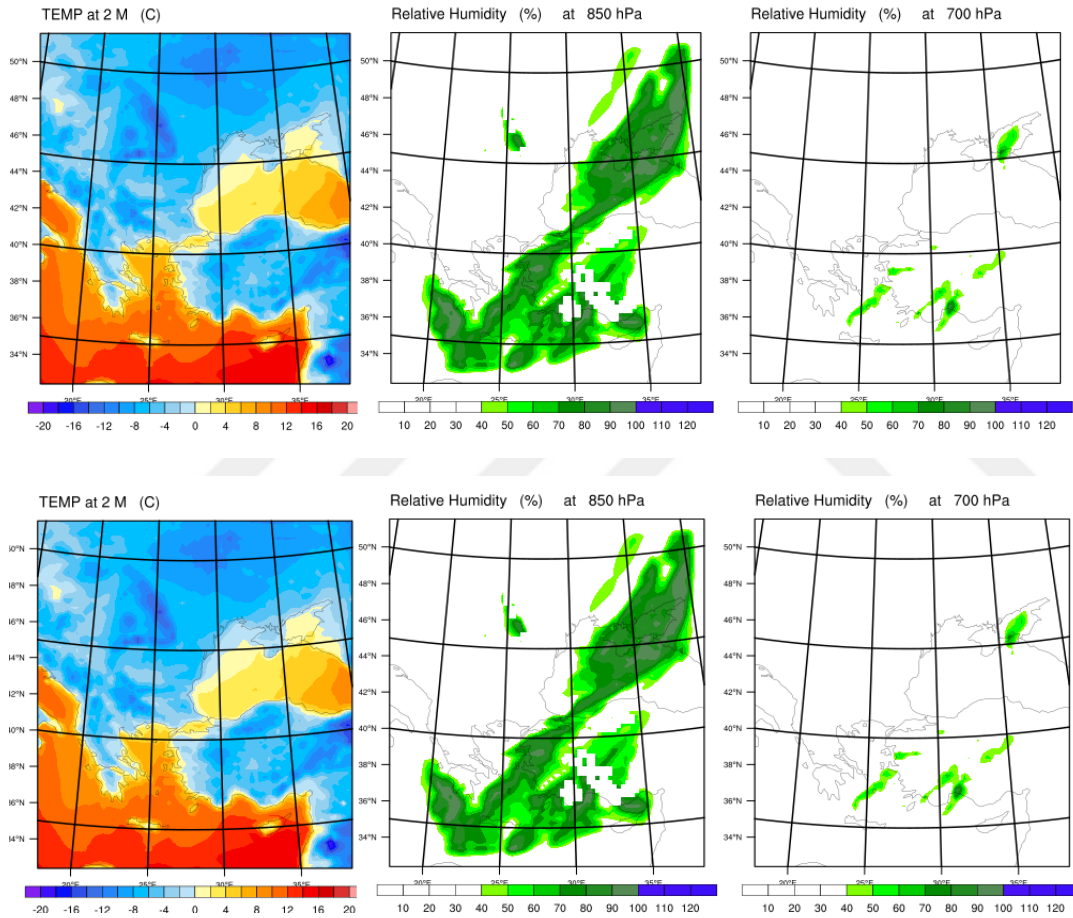


Şekil 3.9 : 24.01.2000 00 UTC (üstte solda) - 25.01.2000 12 UTC (üstte sağda) gözlem Skew-T diyagramları, 24.01.2000 00 UTC (altta solda) - 25.01.2000 12 UTC (altta sağda) model Skew-T diyagramları.

18 Ocak 2000 – 26 Ocak 2000 tarihli, İstanbul ve civarında şiddetli kar yağışına sebep olan sistemin tahmininde WRF modeli ve gözlem verileri karşılaştırıldığında yer seviyesindeki sıcaklık ve rüzgar değerlerinin tahmini konusunda oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir. Ayrıca atmosferin 850mb ve 700 mb seviyelerindeki nem miktarının tahmininde de gözlem haritaları ile oldukça tutarlı sonuçlar vermiştir. Ancak genel olarak Skew-T diyagramının tahmininde de WRF modeli başarılı olsa da 24 Ocak 2000 00 UTC’de atmosferin üst seviyelerindeki sıcaklığı ve çığ noktası sıcaklığı tahmininde yeterli başarıyı gösterememiştir.

3.2.2 Şehirleşme Analizi

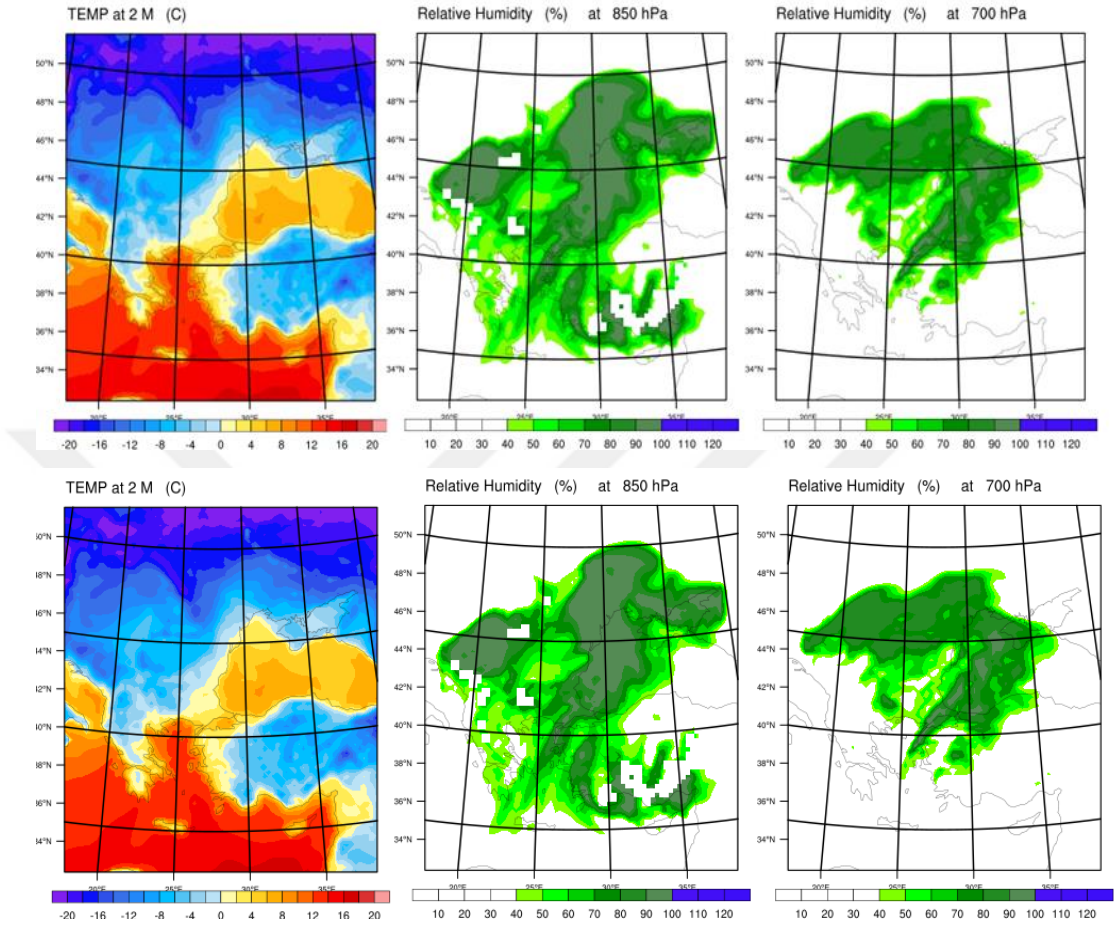
Bu çalışmanın amaçlarından en önemlisi şehirleşmenin kar yağışına etkilerini incelemektir. Bu bağlamda hadise yılına ait arazi örtüsü altlıkları kullanılarak model çalıştırıldıktan sonra, 1990 yılındaki arazi örtüsü temel alınarak yeniden derlenen altlık kullanılarak model tekrar çalıştırılmıştır. Gerçek altlık ve düzenlenmiş altlığa ait haritalar karşılaştırılarak şehirleşmenin etkileri değerlendirilmiştir. 1990 yılı ile 2000 yılı arasındaki şehir örtüsünde çok fazla değişiklik olmamıştır. Bu durumda elde edilen sonuçlarda da pek fazla bir değişik görülmesi beklenmemektedir.



Şekil 3.10 : 18.01.2000 03 UTC'ye ait gerçek altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda) 18.01.2000 03 UTC'ye ait düzenlenmiş altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700mb nem (altta sağda).

Şekil 3.10'da 18 Ocak 2000 tarihli 03 UTC'ye ait model haritaları verilmiştir. Haritalarda 2m sıcaklık, 850 mb nem ve 700 mb nem haritaları bulunmaktadır. Üst tarafta bulunan haritalar hadise yılına ait (2000) altlıkla hazırlanan haritalardır. Alt tarafta bulunan haritalar ise, 1990 yılına göre yeniden derlenen altlıkla hazırlanan haritalardır. Her ikisi de incelendiğinde, hem sıcaklık hem de nem değerlerinde gözle

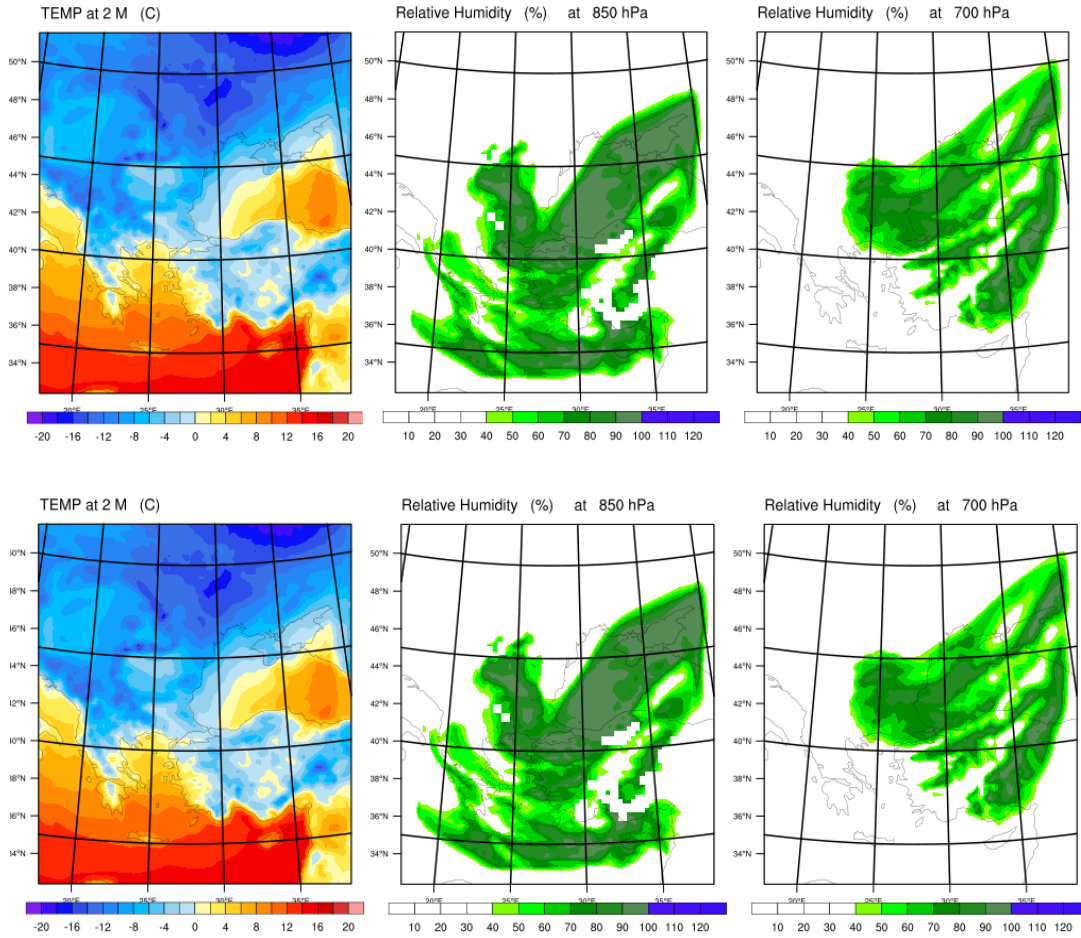
görülür bir fark olmadığı sonucuna ulaşılmıştır. Her iki durumda da, sıcaklık değerleri 0 derecenin biraz üzerindedir, 850 mb nem değerleri %60 ile %80 arasındadır ve 700 mb nem değerleri %40'ın altındadır.



Şekil 3.11 : 24.01.2000 06 UTC'ye ait gerçek altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700mb nem (üstta sağda) 24.01.2000 06 UTC'ye ait düzenlenmiş altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700mb nem (altta sağda).

Şekil 3.11'de 24 Ocak 2000 tarihi 06 UTC'ye ait model çıktıları ile elde edilen, her iki CORINE altlığı kullanılarak hazırlanan, 2m sıcaklık, 850 mb ve 700 mb nem haritaları verilmiştir. 24 Ocak 2000 06 UTC' ye ait model haritaları incelendiğinde, 18 Ocak 2000 03 UTC haritalarına benzer bir durum söz konusudur. Her iki haritada da, sıcaklık değerleri 0 derecenin üzerindedir.

24 Ocak 2000 06 UTC'de 18 Ocak 2000 03 UTC'deki sıcaklık değerlerinden bir kaç derece daha yüksek değerler görülmüştür. 850 mb ve 700 mb nem haritalarında da nemlilik değeri %70-%80 değer aralığındadır (Şekil 3.11).



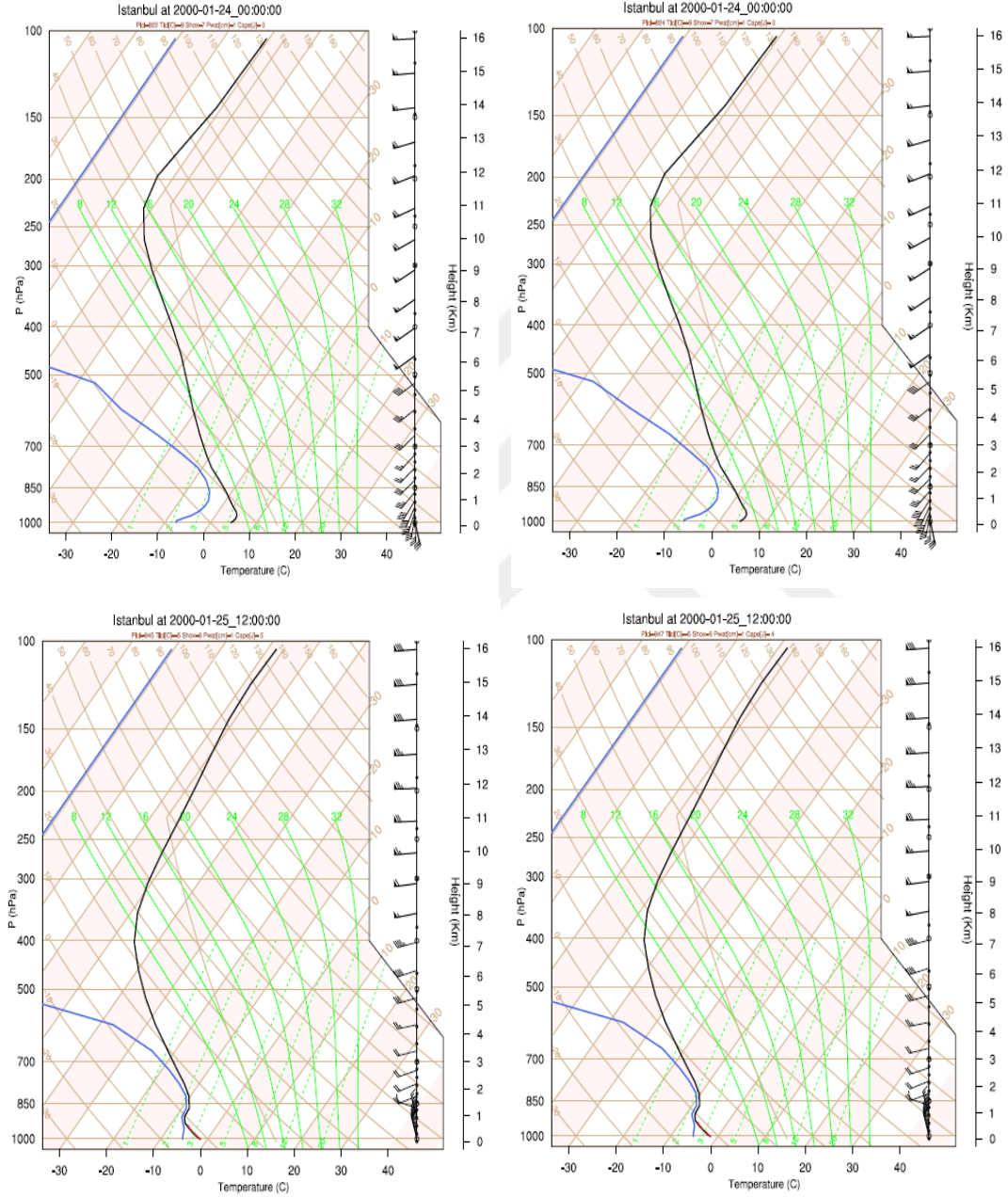
Şekil 3.12 : 25.01.2000 15 UTC'ye ait gerçek altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700mb nem (üstte sağda), 25.01.2000 15 UTC'ye ait düzenlenmiş altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700mb nem (altta sağda).

Şekil 3.12'deki 25 Ocak 2000'e ait haritalar incelendiğinde, 2m sıcaklık değerlerinin 0 derecenin altına indiği, İstanbul Avrupa yakasındaki 850 mb nem değerinin %70-%80 aralığında olduğu, Anadolu yakasındaki nem değerinin ise %90-%100 aralığında olduğu görülmüştür. 700 mb nem haritasına bakıldığında, nemlilik değerinin %70-%80 aralığında olduğu görülmektedir (Şekil 3.12).

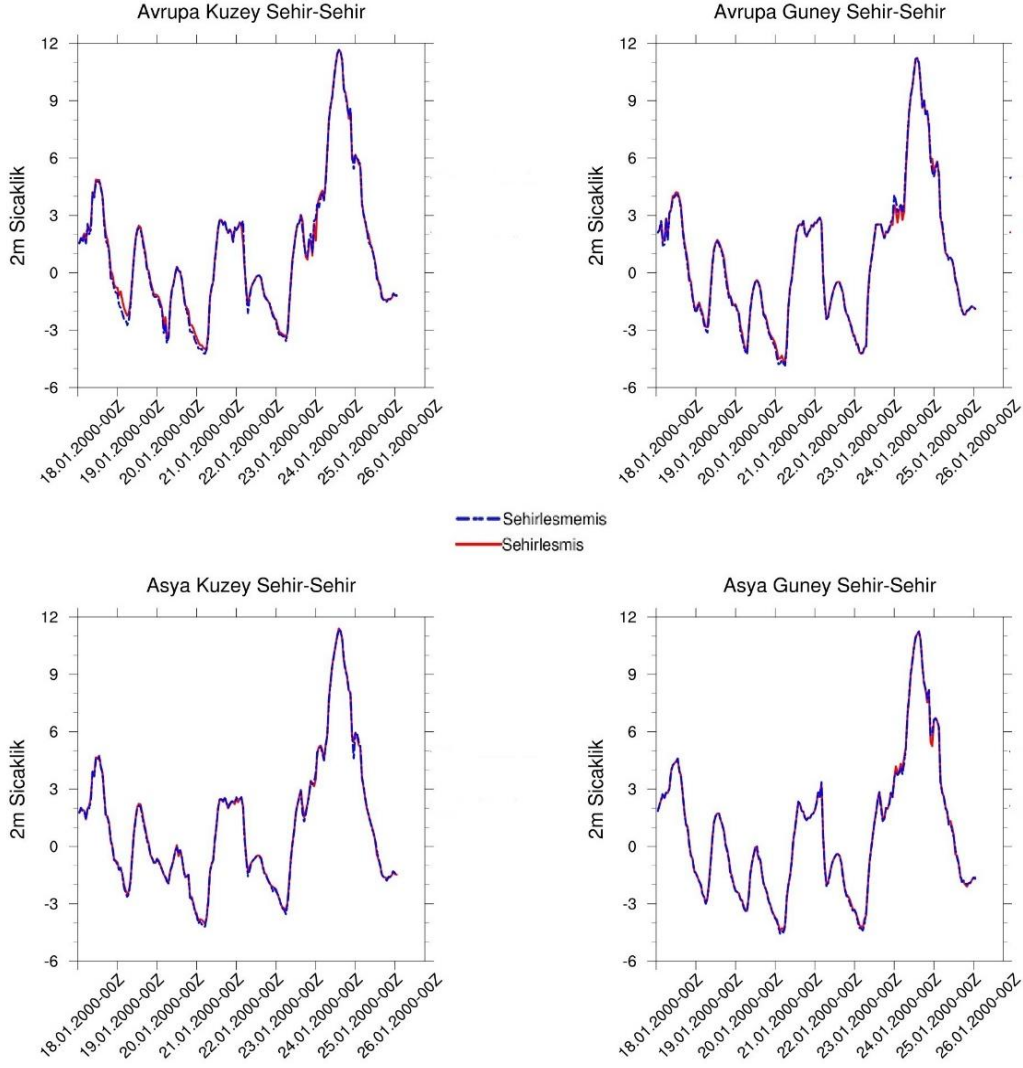
Şekil 3.9-3.10-3.11'de bulunan haritaların her birindeki nemlilik değerleri kar yağışı hadisesinin olmasına elverişlidir. Nemlilik değerlerinin yüksek olup sıcaklıkların 0 derecenin altına indiği 25 Ocak tarihi, model çıktıklarına göre yağışın maksimuma ulaşması beklenen gündür. Gözlem verilerine göre de 25 Ocak tarihi kar yağışının en şiddetli olduğu gündür.

Şekil 3.13'de bahsedildiği gibi şehir yapısında çok fazla artış olmaması sebebiyle, Skew-T diyagramlarının yapısında benzerlik göstermektedir. Model çıktısı ile

hazırlanan Skew-T diyagramlarında bulunan, mavi çizgi çığ noktası sıcaklığını temsil ederken, siyah çizgi hava sıcaklığını temsil etmektedir. Hava sıcaklığı ve çığ noktası sıcaklığında da önemli bir değişiklik meydana getirmemiştir. Bunun temel sebebi, istasyon ve çevresinin 1990 yılına göre derlenen altlıkta da kendi altlığında da şehir örtüsü ile kaplanması gösterilebilir (Şekil 3.13).



Şekil 3.13 : 24.01.2000 00 UTC'ya ait gerçek altlık ile hazırlanan Skew-T diyagramı (üstte solda), düzenlenmiş altlık ile hazırlanan Skew-T diyagramı (üstta sağda) - 25.01.2000 12 UTC'ye ait gerçek altlık ile hazırlanan Skew-T diyagramı (altta solda), düzenlenmiş altlık ile hazırlanan Skew-T diyagramı (altta sağda).

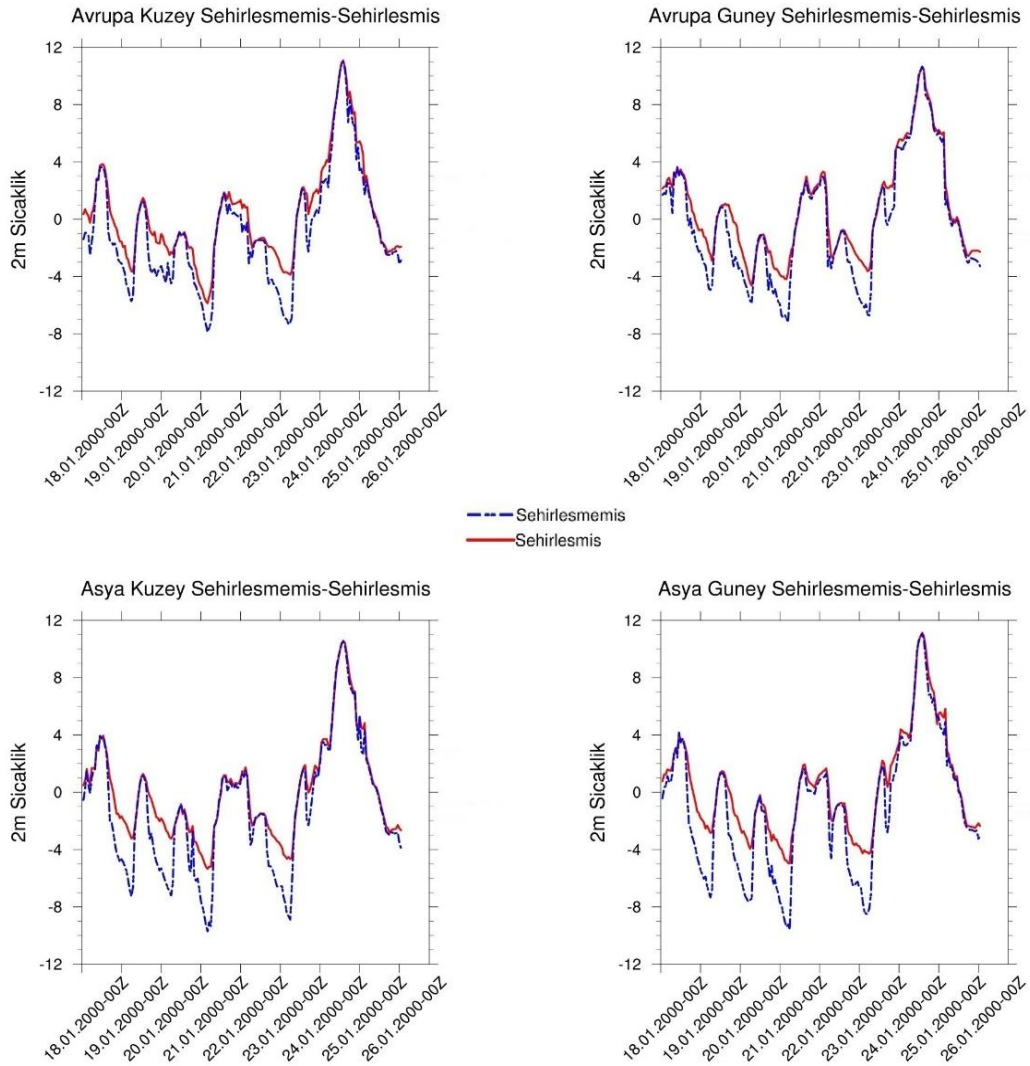


Şekil 3.14 : 2000 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üste sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehir-şehir noktaları sıcaklık zaman serileri.

Şekil 3.14 ve Şekil 3.15’de sıcaklık zaman serisi ve sıcaklık fark haritaları verilmiştir. Sıcaklık zaman serileri, İstanbul’un Asya ve Avrupa kıtalarında bulunan Kuzey ve Güney kesimlerinden seçilen ikişer noktanın karşılaştırılması ile yapılmıştır. Seçilen ilk nokta mevcut şehirleşme altlığı ile yapılan simülasyonda ve yeniden düzenlenmiş simülasyonda da şehir olan noktadır.

Zaman serisinde şehir-şehir olarak ifade edilmiştir. Seçilen diğer nokta ise, mevcut şehirleşme altlığında şehir olup, düzenlenmiş altlıkta şehir olmayan noktadır. Zaman serisinde şehirleşmemiş-şehirleşmiş olarak ifade edilmiştir. Noktaların bu şekilde seçilmesinin sebebi şehirleşmenin etkilerini gözlemleyebilmektir. Şekil 3.14 her iki altlıkta da şehir olarak gözükten noktalardır. Bu noktalardaki sıcaklıklar, her iki durumda da birbirine benzer günlük değişim göstermektedir. Bu durum, şehirleşmenin

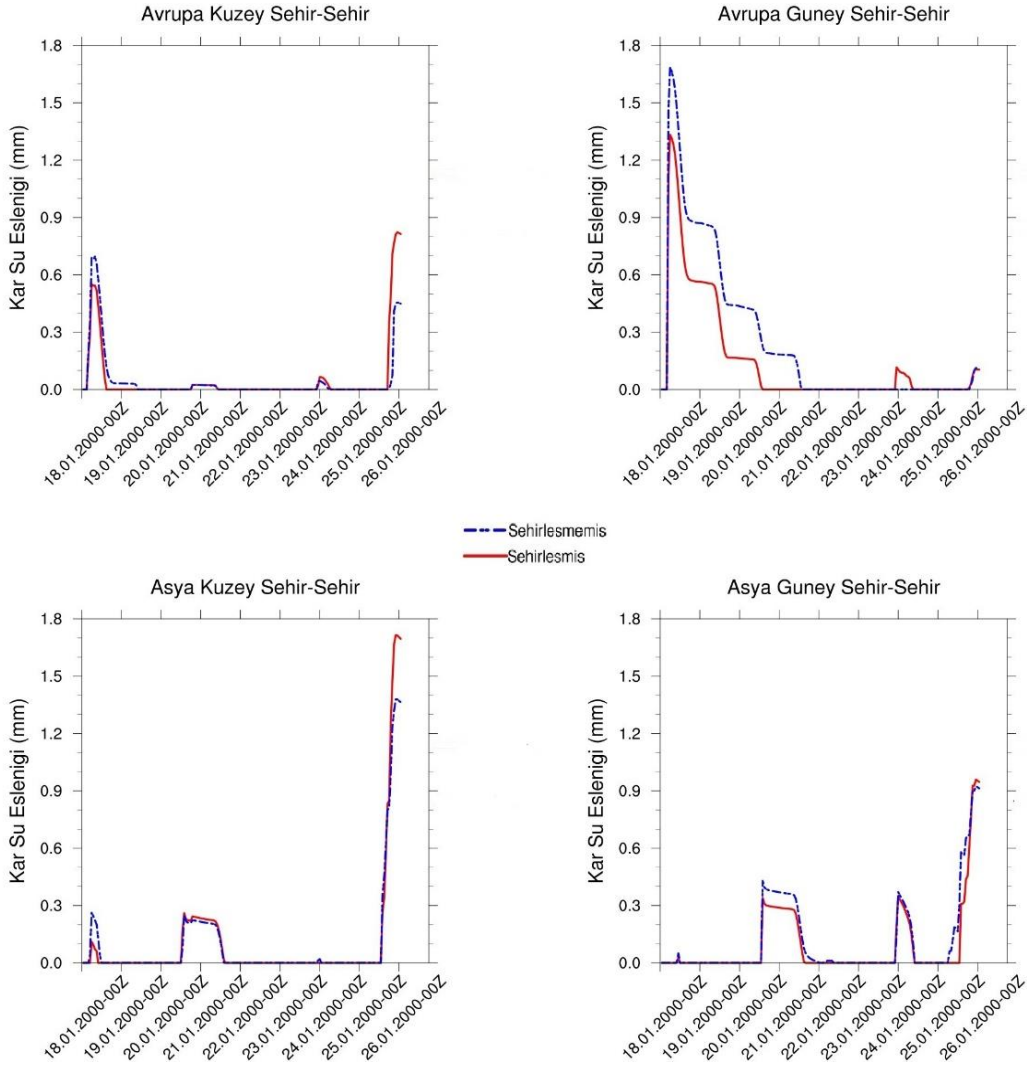
her iki altlıktada mevcut olması, aynı şekilde çevrelerindeki gridlerinde her iki altlıkta da şehir olması ile bağdaşmıştır. Şehirleşmenin değişmemesi sebebiyle, şehir-şehir noktalarında da belirgin bir farklılık gözlenmemiştir.



Şekil 3.15 : 2000 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üste sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehirleşmemiş-şehirleşmiş noktaları sıcaklık zaman serileri.

Şekil 3.15’de hadise yılına ait ve yeniden düzenlenmiş altlık karşılaştırılarak hazırlanan sıcaklık zaman serileri verilmiştir. Sıcaklık zaman serilerinde kullanılan noktalar, kendi yılına ait altlıktada, yeniden düzenlenen altlıktada önceden şehir olmayıp sonradan şehirleşen noktalardır. Zaman serileri incelendiğinde, özellikle gece saatlerinde, şehir sıcaklıklarının daha yüksek olduğu görülmektedir. Bunun sebebi şehirleşmenin artmasıyla meydana gelen şehir ısı ada etkisidir. Asya ve Avrupa kıtaları karşılaştırıldığında, Asya kıtasında görülen sıcaklık farkının Avrupa kıtasına nazaran daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. Bu farka, şehir örtüsündeki artışın Asya

kıtasında daha fazla olması sebep olarak gösterilebilir. Model çıktılarına göre, şehir örtüsü, hava sıcaklıklarının 1 ile 7 derece artmasına sebep olmuştur. Bu durum, yere düşecek yağışın kar olup olmamasına da etki etmektedir. Yer sıcaklıklarının yüksek olması durumunda, kar olarak düşmesi beklenen yağışın, eriyerek yere başka bir formda ulaşması söz konusu olabilmektedir.

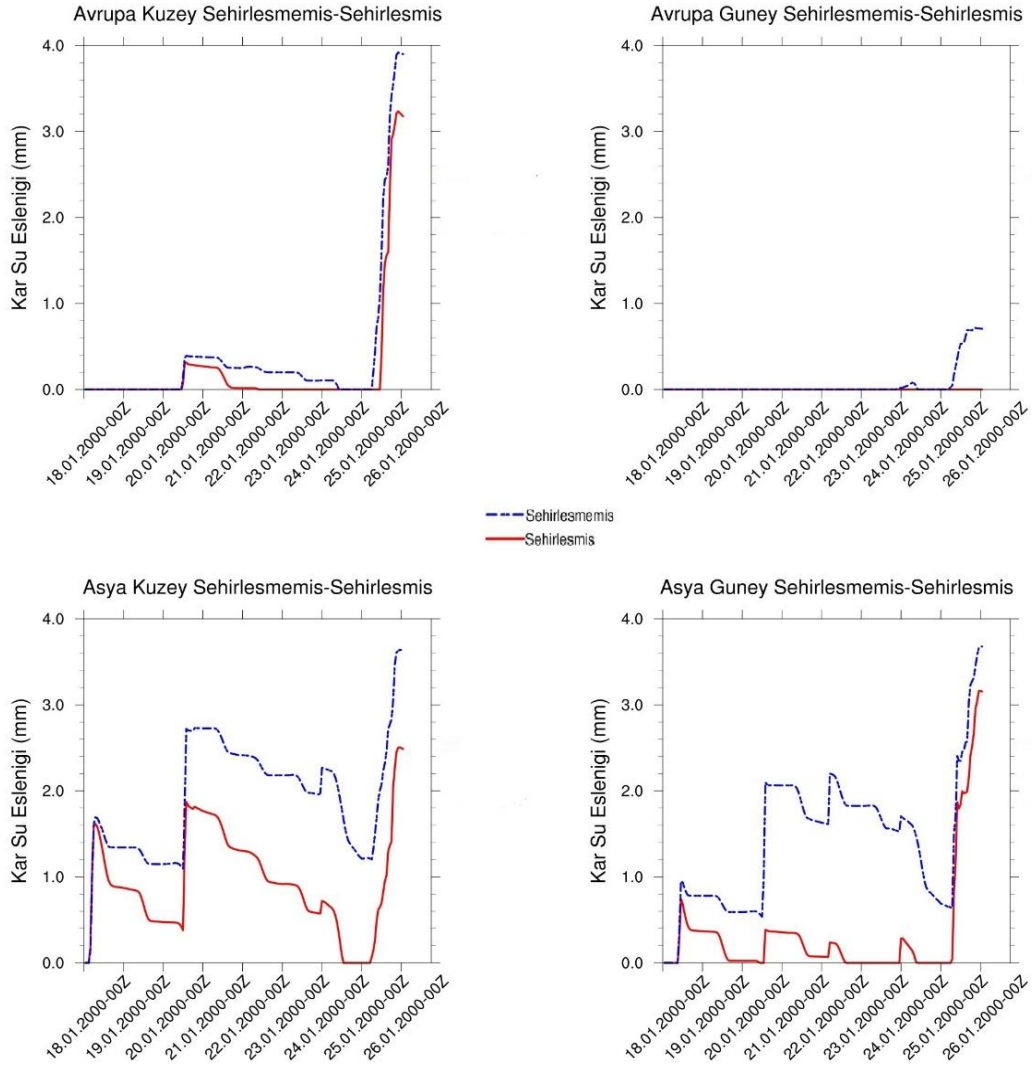


Şekil 3.16 : 2000 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehir-şehir noktaları kar su eşleniği zaman serileri.

2000 yılına ait kar su eşleniği zaman serileri, Şekil 3.16 ve Şekil 3.17’de verilmiştir. Model çıktıları ile hazırlanan zaman serilerinde kullanılan noktalar, sıcaklık zaman serilerinde kullanılan noktalar ile aynıdır.

İlk olarak, şehir-şehir olan noktalar incelendiğinde, sıcaklık zaman serisinde olduğu gibi burada da, çok büyük bir değer farkı görülmemiştir. Elde edilen grafikler içerisindeki en büyük fark Avrupa yakası Güney kesimde görülmektedir; değer olarak

0,3 mm civarındadır. Genel olarak benzer salınımlar görülmektedir. Yine aynı şekilde, benzer salınımların sebebi, şehir örtüsündeki değişimin seçilen grid noktası ve etrafında değişmemesidir.



Şekil 3.17 : 2000 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (alta sağda) şehirleşmemiş-şehirleşmiş noktaları kar su eşleniği zaman serileri.

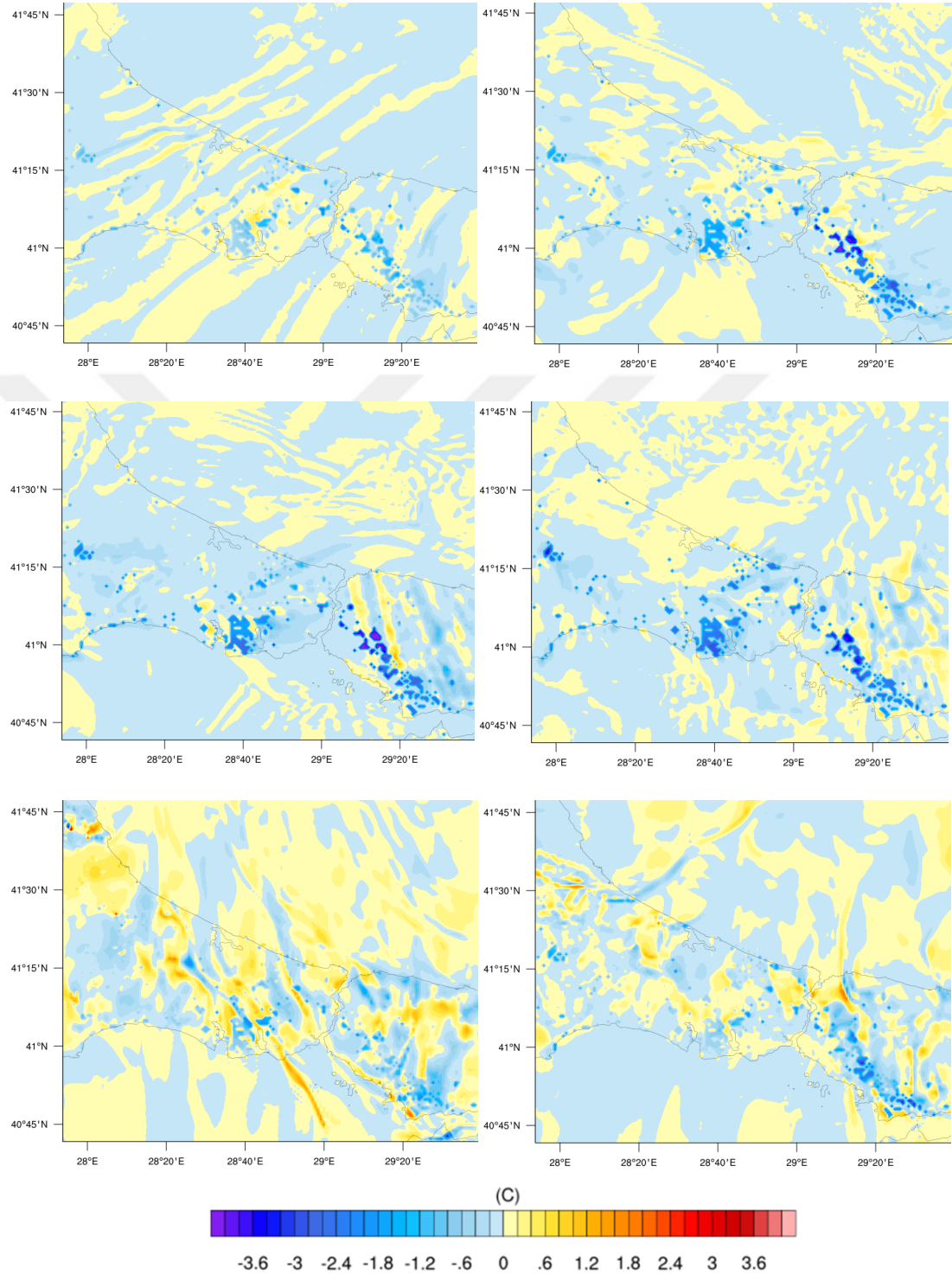
Şekil 3.17’de verilen kar su eşleniği zaman serileri, 1990 yılına göre yeniden düzenlenen altlıkta şehir olmayıp, kendi yılına ait altlıkta da şehir olan noktalarıdır. Şehirleşmeyi gösteren bu noktalar şehirleşmiş-şehirleşmemiş olarak ifade edilmiştir. Bu noktalara ait grafikler incelendiğinde, Asya ve Avrupa kıtalarının kuzey ve güney kesimleri için salınımların benzer olduğu; fakat değer aralıklarının farklı olduğu görülmektedir. Bu durum sıcaklık değerleri ile birlikte değerlendirildiğinde, sıcaklığın düştüğü noktalarda kar su eşleniğinin arttığını göstermektedir. Şehrin Avrupa ve Asya kıtasından alınan gridlerinden, şehirleşmenin özellikle gece saatlerinde kar su eşleniği

değerlerini düşürdüğü, şehir olmaması durumunda kar su eşleniğinin daha yüksek bir değerde olacağı açıkça görülmektedir. Ayrıca, kar su eşleniği değerindeki en büyük farkın Asya kıtasında olduğu göze çarpmaktadır. Bu durum, sıcaklık zaman serisinde de benzer şekildedir. Sıcaklık zaman serileri ve kar su eşleniği zaman serileri birlikte değerlendirildiğinde, sıcaklıkların daha düşük olmasının, kar su eşleniği değerini arttıracaklarını kanısına varılmıştır.

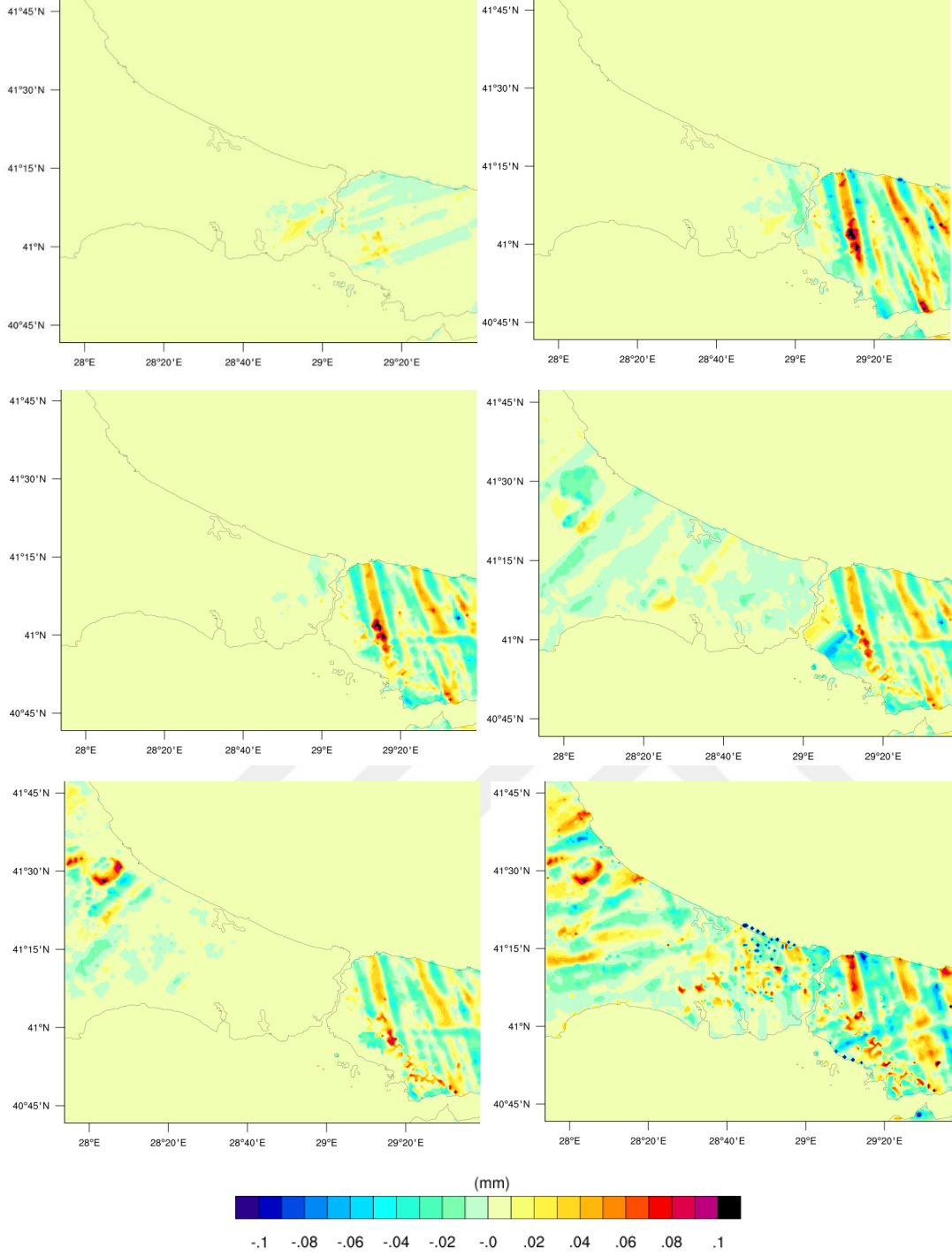
Şekil 3.18 'da çalışma alanına ait sıcaklık fark haritaları verilmiş olup, haritalar WRF modeli çıktıları kullanılarak hazırlanmıştır. Haritalar, 1990 yılına göre derlenmiş altlıktan, kendi yılına ait altlığın çıkartılması ile oluşturulmuş yeni altlığın modele tanıtılması sonucu elde edilen WRF çıktıları kullanılarak hazırlanmıştır. Fark haritaları incelendiğinde, özellikle Avrupa yakasında bulunan Büyükçekmece ve Küçükçekmece ilçeleri arasındaki ve Anadolu yakasında bulunan Aydos ormanlarının doğu kısımlarındaki sıcaklığın 3°C ve üzerinde arttığı görülmektedir. Bu bağlamda, sıcaklık artışının temel sebebinin şehirleşme olduğu öngörülmektedir. Model çıktılarına göre, eğer şehir sınırları 1990 yılındaki şehir arazi örtüsü sınırlarında kalsaydı, şuan ki durumdan 3 derece civarında daha soğuk sıcaklık değerleri ölçüleceği tahmin edilmektedir. Bu durum 24 Ocak 2000 tarihine kadar bu şekilde seyretmektedir; fakat 24 Ocak 2000 tarihi itibari ile olay yön değiştirmektedir. Yani 1990 yılındaki şehir sınırları mevcut kalsaydı, şehir üzerinde derinleşen soğuk hava etkisi ile sıcaklık farkının 2000 yılından pek farklı olmayacağı öngörülmektedir. Şekil 3.18 incelendiğinde, 25 Ocak 2000 tarihi itibariyle, şehirleşmenin etkileri Asya kıtasında daha fazla görülmeye başlamaktadır. Bu durumun sebebi, kar yağışı hadisesinin 25 Ocak 2000 tarihinde Asya kıtasında Avrupa kıtasından daha çok etkilerini göstermesidir.

Şekil 3.19 'de çalışma alanı için WRF modeli ile hazırlanan karla kaplı alan fark haritaları görülmektedir. Fark haritalar sırasıyla soldan sağa, gerçek altlık, 1990 yılına göre yeniden düzenlenen altlık ve her iki altlığın farkı kullanılarak hazırlanmıştır. Bu haritaları hazırlamaktaki amaç, şehir örtüsündeki artışın karla kaplı alandaki değişimi gözlemlemektir. 18 Ocak itibari ile başlayan kar yağışının örtüsü, öncelikli olarak Anadolu yakasında görülmektedir. Şehir örtüsü daha az olsaydı, karla kaplı alanın da yine Anadolu yakasında bir miktar daha fazla olması beklenmektedir. 19 Ocak 2000 tarihi itibariyle, karla kaplı alan için iki altlık kullanılarak hazırlanan fark haritasında gözle görülür farklılıklar oluşmaya başlamıştır.

Karla kaplı alandaki değişim Anadolu yakasında daha bariz görülürken, Avrupa yakasında o kadar belirgin olmamaktadır. Bu farkın sebebi, Anadolu yakasındaki şehir örtüsünün Avrupa yakasına nazaran daha çok artış göstermesidir.



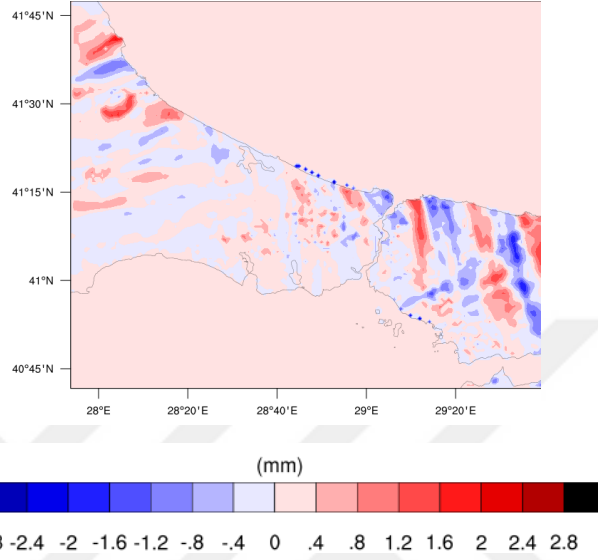
Şekil 3.18 : 2000 yılı 18.01.2000-00 UTC (üstte solda), 19.01.2000-00 UTC (üstte sağda), 21.01.2000-00 UTC (ortada solda), 23.01.2000-00 UTC (ortada sağda), 24.01.2000-00 UTC (altta solda), 25.01.2000-00 UTC (altta sağda) sıcaklık fark haritaları.



Şekil 3.19 : 2000 yılı 18.01.2000-00 UTC (üstte solda), 19.01.2000-00 UTC (üstte sağda), 21.01.2000-00 UTC (ortada solda), 23.01.2000-00 UTC (ortada sağda), 24.01.2000-00 UTC (altta solda), 25.01.2000-00 UTC (altta sağda) karla kaplı alan fark haritaları.

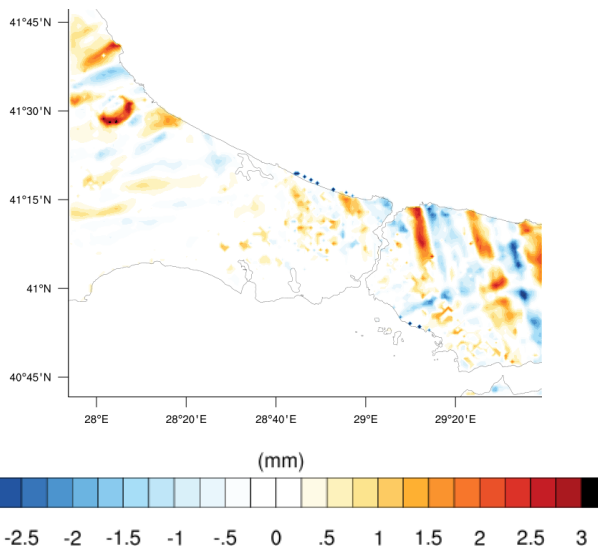
İstanbul genelinde, 25 Ocak itibariyle karla kaplı alandaki fark maksimumuna ulaşmıştır. Bunun sebebi, 18 Ocak'ta başlayan yağışın 25 Ocak' a kadar devam etmesi ve yer üzerinde karın birikmesidir. Şekil 3.20'da fiziksel kar kalınlığı fark haritası verilmiştir. Fark haritası hazırlanırken, kendi yılına ait altlıktan, 1990 yılına göre

yeniden düzenlenen altlığın çıkartılması ile oluşturulmuştur. Karla kaplı alan haritasına benzer şekilde sonuçlar gözlemlenmektedir. Özellikle Anadolu yakasındaki fark daha fazla olurken, Avrupa yakasındaki fark daha az gözlemlenmektedir. Bunun sebebi şehirleşmenin Anadolu yakasında, Avrupa yakasından daha büyük oranla artmasıdır.



Şekil 3.20 : 25.01.2000 fiziksel kar kalınlığı fark haritası.

Son olarak, kar su eşleniği fark haritası incelenmiştir. Yine aynı şekilde, olay yılına ait altılıktan, 1990 yılına göre derlenen altlığın çıkarılması ile oluşturulmuştur. Diğer fark haritaları ile benzer sonuçlar verirken, sıcaklığın artış gösterdiği yerlerde kar su eşleniğinin sıcaklığa bağlı olarak azaldığı gözlemlenmektedir (Şekil 3.21).



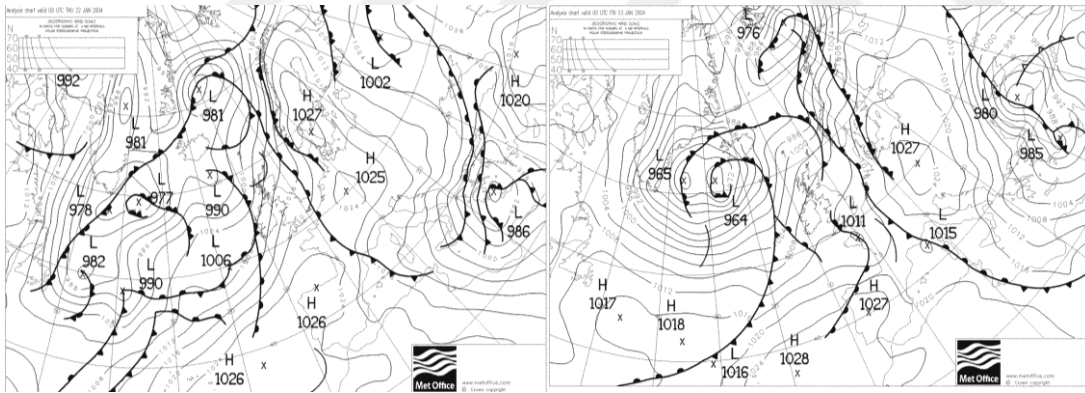
Şekil 3.21 : 25.01.2000 kar su eşleniği haritası fark haritası

3.3 22.01.2004 – 24.01.2004 Tarihli Kar Yağışı

21 Ocak 2004 tarihinden itibaren ülkemize Kuzeybatı yönünden giren soğuk hava, ülkemizin özellikle kuzeybatısındaki ilk etkiyi, basınç değerlerinde düşüş ve hafif şiddetli bir kar yağışı olarak göstermiştir. İlerleyen günlerde, Karadeniz ve Ege'den gelen nem desteği ve rüzgarla birlikte kuvvetlenerek etkisini artırarak kar fırtınası dönmüştür. Sistem etkileri, 24 Ocak 2004 tarihine kadar devam etmiştir.

3.3.1 Sinoptik analiz

22 Ocak 2004 tarihinde soğuk hava ile karşılaşan nemin yoğunlaşması sonucu ortaya çıkan ısı ile düşey hareketlerin sebep olduğu ilave yoğunlaşma sistemin kuvvetlenmesine neden olmuştur. Aynı gün, saat 18: 00 UTC'de, soğuk cephe İstanbul'daki sabit cephe haline gelmiştir. Ayrıca bu tarihte sistem gelişerek Türkiye'nin batı bölgesinde 980mb basınç değerlerinin gözlemlendiği alçak basınç merkezi haline gelmiş ve güçlü bir soğuk oklüzyon cephe şeklini almıştır. Bu sistem, özellikle İstanbul ve çevresini şiddetli kar yağışı hadisesi ile etkilemiş ve ülkemizin tamamında 24 Ocak 2004 tarihine kadar etkili olmuştur (Şekil 3.22).

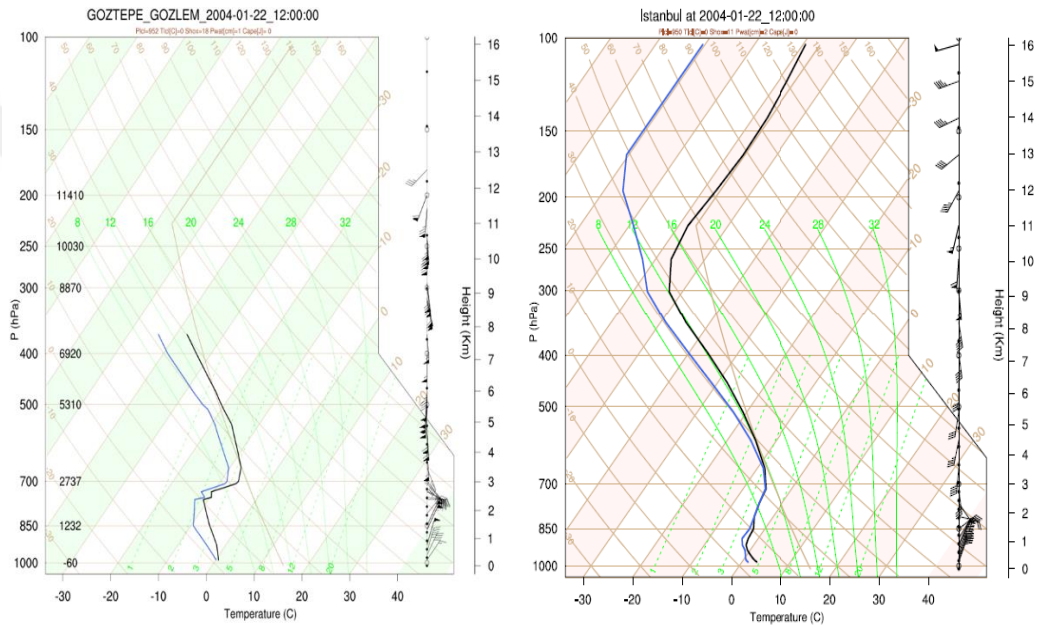


Şekil 3.22 : 22 Ocak 2004 (solda) 00 UTC, 23 Ocak 2004(sağda) 00 UTC yer kartları.

22.01.2004 tarihinden itibaren, sistem bir alçak basınç merkezi haline gelmiştir ve konvektif etkileri artmıştır. Deniz etkisi (Sea Effect) ile birlikte bu konvektif etkiler, yağışın oldukça şiddetli olmasına ve yağış süresinin artmasına neden olmuştur.

Ek olarak Şekil 3.23'deki Skew-T diyagramı ile birlikte değerlendirildiğinde, bu yüksek dinamik kararsızlığın, nem desteği ile birlikte etkilerini atmosferin üst katmanlarına taşınabildiği ve atmosferin üst seviyelerinde bile yüksek nem değerleri gözlemlendiği görülmüştür.

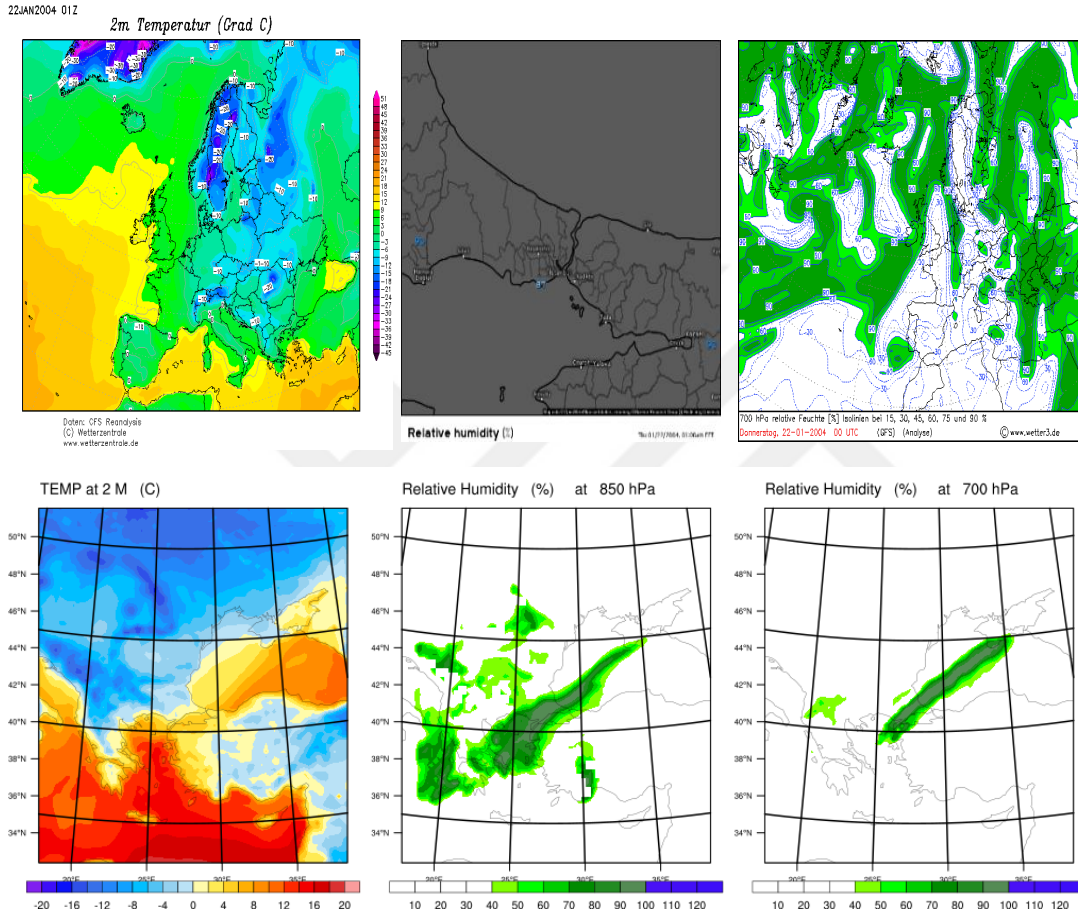
22 Ocak 2004 tarihi 12 UTC'ye ait Skew-T diyagramı (Şekil 3.23) incelendiğinde, yer seviyesinden 500 mb seviyesine kadar doymun olan atmosferde rüzgâr yükseklikle birlikte veering yapmaktadır. Bu durum fırtınanın güçlendiğinin göstergesidir. Ayrıca kar yağışı için kritik seviyeler olan 850mb (-10°C), 700mb (-3°C) ve 500mb (-22°C) seviyesi için hava sıcaklığı donma seviyesinin altındadır. Bu durum yağışın bulut tabanından yere kadar olan yolculuğunda erimeden kar olarak yere ulaşmasına neden olmuştur. Ayrıca yere yakın seviyelerde donma derecesine yakın sıcaklıklar olması karın yerde erimeden kalabilmesini sağlamış ve gözlemlenen kar kalınlıklarının miktarını önemli derecede arttırmıştır.



Şekil 3.23 : 22.01.2004 12 UTC'ye ait gözlem Skew-T diyagramı (solda), model Skew-T diyagramı (sağda).

Düşey atmosfer sütunu boyunca hava sıcaklığı ve çığ nokta sıcaklığının atmosferin üst seviyelerine kadar birbirine oldukça yakın olması bulutların konvektif etkilerle de desteklendiği göstermektedir. Kuvvetli konvektif sistemin bir sonucu olarak yağışı oluşturan sistemin derinliği 350 mb seviyesine kadar uzanmaktadır. Bu durum bulutların (kümülüform) düşey kalınlıklarının artmasına ve sürekli olarak bulutların nem desteği kazanmasına yol açmıştır. Skew-T diyagramında buluna mavi çizgi çığ noktası sıcaklığı, siyah çizgi hava sıcaklığıdır. Atmosferin düşey kesiti boyunca hava sıcaklığı ve çığ noktası sıcaklığının kesiştiği alanın kalınlığı bulutluluğun atmosferin üst katmanlarına kadar yoğun olarak uzandığını göstermektedir, bu durum şiddetli bir yağışın varlığını desteklemektedir (Şekil 3.23).

22 Ocak 2004 tarihli GFS reanaliz verileri, yer seviyesi nem değerleri ve bu tarihe ait WRF model tahminleri incelendiğinde; yer seviyesindeki sıcaklık değerlerinin 2-3°C civarında olduğu görülmektedir. GFS tahminlerine göre İstanbul ve civarındaki nem değerleri %90'larda iken, model bu seviyede sadece İstanbul'un Avrupa yakasında yüksek nem değerleri tahmin etmiştir. Konvektif hareketlerle birlikte atmosferin üst katmanlarına kadar taşınan nem yağışın şiddetini arttırmıştır (şekil 3.24).



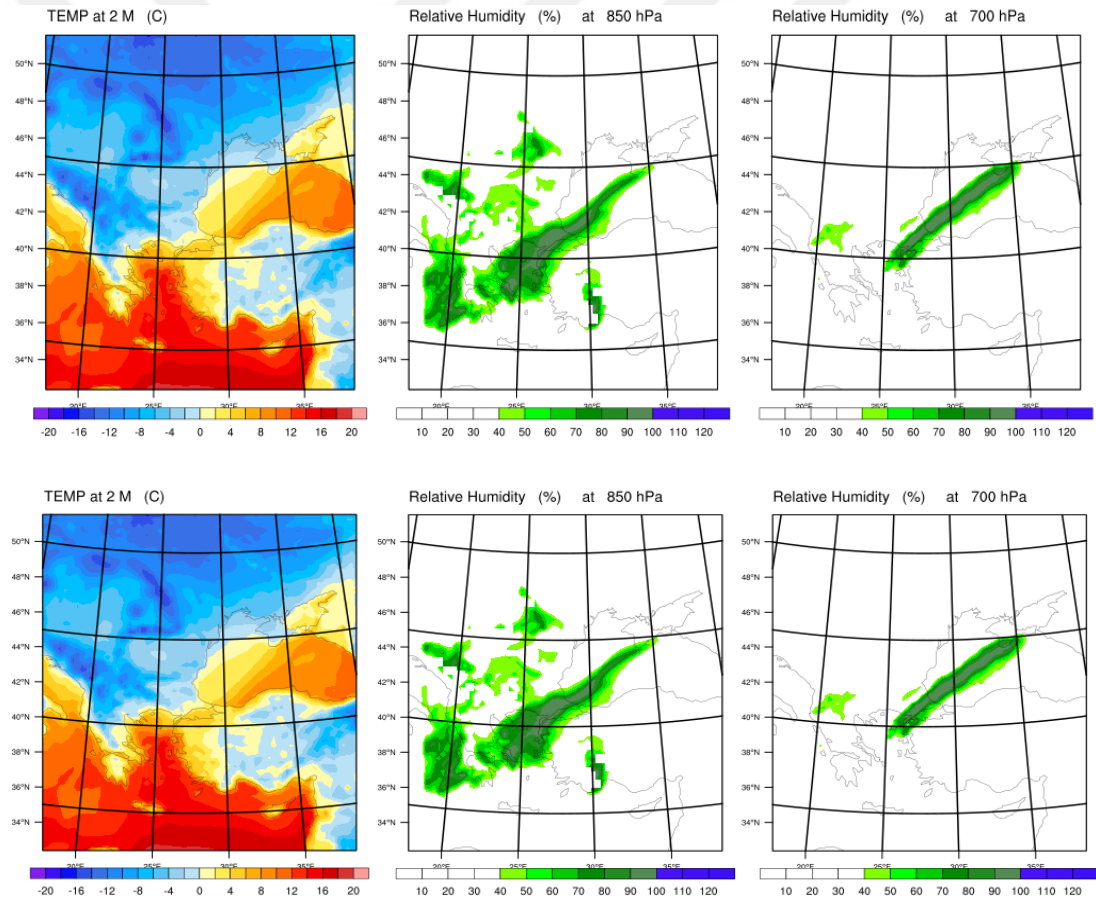
şekil 3.24 : 22.01.2004 00 UTC' gözlem haritaları, 2m sıcaklık (stte solda), 850 mb nem (stte ortada), 700 mb nem (stte sağda) 22.01.2004 00 UTC model haritaları, 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700 mb nem (altta sağda).

22–24 Ocak 2000 tarihli, İstanbul ve civarında şiddetli kar yağışına sebep olan sistemin tahmininde WRF modeli, yeniden analiz ve gözlem tahmin verileri ile karşılaştırıldığında yer seviyesindeki sıcaklık, rüzgar ve Skew-T değerlerinin tahmini konusunda oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir. 850 mb seviyesindeki nemin yer seviyesindeki gözlem verilerine dayanarak yine başarılı bir tahmin olduğu söylenebilir ancak; 700mb seviyesinde gözlem tahmini ile karşılaştırıldığında WRF modelinin nem tahmininin oldukça bölgesel bazda kaldığı kanısına varılmıştır (şekil 3.23-3.24).

3.3.2 Şehirleşme analizi

22–24 Ocak 2004 tarihleri arasında meydana gelen kar yağışının şehirleşme analizi için kullanılan model haritaları Şekil 3.25’de verilmiştir. Haritalar, 2m sıcaklık, 850 mb nem ve 700 mb nem değerlerini göstermektedir. Haritalar hazırlanırken, 2004 yılına ait CORINE altlığı olmaması sebebiyle, hadise yılına en yakın yıl olan 2006 yılı CORINE arazi örtüsü verileri altlık olarak kullanılmıştır.

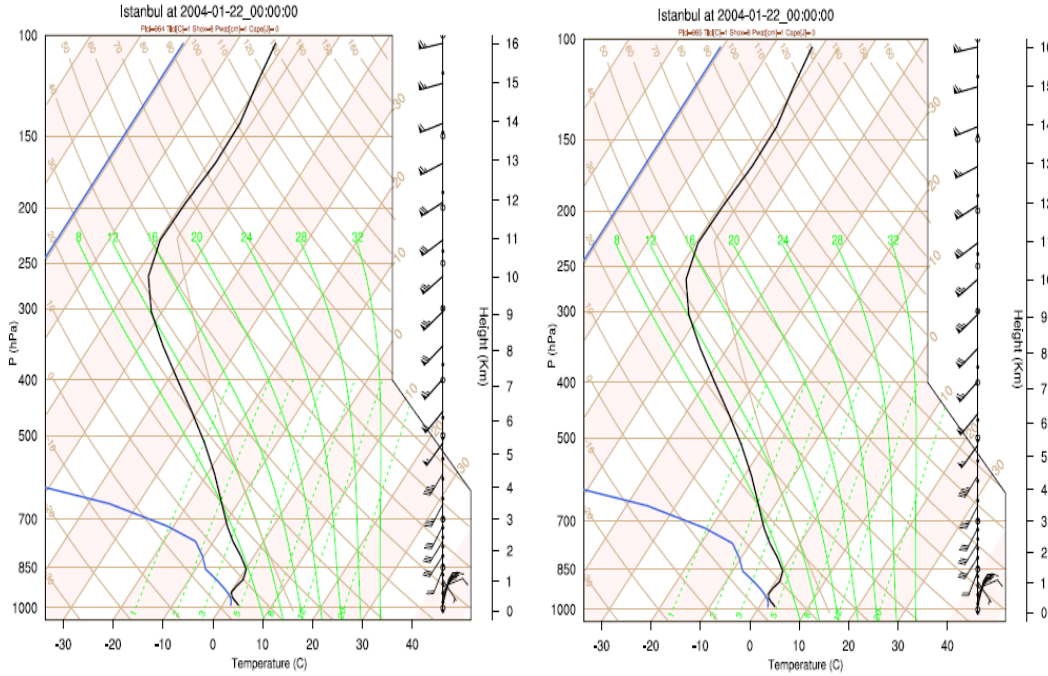
22 Ocak 2004 tarihi 00 UTC’de kendi yılına ait altlık ile hazırlanan haritalar incelendiğinde, sıcaklık değerlerinin 0°C ile 4°C arasında olduğu görülmektedir. Bu durum yeniden düzenlenen altlıkla hazırlanan harita için de aynı şekildedir. Nemlilik değerleri incelendiğinde, 850 mb seviyesine ait değerlerin, Avrupa yakası için %90-%100 aralığında, Asya yakası için %60-%70 aralığında olduğu görülmektedir.



Şekil 3.25 : 22.01.2004 00 UTC’ye ait gerçek altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda), 22.01.2004 03 UTC’ye ait düzenlenmiş altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700mb nem (altta sağda).

Kar yağışının 22 Ocak 00 UTC itibari ile başladığı, ülkemize Avrupa yakasında giriş yaptığı düşünüldüğünde, model verileri, gözlem verileri ile tutarlılık göstermiştir. 700

mb nem haritaları incelendiğinde, Avrupa yakasında %60-%70 civarında, Asya yakasında ise %40 ve aşağısında bir değere sahip olduğu görülmektedir. Her iki altlıkla hazırlanan haritalar, benzer sonuçlar vermiştir.



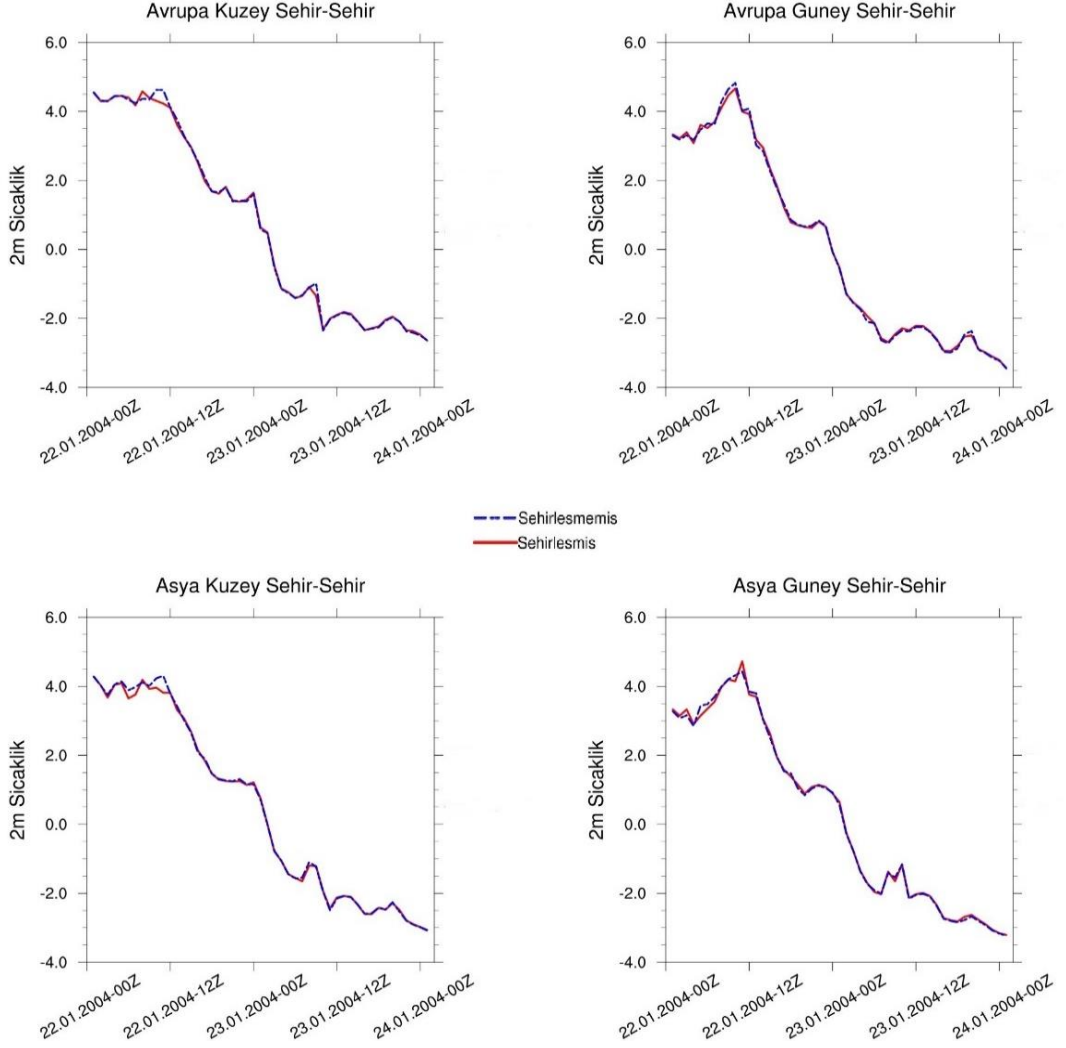
Şekil 3.26 : 22.01.2004 12 UTC'ye ait Skew-T diyagramı gerçek altlık (solda), 22.01.2004 12 UTC'ye ait düzenlenmiş altlık (sağda).

22 Ocak 2004 12 UTC'ye ait Skew-T diyagramı Şekil 3.26'de verilmiştir. Skew-T diyagramları şehirleşmenin etkilerini incelemek adına, kendi yılına ait altlık kullanılarak ve 1990 yılına göre derlenen altlık kullanılarak hazırlanmıştır. Her iki altlık ile hazırlanan Skew-T diyagramı incelendiğinde, bulut oluşum seviyelerinin hemen hemen aynı noktalarda, yer seviyesine yakın bir seviyede olduğu görülmüştür.

Skew-T'lerde mavi çizgi çiy noktası sıcaklığını ifade ederken, siyah çizgi hava sıcaklığını nitelendirir. Bu bağlamda grafikler incelendiğinde, hava sıcaklığı ve çiy noktası sıcaklığı değerlerinde, önemli bir değişiklik meydana gelmemiştir. Bulut kalınlıkları da yaklaşık olarak aynıdır. Her iki altlık ile hazırlanan diyagramlarda da, rüzgar kayması mevcuttur. Model çıktılarına göre, şehirleşme rüzgar kayması şiddetini değiştirmemiştir. Şehirleşmenin etkileri, Skew-T diyagramlarında yeterli derecede görülememiştir.

Şekil 3.27'de 2004 yılına ait sıcaklık zaman serileri verilmiştir. Sıcaklık zaman serileri, 2000 yılında olduğu gibi, burada da aynı noktalar alınarak hazırlanmıştır. Şehir-şehir noktaları, kendi yılında da yeniden derlenen altlıkta da şehir olan noktalardır. Bu

noktalardaki sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında, benzer salınımlar elde edilmiştir. Bu durum, seçilen noktaların ve etrafındaki noktaların her iki durumda da şehir örtüsü ile kaplanmasından dolayıdır.

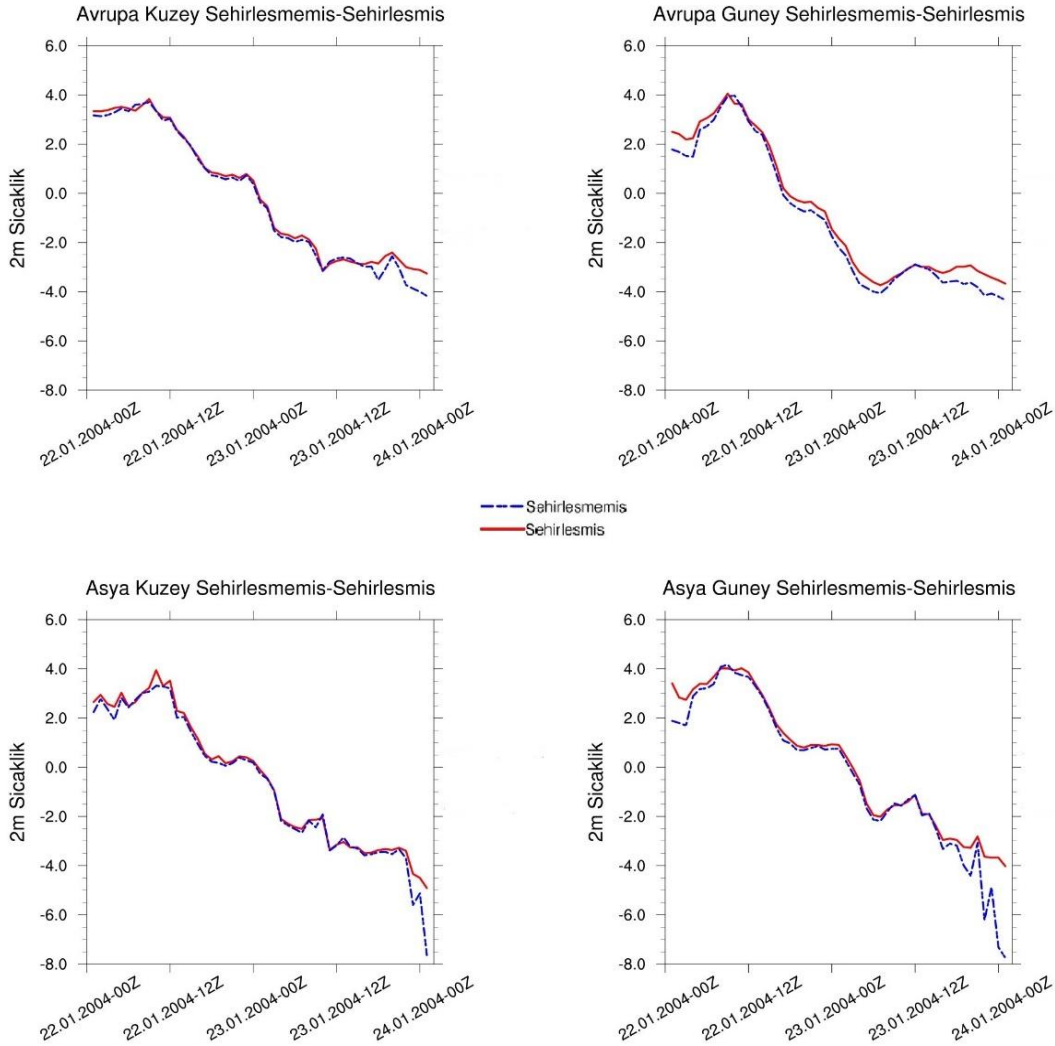


Şekil 3.27 : 2004 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehir-şehir noktaları sıcaklık zaman serileri.

Kendi yılında şehir olup, yeniden düzenlenen altlıkta şehir olmayan noktalar kullanılarak hazırlanan sıcaklık zaman serisi Şekil 3.28’de verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, ayın 22’sinden 23’ü öğle saatlerine kadar benzer salınımlar elde edildiği görülmüştür.

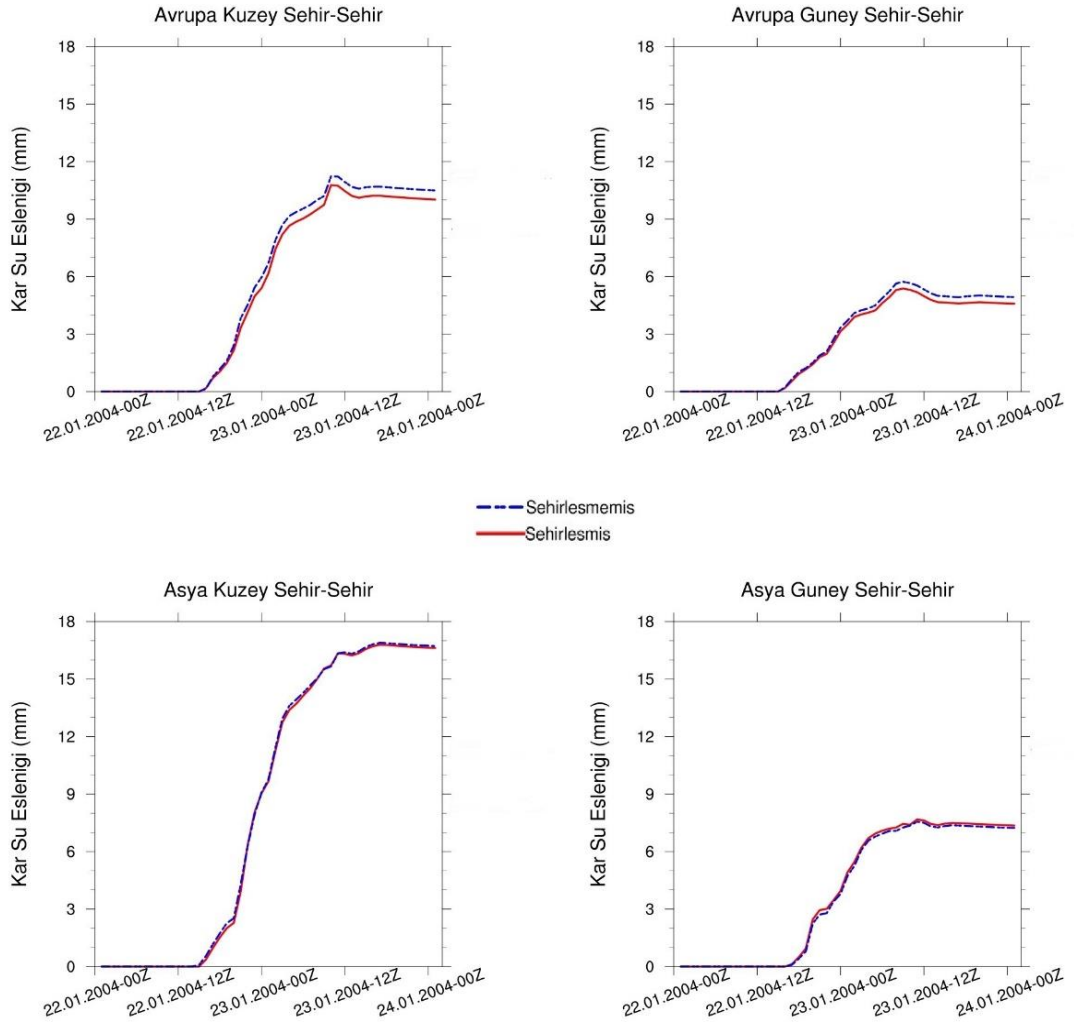
23 Ocak öğle saatleri itibari ile şehirleşmiş ve şehirleşmemiş noktalar arasındaki sıcaklık farkı maksimuma ulaşmıştır. Gözlem verilerinden elde edilen bilgiler doğrultusunda, aynı tarih ve saatte yağışın maksimuma ulaştığı bilinmektedir. Bu durum şehir etkisinin olduğunu ortaya koymaktadır. Şehir olmaması durumunda 4°C

ve civarında seyreden daha düşük sıcaklıklar olması beklenmektedir. Sıcaklıkların düşmesi ile kar yağışının daha şiddetli meydana geleceği düşünülmektedir. Sıcaklık farkı en çok Asya yakasında görülmüştür, bunun sebebi 2000 yılında olduğu gibi burada da şehirleşmenin o bölgede daha yüksek oranda artmış olmasıdır. Özellikle, Aydos ormanları ve civarında artan şehirleşmenin doğurduğu bir sonuç olabileceği öngörülmektedir.



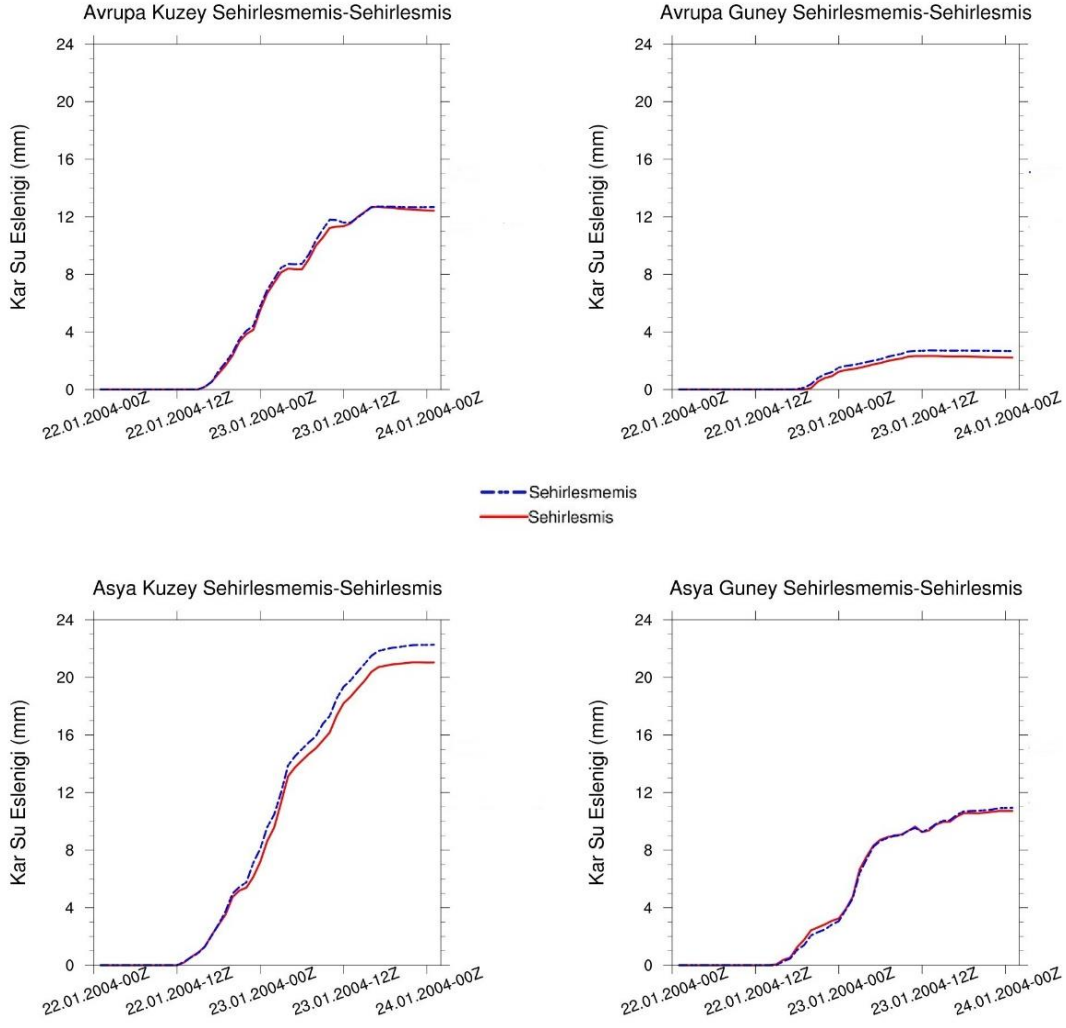
Şekil 3.28 : 2004 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehirleşmemiş-şehirleşmiş noktalar sıcaklık zaman serileri.

Şekil 3.29’da 2004 yılına ait kar su eşleniği şehir-şehir noktalarına ait zaman serileri verilmiştir. Şehir-şehir noktaları, kendi yılında da yeniden derlenen altlıkta da şehir olan noktalardır. Bu noktalardaki sıcaklık değerleri karşılaştırıldığında, benzer salınımlar elde edilmiştir. Bu durum, şehirleşmenin her iki altlıkta mevcut olması ile bağdaşır. Şehirleşmenin değişmemesi sebebiyle, şehir-şehir noktalarında da belirgin bir farklılık gözlenmemiştir.



Şekil 3.29 : 2004 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehir-şehir noktaları kar su eşleniği zaman serileri.

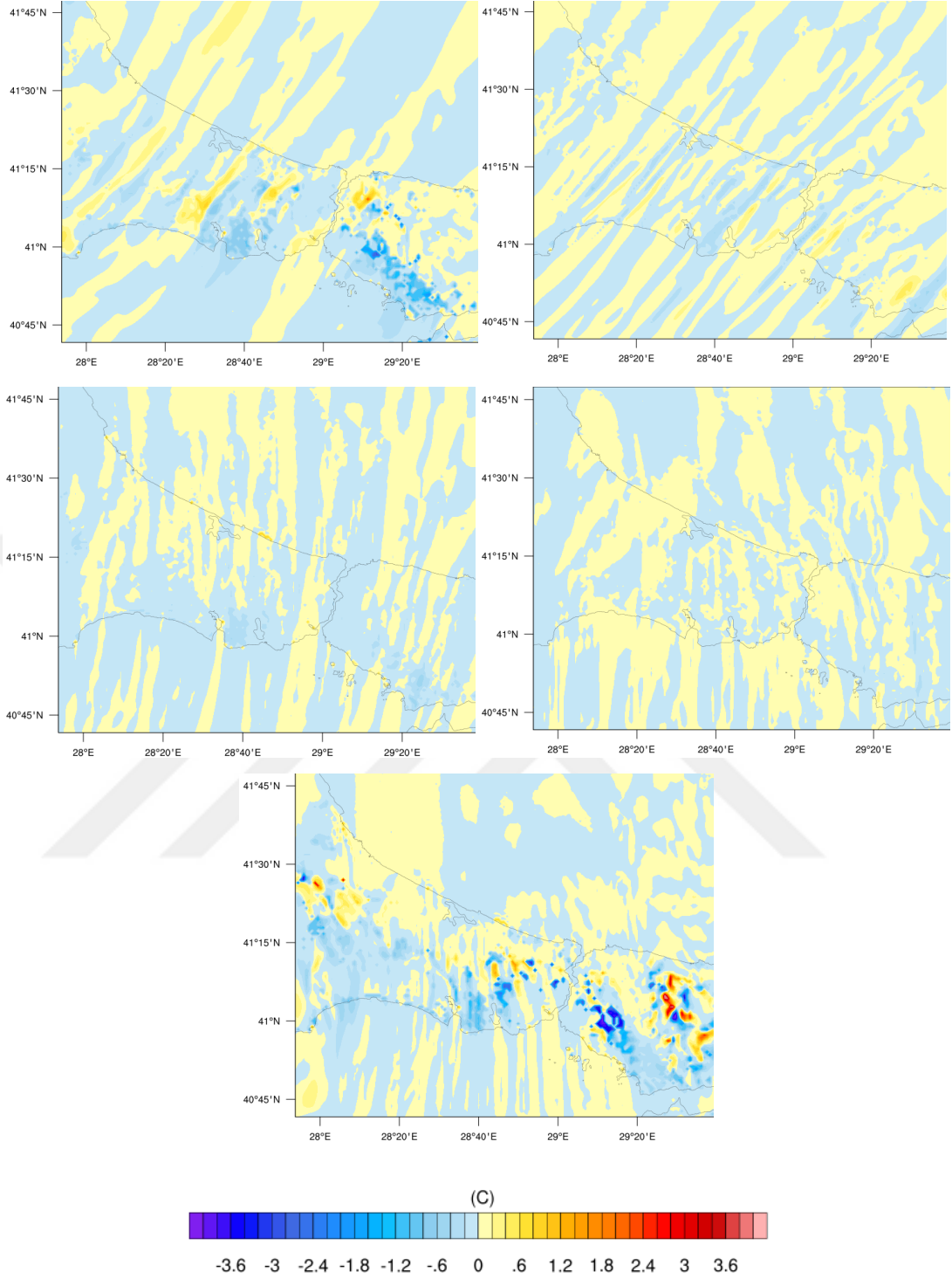
Kar su eşleniği şehirleşmemiş-şehirleşmiş noktalar zaman serileri Şekil 3.30'da verilmiştir. Grafikler incelendiğinde, Avrupa ve Asya yakası kuzey-güney kesimlerinde benzer salımlar elde edildiği görülmüştür. En büyük fark, Asya yakası kuzey kesimde görülmektedir. Bu bölgede, kar su eşleniği değerinin şehir örtüsünün azalması durumunda 2-3 mm artacağı öngörülmektedir. Bu durum sıcaklık zaman serileri ile tutarlılık göstermektedir. Asya güney kesime ait kar su eşleniği zaman serileri incelendiğinde, gözle görülebilir bir fark görülmemektedir. Buna karşın, sıcaklık zaman serilerindeki en büyük fark Asya güney kesiminde elde edilmiştir. Sıcaklık zaman serisine (Şekil 3.28) göre bu noktadaki kar su eşleniği farkının diğer noktalardan çok daha yüksek olması beklensede Şekil 3.30'dan görüleceği gibi sıcaklıktaki bu fark kar su eşleniğine yansımamıştır.



Şekil 3.30 : 2004 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehirleşmemiş-şehirleşmiş noktalar kar su eşleniği zaman serileri.

Şekil 3.31’de 2004 yılına ait sıcaklık fark haritaları verilmiştir. Sıcaklık fark haritaları oluşturulurken, şehirleşmemiş altlık olan 1990 yılına ait altlıkla hazırlanan verilerden, şehirleşmiş altlık olan kendi yılına ait altlık ile hazırlanan veriler çıkartılmıştır. Kendi yılına ait altlıkla hazırlanan haritalar incelendiğinde, 22 Ocak’ta sıcaklık değerlerinin 0°C üzerinde seyrettiği görülmektedir.

Yeniden düzenlenen altlık ile elde edilen haritalar incelendiğinde ise, sıcaklık değerlerindeki düşüşün ilk olarak 22 Ocak itibari ile başlamış olduğu, düşüş değerlerinin Avrupa yakasının batı kesimlerinde görülmeye başladığı tespit edilmiştir. Avrupa yakası batı kısımdaki sıcaklık değerleri 0°C altına inerken, İstanbul ilinin kalanı 0°C üzerinde sıcaklık değerlerine sahiptir. 22 Ocak 2004 tarihi öğle saatleri itibari ile Avrupa yakasındaki sıcaklıklar 0°C altına inmiştir. Bu sıcaklık düşüşü Avrupa yakasından Asya yakasına doğru ilerlemiştir.



Şekil 3.31 : 2004 yılı 22.01.2004-00 UTC (üstte solda), 22.01.2004-12 UTC (üstte sağda), 23.01.2004-00 UTC (ortada solda), 23.01.2004-12 UTC (ortada sağda), 24.01.2004 00 UTC (altta) sıcaklık fark haritaları.

Sıcaklıklardaki düşüş, kendi altlığı ve yeniden düzenlenen altlıkta da meydana gelmiştir; fakat yeniden düzenlenen altlıkla hazırlanan haritalardaki düşüş kendi yılına ait altlığa hazırlanan haritaya göre daha fazla olmuştur. 2004 yılı Ocak ayının 23'ü öğle saatleri itibari ile İstanbul ilinin tamamındaki sıcaklıklar 0°C altına inmiştir.

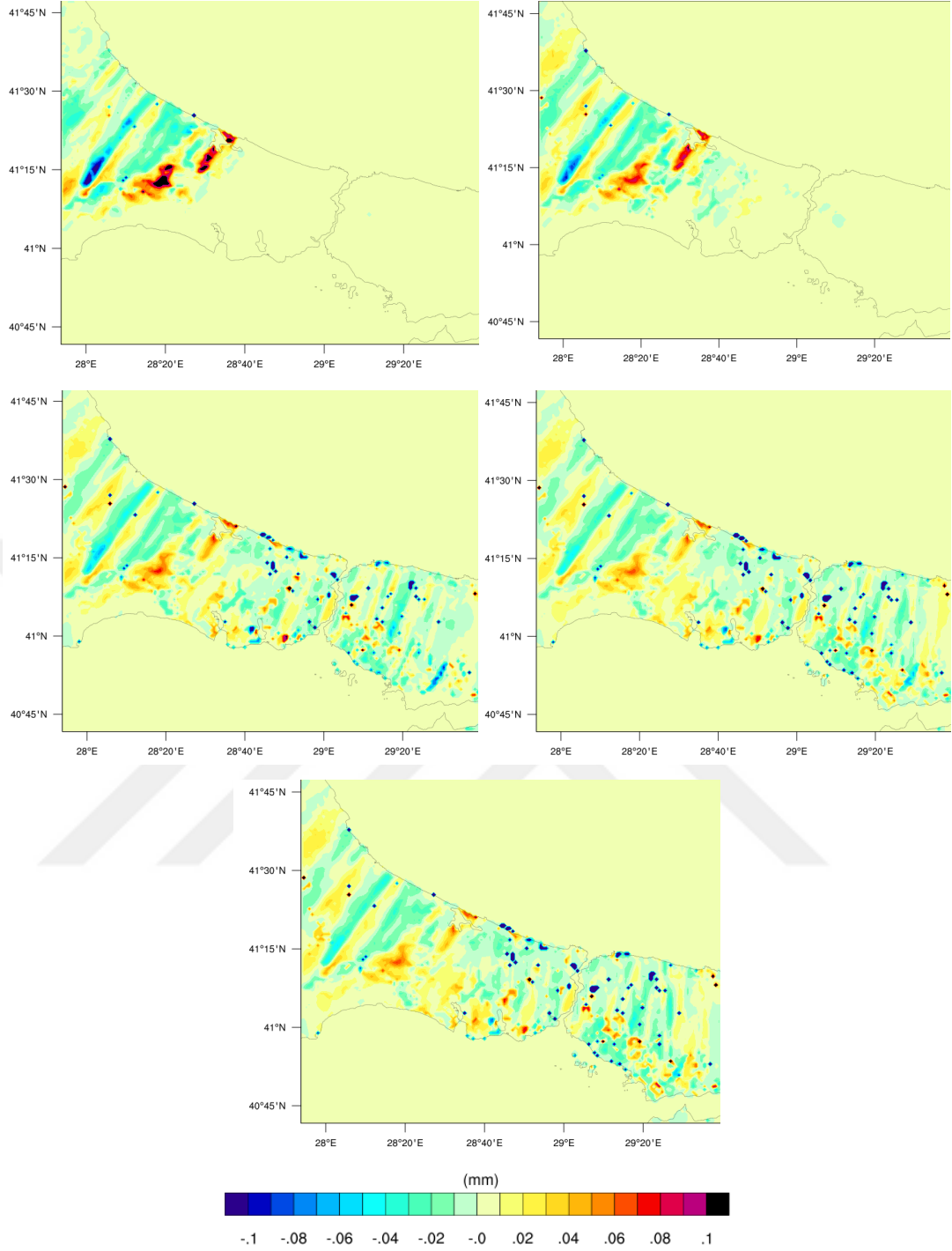
MGM'den alınan gözlem verilerinden elde edilen bilgilere göre, 23 Ocak 2004 tarihi öğle saatlerinde yağış en şiddetli seviyesine ulaşmıştır. Sıcaklıklardaki farklılıklar en çok sonradan şehirleşen bölgelerde görülmüştür. Bu durum model çıktılarında elde edilen verilerin, gözlem verileri ile uyum içerisinde olduğunu göstermektedir (Şekil 3.31).

Şekil 3.32'de 22 Ocak 2004 tarihin ait karla kaplı alan fark haritası verilmiştir. Karla kaplı alan fark haritaları, diğer fark haritaları gibi şehirleşmemiş altlıkla hazırlanan altlıktan, kendi yılına ait altlıkla hazırlanan verinin çıkarılması ile elde edilen altlık kullanılarak modele tanıtılması, sonrasında görselleştirmelerin yapılması ile elde edilmiştir.

Hadise yılına ait altlık ile hazırlanan haritalar incelendiğinde, kar örtüsünün ilk olarak Avrupa yakası batı kesimlerinde görülmeye başladığı, takip eden günlerde İstanbul ilinin doğusuna doğru ilerlediği görülmüştür. 1990 yılına göre yeniden düzenlenen altlık ile hazırlanan haritalara bakıldığında, 22 Ocak 2004 00 UTC itibari ile Avrupa yakası kuzey kesimlerinde görülmeye başlanan karla kaplı alan, ilerleyen gün ve saatlerde İstanbul ilinin geri kalanına yayıldığı tespit edilmiştir. 23 Ocak öğle saatleri itibari ile İstanbul ilinin tamamı kar ile kaplanmıştır. Gözlem verileri de 23 Ocak öğle saatlerinin en şiddetli kar yağışı yaşanan saat olduğunu göstermektedir.

24 Ocak 2004 00 UTC itibari ile de, şiddetli yağışların bir sonucu olarak karla kaplı alanın maksimuma ulaşmıştır. Her iki durumun farkına bakıldığında, şehirleşmenin arttığı noktalarda, şehirleşme olmasaydı karla kaplı alanın yaşanandan çok daha fazla olacağı tespit edilmiştir.

Fiziksel kar kalınlığını gösteren haritalar, Şekil 3.33'da verilmiştir. Haritalar, kendi yılına ait altlıktan ,1990 yılına göre derlenen altlığın birbirlerinden çıkartılması ile oluşturulmuş ve görseleştirilmiştir. Fiziksel kar kalınlığı Avrupa ve Asya kıtalarının kuzey kesimlerinde maksimuma ulaşmıştır. Özellikle Avrupa yakası kuzeybatı bölgelerinde kar kalınlığı en yüksek seviyededir. Bunun sebebi o bölgedeki şehir örtüsünün, şehrin geri kalan yerlerine nazaran daha az olmasıdır. Fark haritasına bakıldığında ise, kar kalınlığının daha yüksek olması beklenen yerler, sonradan şehirleşen noktalardır. Bu durum da, şehirleşmenin kar yağışına olan etkilerini ortaya koymaktadır.

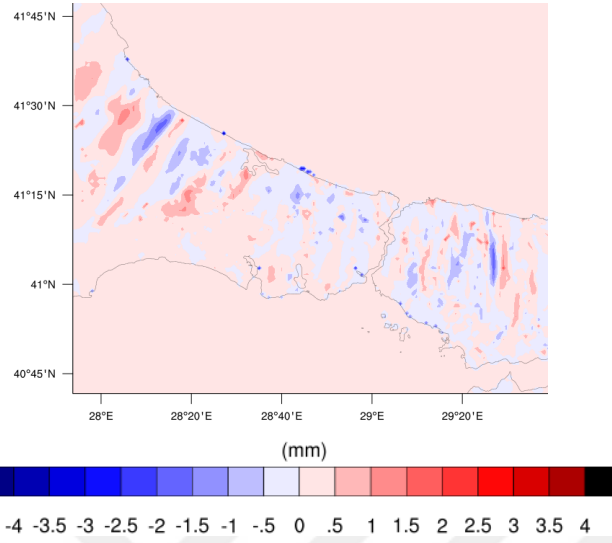


Şekil 3.32 : 2004 yılı 22.01.2004-00 UTC (üstte solda), 22.01.2004-12 UTC (üstte sağda), 23.01.2004-00 UTC (ortada solda), 23.01.2004-12 UTC (ortada sağda), 24.01.2004 00 UTC (altta) karla kaplı alan fark haritaları.

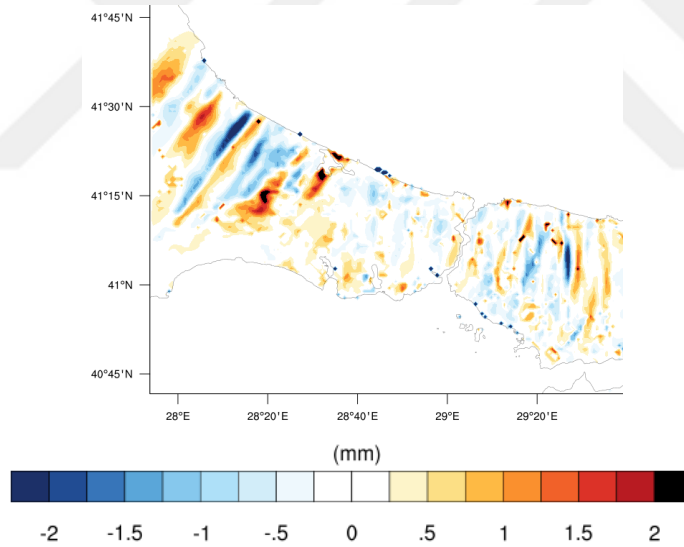
Kar su eşleniği fark haritaları, kendi yılına ait altlıktan, yeniden düzenlenen altlığın farkı alınarak hazırlanmıştır. Haritalar incelendiğinde, fiziksel kar kalınlığında maksimum olan alanların burada da maksimum olduğu görülmektedir.

Bu noktalar aynı zamanda sıcaklığın da minimum olduğu noktalardır. Fark haritasına bakıldığında ise, kar kalınlığı ile benzer bir görünüm vardır. Sonradan şehirleşen

noktaların, kar su eşleniğinin gerçek değerden daha yüksek olması beklenmektedir. Aynı şekilde bu durum da şehirleşmenin kar yağışına olan etkilerini ortaya koymaktadır (Şekil 3.34).



Şekil 3.33 : 24.01.2004 00 UTC fiziksel kar kalınlığı fark haritası.



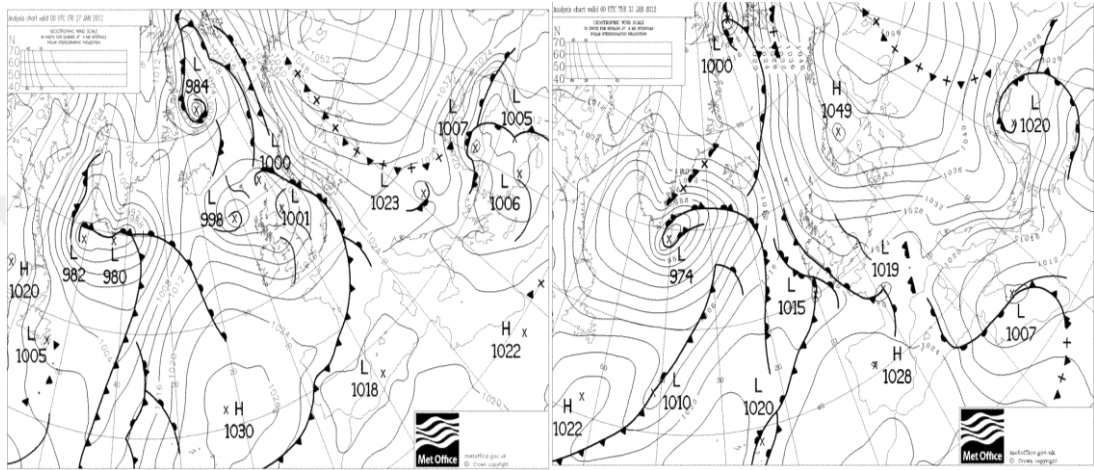
Şekil 3.34 : 24.01.2004 00 UTC kar su eşleniği fark haritası.

3.4 26.01.2012 – 02.02.2012 Tarihli Kar Yağışı

26 Ocak 2012 tarihi itibari ile ülkemize Balkanlar üzerinden bir alçak basınç sistemi giriş yapmıştır. Aynı zamanda Türkiye'nin doğu tarafında bulunan bir yüksek basınç sistemi, alçak basınç sisteminin ilerlemesine engel olmuş ve ülkemiz üzerinde uzun süre etkisini göstermesine yol açmıştır. Sistem etkilerini 2 Şubat tarihine kadar göstermiştir.

3.4.1 Sinoptik analiz

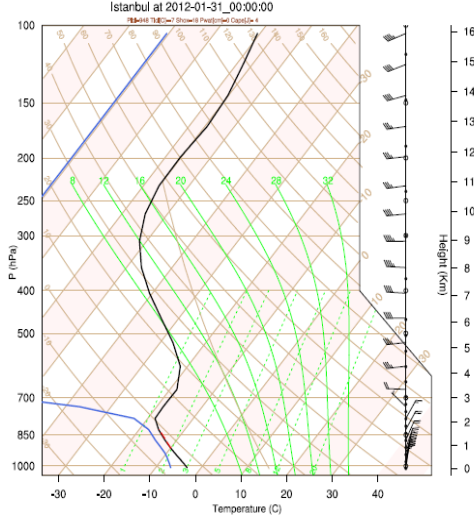
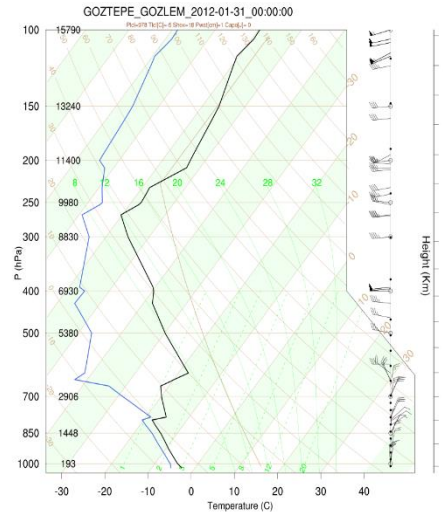
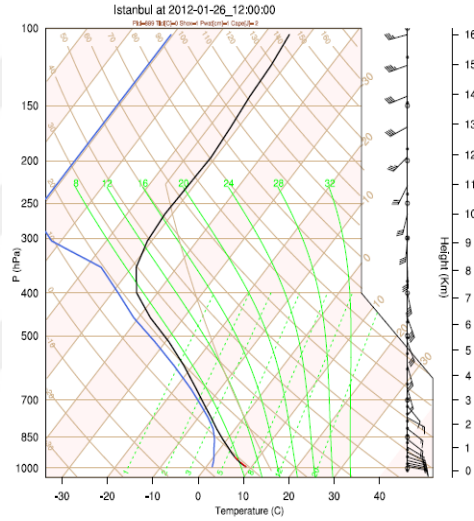
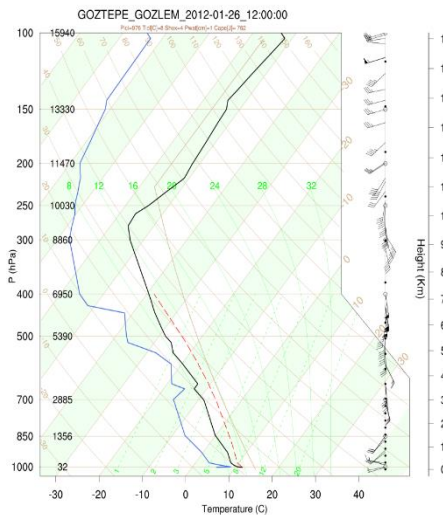
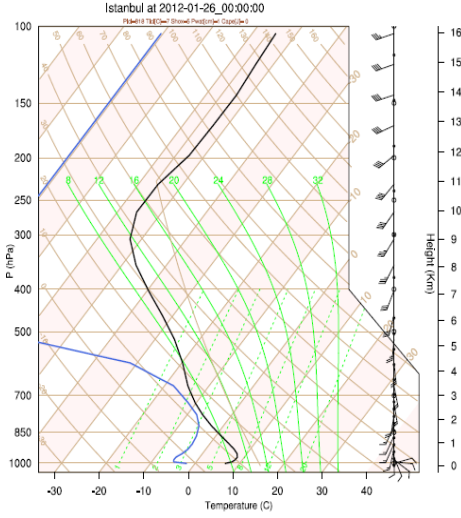
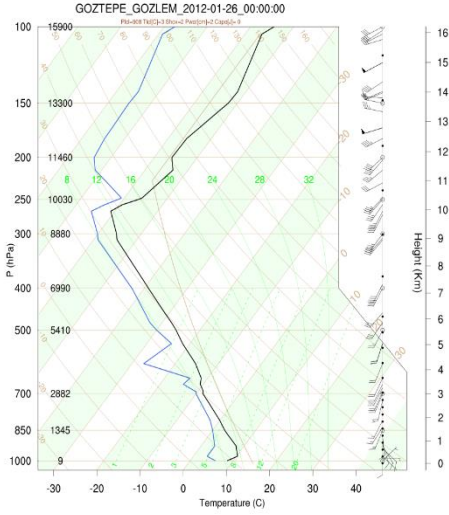
26 Ocak 2012 tarihinde meydana gelen bu durum nedeni ile 26 Ocak 2012 tarihi akşam saatlerinde ülkemizin genelinde ve İstanbul’da sulu kar şeklinde başlayan yağış, 27 Ocak 2012 tarihinde sıcaklıkların düşmesi ile birlikte kara dönmüş ve kuvvetli rüzgârın etkisi ile ülkemizin genelini etkilemiştir. Özellikle 31 Ocak 2012 tarihinde kuvvetli olarak görülen kar yağışı İstanbul ve çevresinde maksimuma ulaşmıştır. Bu sistemin etkisi 02 Şubat 2012 ye kadar etkisini aralıklarla göstermiştir (Şekil 3.35).



Şekil 3.35 : 26 Ocak 2012-00 UTC ve 31 Ocak 2012-00 UTC tarihli yer kartları.

Şekil 3.35’de bulunan yer kartları ile Şekil 3.36’de bulunan Skew-T diyagramını birlikte değerlendirildiğinde, 26 Ocak 2012 tarihinde 00 UTC itibari ile başlayan yere yakın seviyelerdeki rüzgâr veering hareketi ile başlayan yükselici hareketlerin, bulut taban yüksekliklerini düşürdüğü aynı zamanda bulut kalınlıklarını arttırdığı görülmüştür. Düşey hareketler ile yer seviyesindeki nemin atmosferin üst katmanlarına taşınması hem bulutluluk miktarını hem de bulutların kalınlığını arttırarak; atmosferin doyma seviyesi yukarı seviyelere kadar yükselmiştir.

Ayrıca rüzgâr kayması atmosferin üst seviyelerine kadar çıkmıştır. 26 Ocak 2012 12 UTC itibari ile atmosferin üst kısımlarındaki etkiler azalmış ve bulut yükseklikleri azalarak, nem atmosferin aşağı seviyelerine inmiştir. İlerleyen saatlerde ise yağışla birlikte sistem etkisini kaybetmiştir. 30 Ocak 2012 tarihi 00 UTC itibari ile alçak basınçın Türkiye üzerinde sıkışmasından dolayı hareket edememiş ve sistem önceki günlerdeki gibi tekrar kuvvetlenerek 31 Ocak 2012 tarihinde etkilerini maksimuma çıkarmıştır (Şekil 3.36).

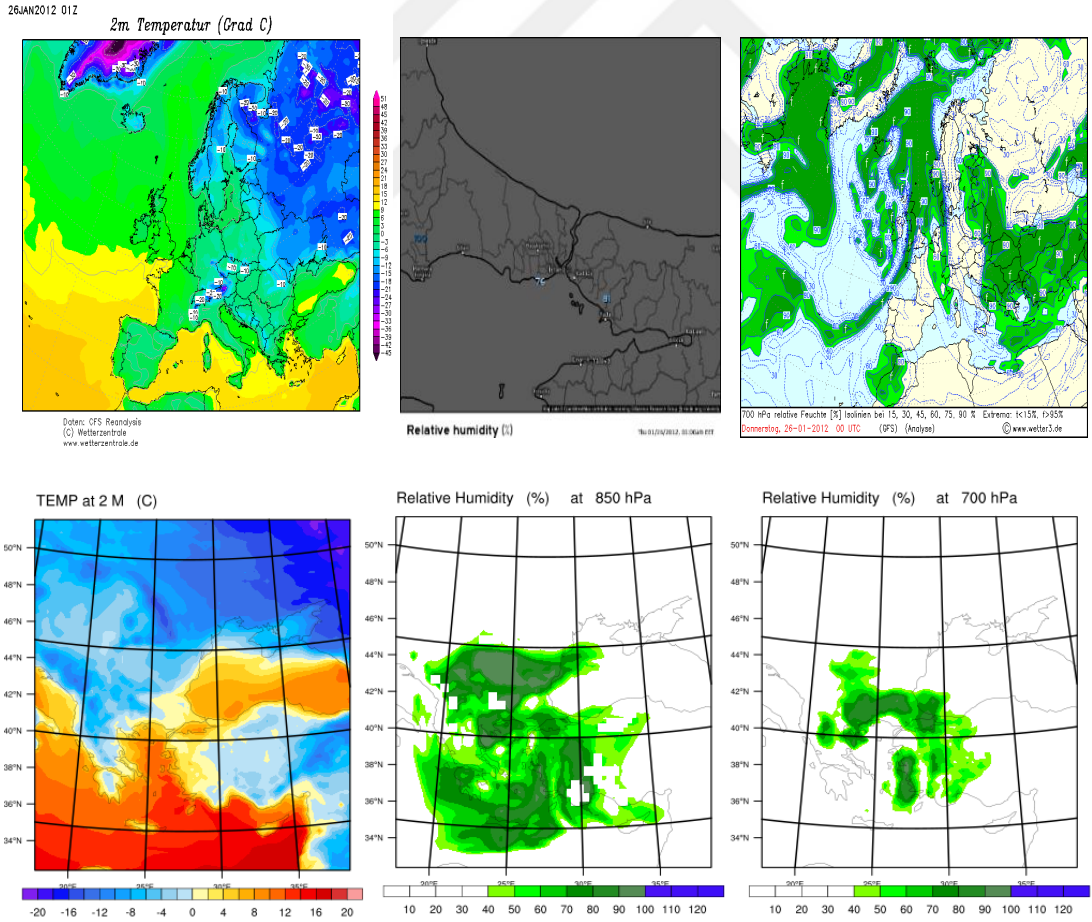


Şekil 3.36 : 26.01.2012 00 UTC (üstte solda), 26.01.2012 12 UTC (üstte ortada), 31.01.2012 00 UTC (üstte sağda) gözlem Skew-T diyagramı, 26.01.2012 00 UTC (altta solda), 26.01.2012 12 UTC (altta ortada), 31.01.2012 00 UTC (altta sağda) model Skew-T diyagramı.

WRF modeli ile elde edilen Skew-T grafikleri incelendiğinde 26.01.2012 tarihinde 00 UTC'deki atmosferik düşey profil sıcaklık ve çığ noktası sıcaklığı tahmini, doyma seviyesi yüksekliği ve bulut kalınlığı konusunda yeterli başarıyı gösterememiştir. Ancak yağışın gerçekleştiği saatler hesaba katıldığında ölçüm değerleriyle oldukça tutarlı bir düşey atmosfer profili tahmini vermiştir.

26.01.2012 00 UTC itibari ile başlayan şiddetli yükselici hareketler yer seviyesindeki nemin atmosferin üst katmanlarına kadar taşınmasına neden olmuştur. Şekil 3.36'de verilen 25.01.2000 00 UTC tarihli Skew-T diyagramı hem gözl incelendiğinde, yer seviyesindeki rüzgârların sistem kuvvetlenirken yukarı yönlü olduğu görülmektedir.

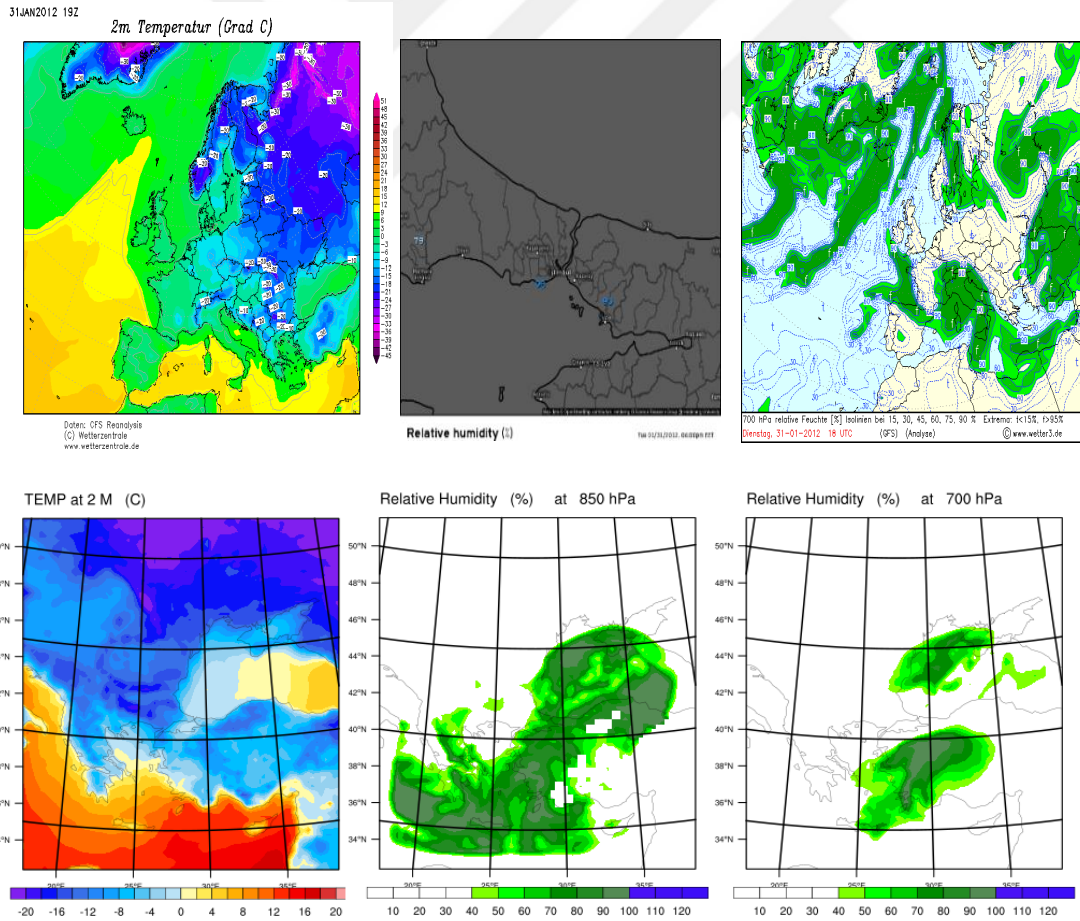
Bu durumun deniz etkisi ile birleşmesi sonucunda 850 mb ve 700 mb seviyelerindeki nemlilik değerlerinin %90'lar seviyesine kadar yükseldiği görülmüştür. Ayrıca yüzey sıcaklıkları donma seviyesinin üzerinde olması İstanbul ve çevresinde aralıklarla görülen yağışın yere sulu kar olarak ulaşmasına neden olmuştur (Şekil 3.37).



Şekil 3.37 : 26.01.2012 00 UTC gözlem haritaları, 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda) 26.01.2012 00 UTC model haritaları, 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700 mb nem (altta sağda).

Yağışın maksimumuna ulaştığı 31 Ocak günü, 26 Ocak tarihine benzer olarak nem değerleri yer seviyesinde ve atmosferin yukarı seviyelerinde yükselmiştir. Ancak bu tarihte yer sıcaklıklarının donma seviyesinin altında olması yağışın yere kar olarak düşmesine sebep olmuştur (Şekil 3.38).

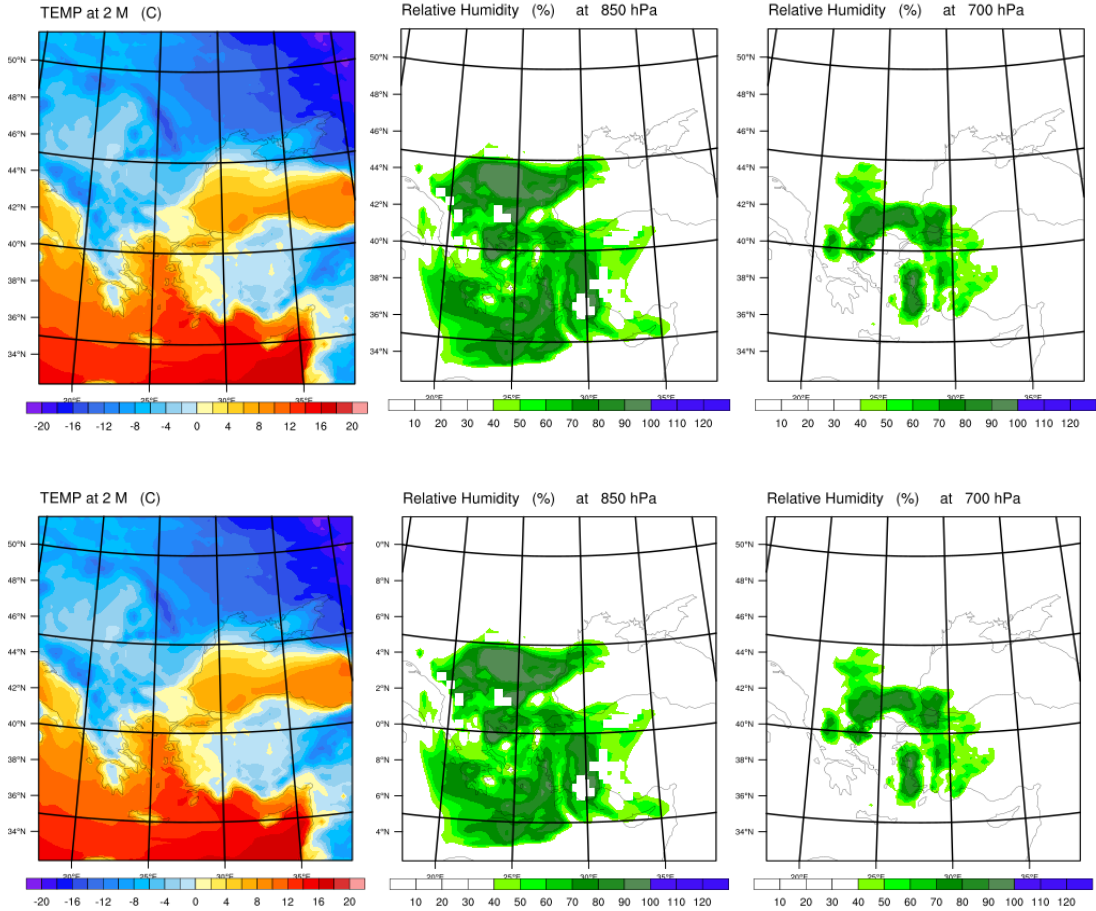
26 Ocak 2012 ve 31 Ocak 2012 tarihleri için WRF model sonuçları, gözlem sonuçları ve GFS reanaliz çıktıları karşılaştırıldığında, WRF modeli yağış öncesi Skew-T grafiğinde atmosferin düşey profilini iyi yansıtamasa da, yağışın gerçekleştiği saatler ve sonrasında başarılı tahminler yapmıştır. Ayrıca tüm tarihlerde yer seviyesi sıcaklık ve yere yakın seviyelerdeki nemlilik değerlerinin tahmininde oldukça başarılı olduğu gözlemlenmiştir. 700 mb'a ait nemlilik haritaları incelendiğinde, gözlem verisinde nemlilik değeri %60 civarında iken, model çıktısı ile hazırlanan haritada nemlilik değerinin %40'ın altında olduğu görülmektedir. Model 700 mb seviyesi nemlilik tahmininde yeterli başarıyı gösterememiştir.



Şekil 3.38 : 31.01.2012 18 UTC gözlem haritaları, 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda) 31.01.2012 18 UTC model haritaları, 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700 mb nem (altta sağda).

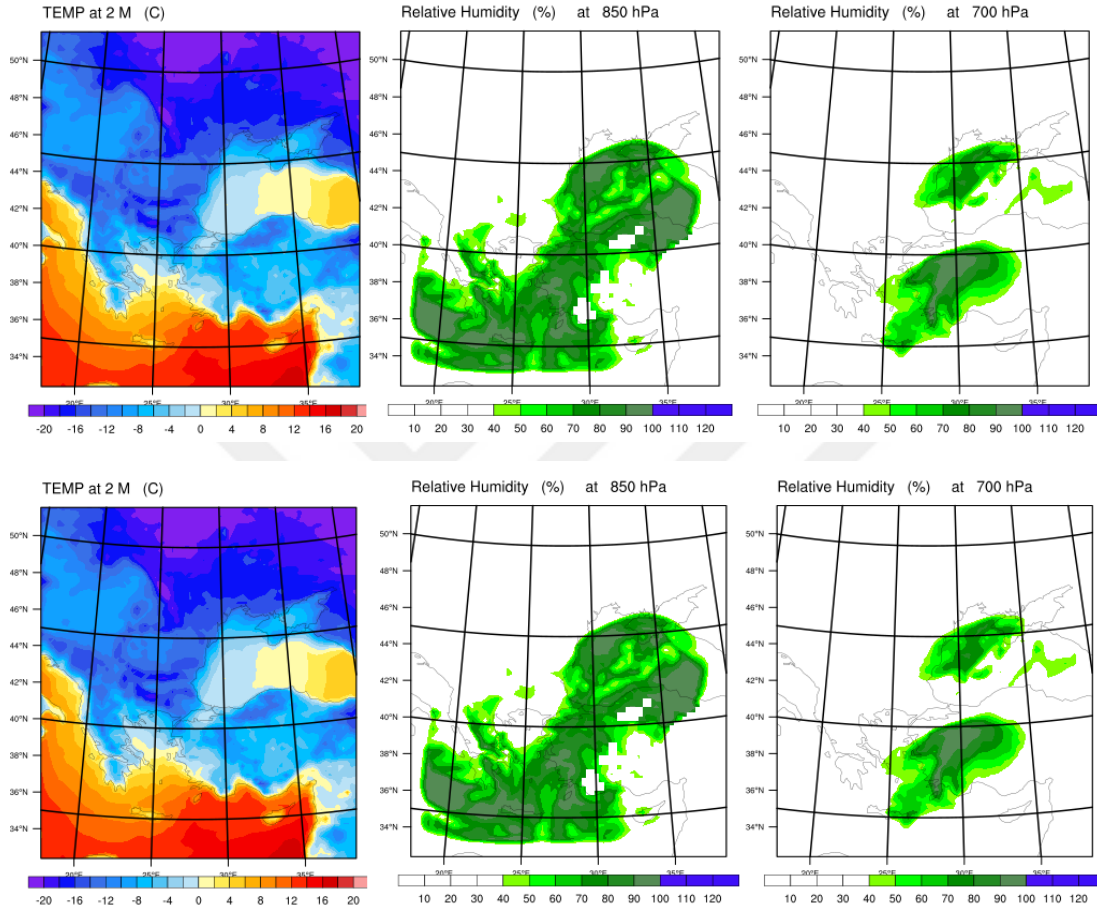
3.4.2 Şehirleşme analizi

26 Ocak – 2 Şubat 2012 tarihleri arasında meydana gelen şiddetli kar yağışının şehirleşme analizi incelenirken öncelikli olarak modelden elde edilen 2m sıcaklık, 850 ve 700 mb nem haritaları incelenmiştir. Modelden elde edilen haritalar hazırlanırken, modelin en dış alanı kullanılmıştır. Bunun sebebi sistemin geliş yönünü daha iyi görebilmektir. Öncelikli olarak, Şekil 3.38’de verilen haritalar incelendiğinde, 2m sıcaklıklarının hem kendi yılına ait altlıkla hem de sonradan düzenlenen altlıkla hazırlanan haritada sıcaklıkların, 26 Ocak 2012 tarihi 00 UTC’de 0°C’nin biraz üzerinde olduğu görülmektedir. Nemlilik değerlerine bakıldığında, 850 mb nemlilik değerinin her iki haritada da %50-60 aralığında olduğu, 700 mb seviyesi için %70-%80 civarında olduğu görülmektedir. Yukarı seviyelerdeki nemlilik değerinin daha yüksek olması göze çarpmaktadır. Ayrıca iki harita arasında gözle görülebilir bir fark yoktur (Şekil 3.39).



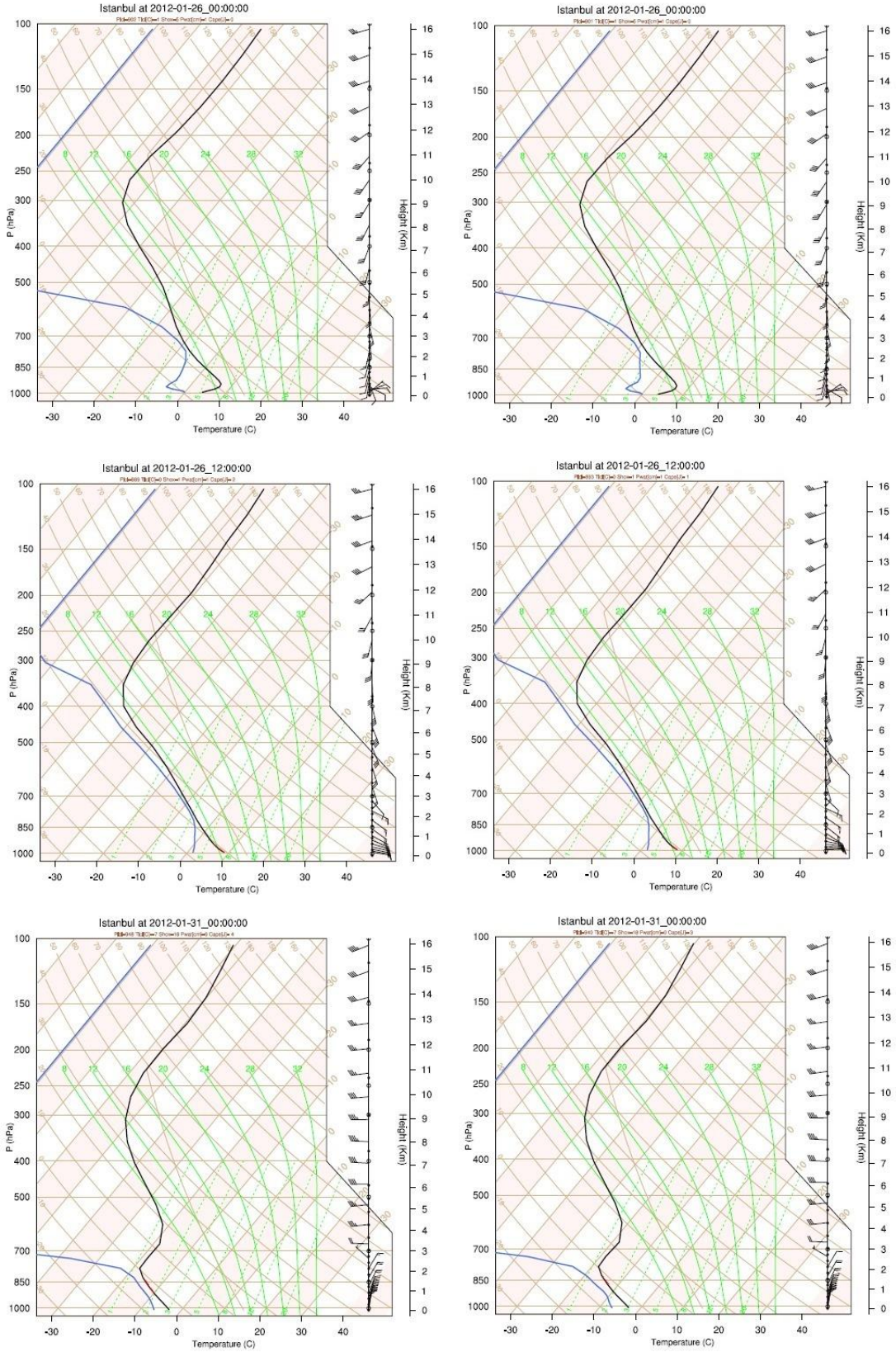
Şekil 3.39 : 26.01.2012 00 UTC’ye ait gerçek altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda), 26.01.2012 00 UTC’ye ait düzenlenmiş altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700mb nem (altta sağda).

31 Ocak 2012 tarihi 18 UTC tarihi yağışın en şiddetli görüldüğü zamandır. O tarihe ait model haritasındaki 2m sıcaklıklarına bakıldığında, sıcaklıkların 0 °C'nin altına indiği görülmektedir. Bu değerler, her iki altlıkla hazırlanan harita için de geçerlidir. Nemlilik değerleri incelendiğinde, her iki durum için de 850mb değerlerinin %80-%90 aralığında, 700mb değerinin %40'ın altında olduğu görülmektedir (Şekil 3.40).



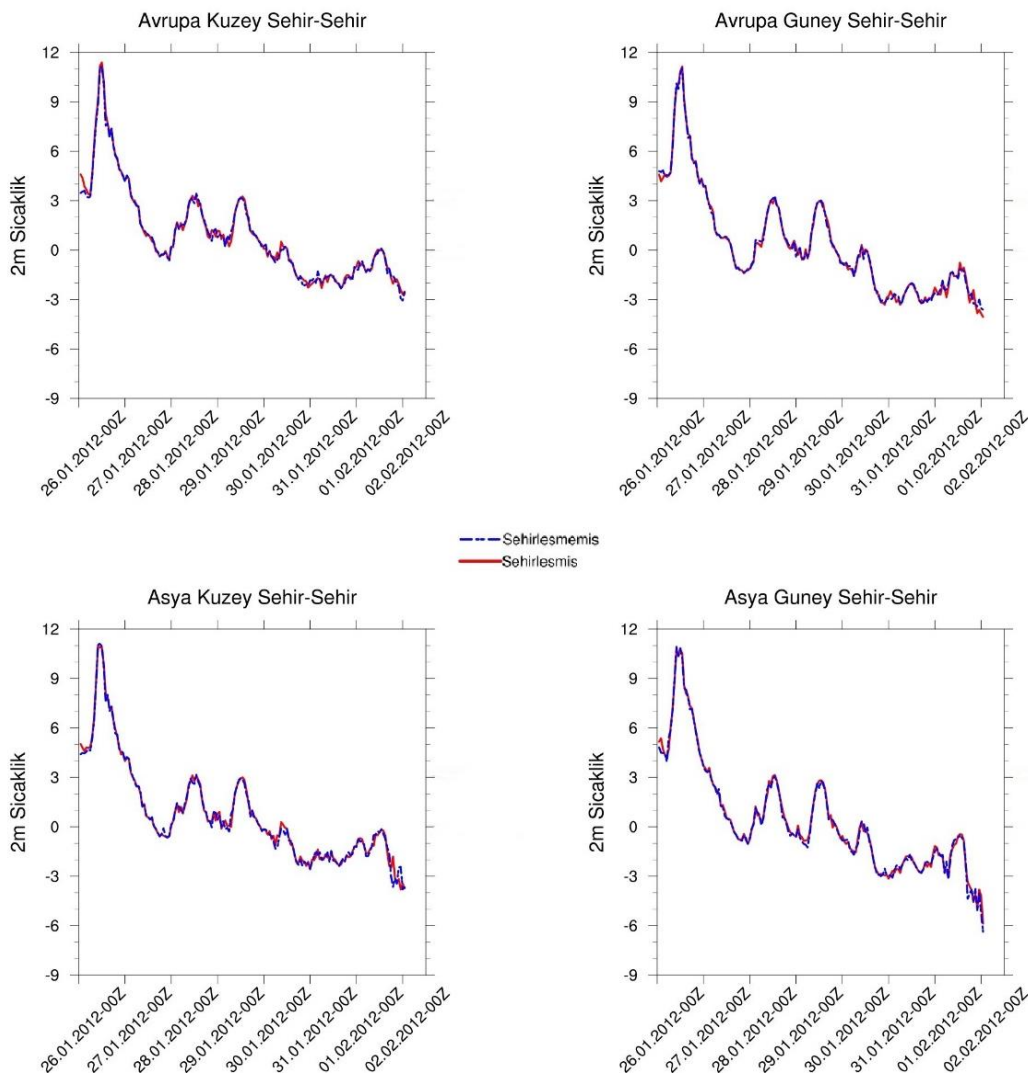
Şekil 3.40 : 31.01.2012 18 UTC'ye ait gerçek altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (üstte solda), 850 mb nem (üstte ortada), 700 mb nem (üstte sağda), 31.01.2012 18 UTC' düzenlenmiş altlık ile hazırlanan haritalar 2m sıcaklık (altta solda), 850 mb nem (altta ortada), 700mb nem (altta sağda).

Şekil 3.41'de 26.01.2012 tarihine ait Skew-T diyagramları karşılaştırıldığında, bulut başlangıç seviyelerinin 750 mb civarında, hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Bulut kalınlıkları da yine aynı şekilde hemen hemen aynıdır. Yalnızca, yeniden düzenlenen altlıkta bulutların daha yoğun olarak oluşturulduğu göze çarpmaktadır. Buna ek olarak, çığ noktası sıcaklıkları ve hava sıcaklıkları incelendiğinde, her iki sıcaklık değerinin de yeniden düzenlenen altlıkta daha düşük bir değere sahip olduğu görülmektedir.



Şekil 3.41 : Model ile hazırlanan Skew-T diyagramları; 26.01.2012 00 UTC gerçek altlık ile (üstte solda)-düzenlenmiş altlık ile (üstte sağda), 26.01.2012 12 UTC gerçek altlık ile (ortada solda)- düzenlenmiş altlık ile (ortada sağda), 31.01.2012 00 UTC gerçek altlık ile (altta solda)- düzenlenmiş altlık (altta sağda).

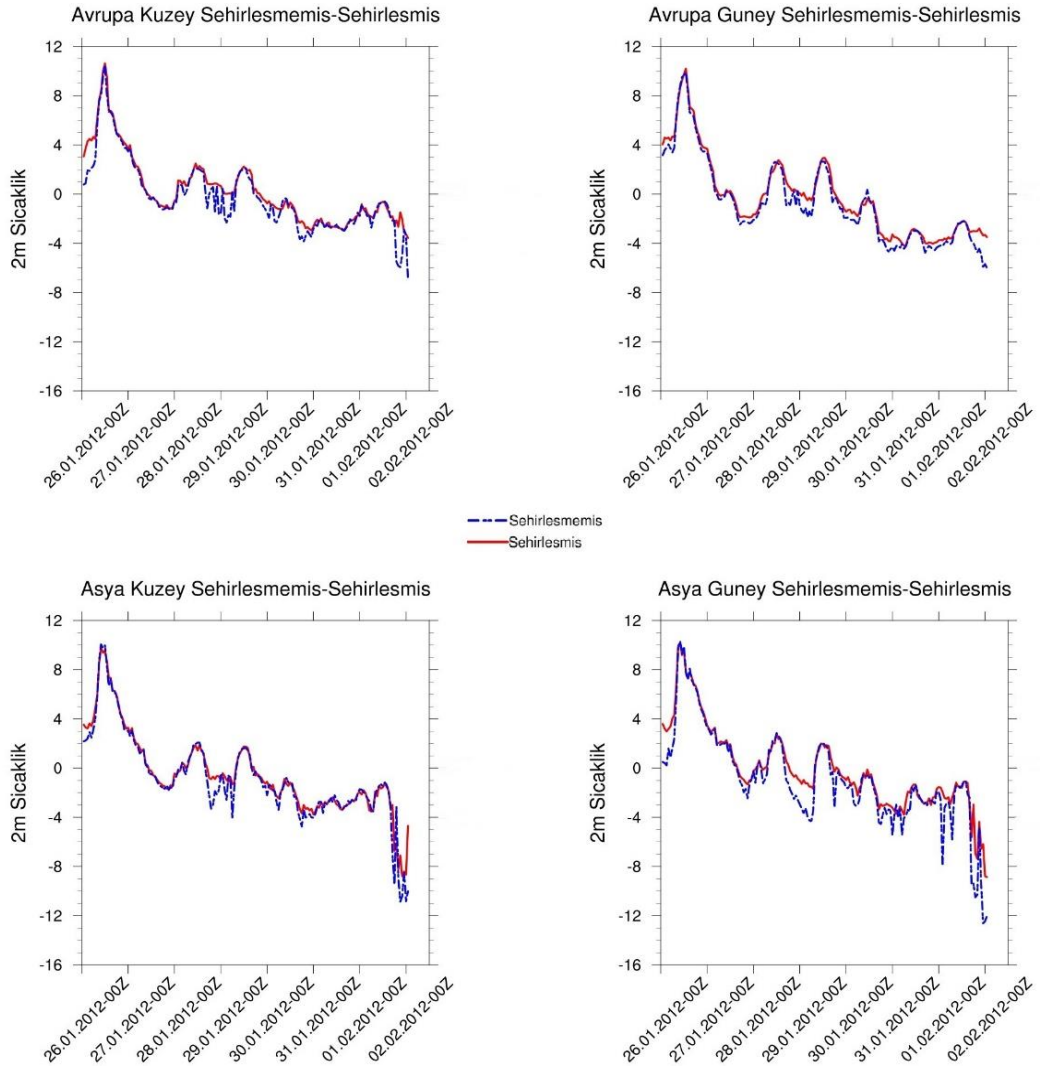
Bu sıcaklık düşüşü, karın erimeden yere ulaşma ihtimalini, karın şiddetini arttırmaktadır. Yeniden düzenlenen altlıklarda bulunan rüzgâr kaymaları, hadise yılına ait altlıkla hazırlanan Skew-T diyagramı ile benzerlik göstermektedir. 1990 yılına göre yeniden düzenlenen altlıktaki Skew-T diyagramları ile kendi yılına ait altlıkla düzenlenen Skew-T diyagramları 31 Ocak 2012 için de benzer özellikler göstermektedir. Yine aynı şekilde, sıcaklıklar yeniden düzenlenen altlıkta birkaç derece daha düşük, rüzgâr kaymaları hemen hemen aynı, bulut oluşum seviyesi biraz daha alçaktadır. 31 Ocak 00 UTC' ye ait yeniden düzenlenen Skew-T diyagramındaki hava sıcaklığı, çığ noktası sıcaklığı benzer değerlere sahiptir (Şekil 3.41).



Şekil 3.42 : 2012 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehir-şehir noktaları sıcaklık zaman serileri.

Şekil 3.42’da hem kendi yılına ait altlıkla hemde yeniden düzenlenen altlıkla hazırlanan ve her iki durumda da şehir olan noktaların oluşturduğu sıcaklık zaman

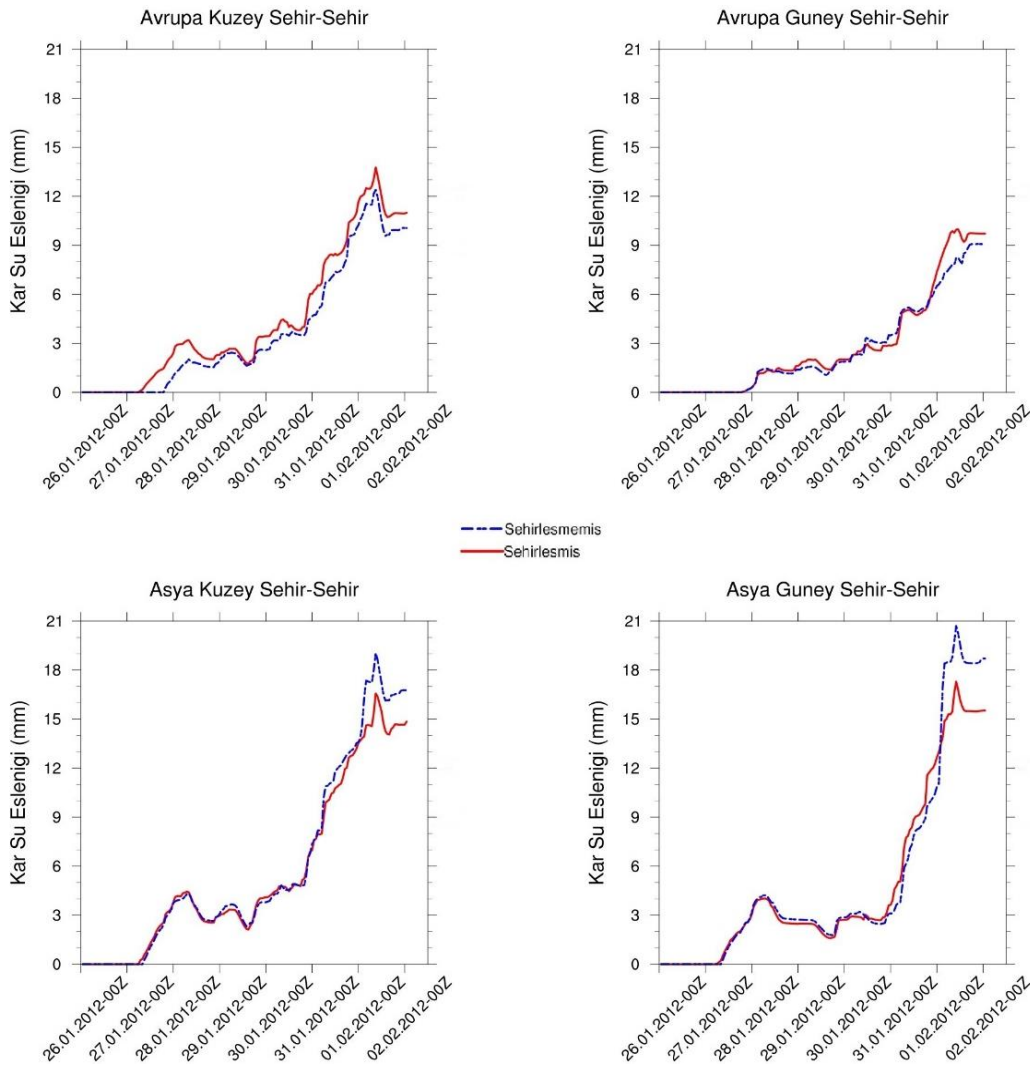
serileri verilmiştir. Zaman serileri incelendiğinde, her iki durumda da sıcaklıkların hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Benzer salınım göstermelerinin sebebi, şehir örtüsünde bir değişim olmaması olarak gösterilebilir.



Şekil 3.43 : 2012 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehirleşmemiş-şehirleşmiş noktaları sıcaklık zaman serileri.

Şekil 3.43’da verilen, şehirleşmemiş-şehirleşmiş noktalar sıcaklık zaman serileri, daha önce şehir olmayıp, hadise yılında şehir olan yani sonradan şehirleşen noktaları ifade etmektedir. Grafikler incelendiğinde, özellikle Avrupa yakası kuzey kesiminde ve Asya yakası güney kesimindeki farkın diğerlerine oranla daha yüksek olduğu göze çarpmaktadır. 1990 yılı ile 2012 yılı şehir yapısı karşılaştırıldığında, şehir yapısındaki artışın Avrupa kuzey ve Asya güney kesiminde daha fazla arttığı görülmektedir. Şehir örtüsünün değiştiği noktalar değerlendirildiğinde, sıcaklık değerinde 1 ile 6 derece arasında farklıklar görüldüğü tespit edilmiştir. Sıcaklıkların düştüğü zaman adımları,

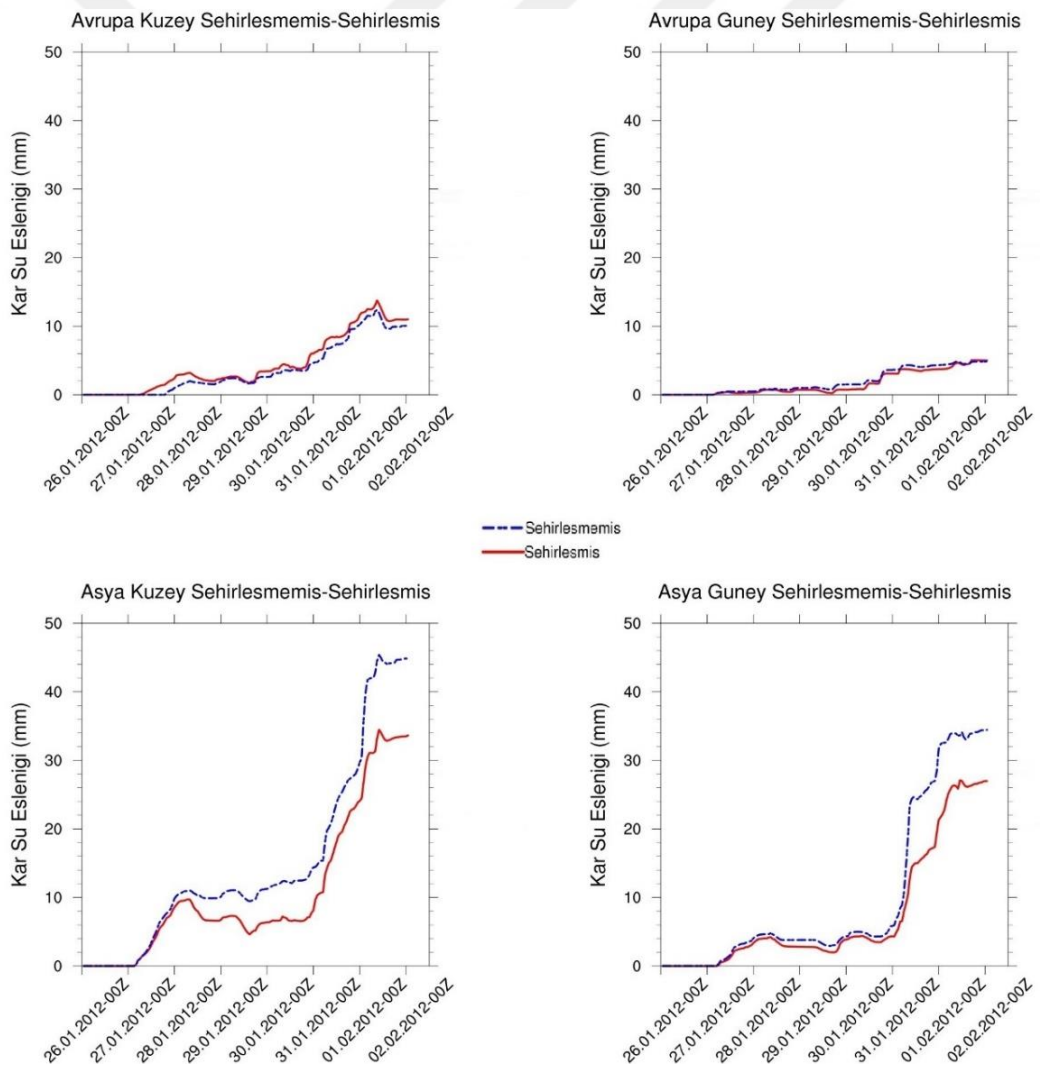
gece saatlerine denk gelmektedir. Bu, şehirleşmenin daha az olduğu yerlerde sıcaklığın düşmesi beklenen bir durumdur. Karın yerde kalma süresini arttırır. Gece düşen yağışların da kar olarak, erimeden yere ulaşma ihtimali de artmaktadır. Özellikle Asya yakasının kuzey kesiminde bulunan sonradan şehirleşmiş noktalarda, sıcaklık farkı diğer bölgelere göre çok daha fazladır. Yağışın bittiği tarih olan 02 Şubat 2012 tarihinde, bu noktadaki sıcaklık farkı 7 dereceleri bulmaktadır. Avrupa kuzey kesimde ve Asya Güney kesimdeki noktalarda, diğer noktalara nazaran daha büyük değişimler görülmektedir. Bu durum, o bölgelerdeki şehirleşmenin seçilen diğer noktalara nazaran daha büyük oranda arttığını göstermektedir.



Şekil 3.44 : 2012 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üstte sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehir-şehir noktaları kar su eşleniği zaman serileri.

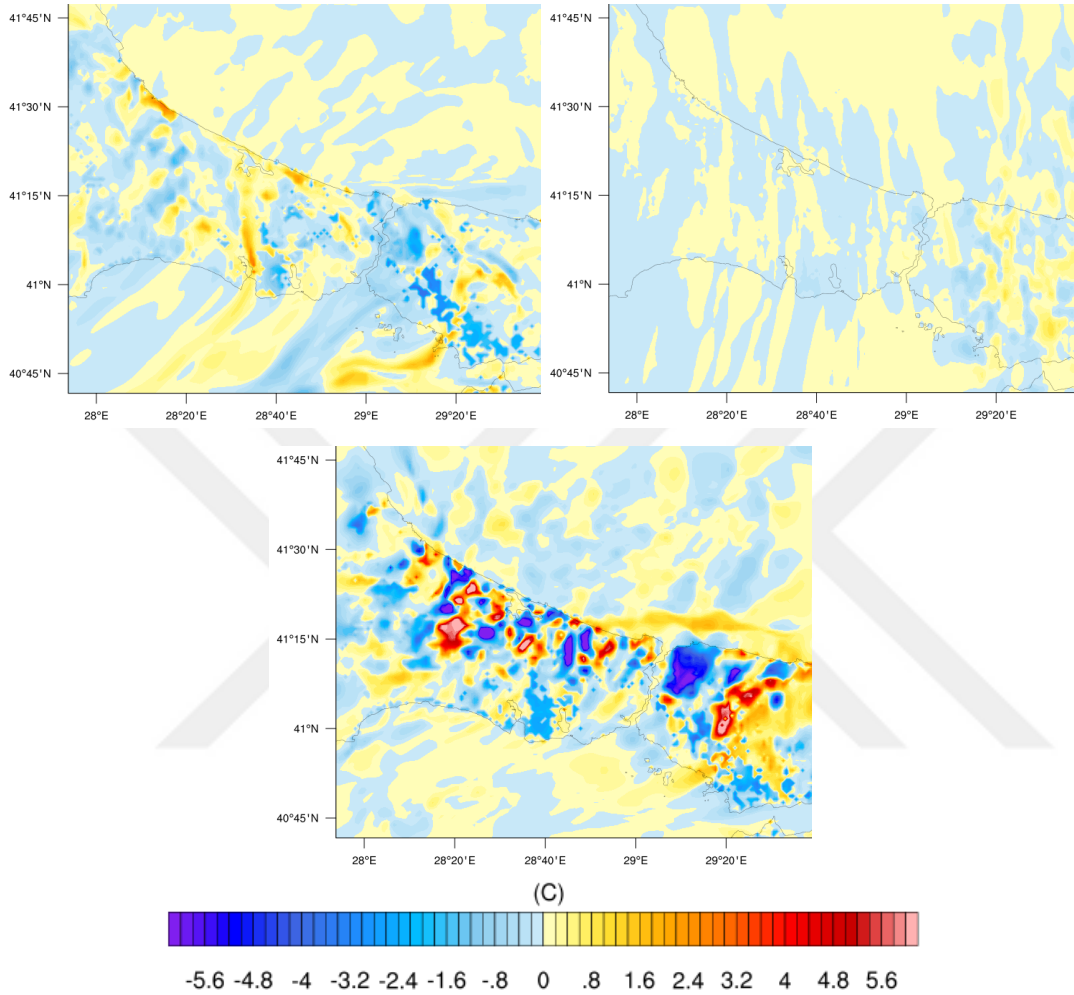
Kar su eşleniği zaman serileri şehir-şehir noktaları Şekil 3.44’da verilmiştir. Seçilen noktalar, her iki altlıkta da şehir olarak görülen noktalardır. Genel olarak benzer

salınımlar göstermişlerdir. Şekil 3.45’de kendi yılında şehir olup daha önce şehir olmayan noktalarla hazırlanan kar su eşleniği zaman serileri verilmiştir. Zaman serileri incelendiğinde, kar su eşleniği değerinin değiştiği noktaların şehirleşmeden etkilendiği görülmektedir. Şehir örtüsü olmaması durumunda kar su eşleniği değerinin de daha yüksek olacağı Şekil 3.45’den açıkça görülmektedir. Özellikle şehir örtüsünün büyük oranda değiştiği bölgeler olan Asya kuzey ve Asya güney bölümünde daha büyük değerlerde değişimler görülmüştür. Asya yakası güney kesimdeki değişim kuzey kesimine oranla daha azdır. Sıcaklık zaman serileri ile karşılaştırıldığında, kar su eşleniği değerlerinin ters orantılı olarak bir salınım gösterdiği görülmektedir. Her bir grafik de, 31 Ocak 2012 tarihinde, kar yağışının maksimuma ulaştığı tarihte büyük oranda bir fark görülmektedir. Şehir örtüsü kar yağışını azaltmıştır.



Şekil 3.45 : 2012 yılı Avrupa Kuzey (üste solda), Avrupa Güney (üste sağda), Asya Kuzey (alta solda), Asya Güney (altta sağda) şehirleşmemiş-şehirleşmiş noktaları kar su eşleniği zaman serileri.

Şekil 3.46'de 26.01.2012, 27.01.2012 ve 02.02.2012 günlerine ait sıcaklık fark haritaları verilmiştir. Haritalar elde edilirken, yeniden düzenlenen altlık ile hazırlanan sıcaklık değerleriyle, kendi yılına ait altlık ile hazırlanan sıcaklık değerlerinin farkları alınmıştır.



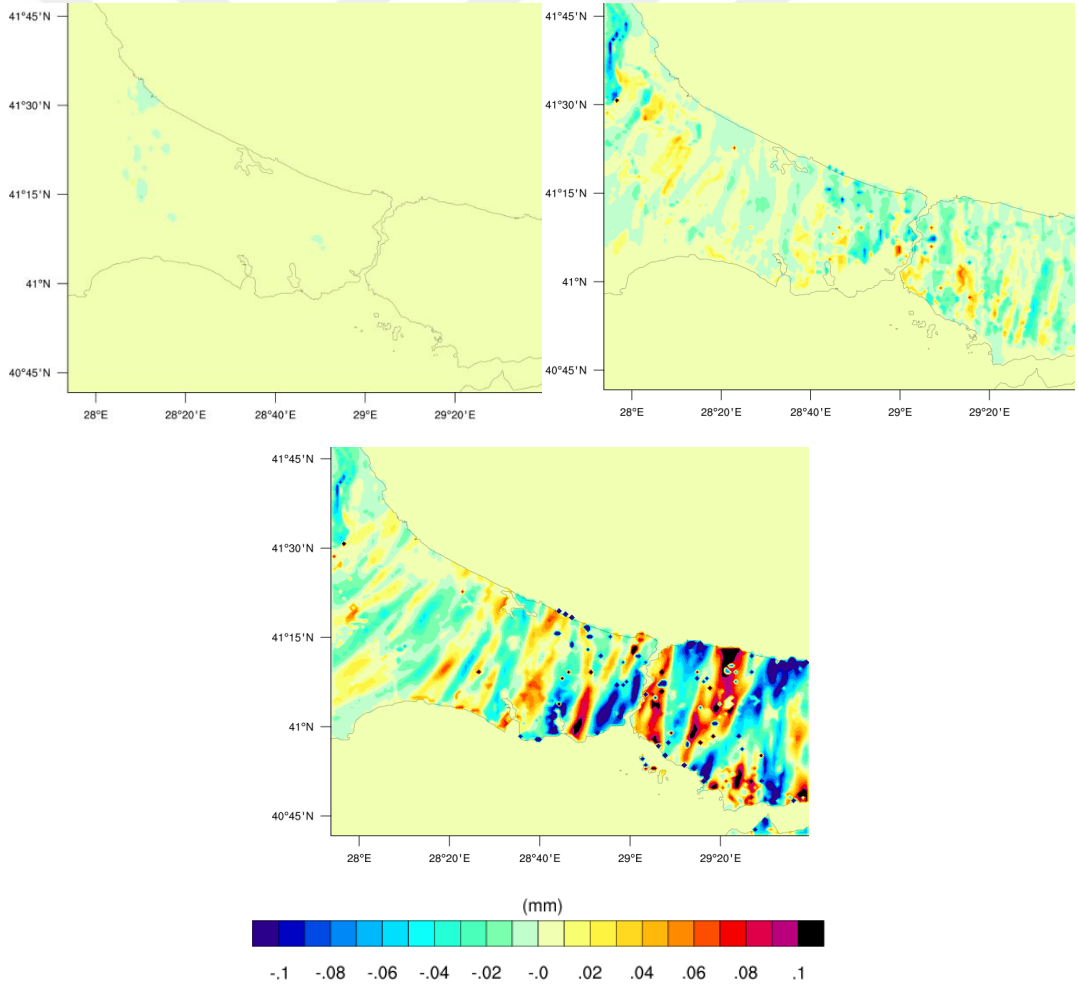
Şekil 3.46 : 2012 yılı 26.01.2012 00 UTC (üstte solda) -27.01.2012 12 UTC (üstte sağda) -31.01.2012 00 UTC (altta) sıcaklık fark haritaları.

Haritalar incelendiğinde, 26 Ocak itibari ile sıcaklıkların 0°C ve üzerinde olduğu görülmektedir. Bu sıcaklık değeri her iki altlıkta da hemen hemen aynıdır. Yalnızca belirgin olarak Anadolu yakası kuzey kesiminde bir düşüş gözlemlenmektedir. Aynı güne ait fark haritası incelendiğinde, sıcaklıkların dalgalanmalar şeklinde artış ve azalış gösterdiği görülmektedir.

Özellikle, Anadolu yakasında daha fazla sıcaklık farkına rastlanmaktadır. 27 Ocak 2012 itibari ile hava sıcaklıkları, Avrupa yakası batısından itibaren düşmeye başlamış, 0°C altına inmiştir. Bu tarihe ait sıcaklık fark haritası incelendiğinde, bir önceki günden daha düşük salınımlar olduğu göze çarpmaktadır. Yağışın son günü olan 2

Şubat gününe ait haritalar incelendiğinde, 0°C'nin altında sıcaklık değerleri gözlemlendiği, yine Avrupa'nın batı kesiminde İstanbul'un genelinden daha düşük sıcaklık değerleri tespit edildiği görülmüştür. 2 Şubat 2012 tarihine ait sıcaklık fark haritaları incelendiğinde ise, Avrupa yakası Güney ve Asya yakası Kuzey kesimlerindeki sıcaklık farklılıklarının diğer bölgelere nazaran daha yüksek olduğu görülmektedir. Sıcaklık farklılıklarındaki bu durum şehir örtüsünün artması ile doğru orantılıdır.

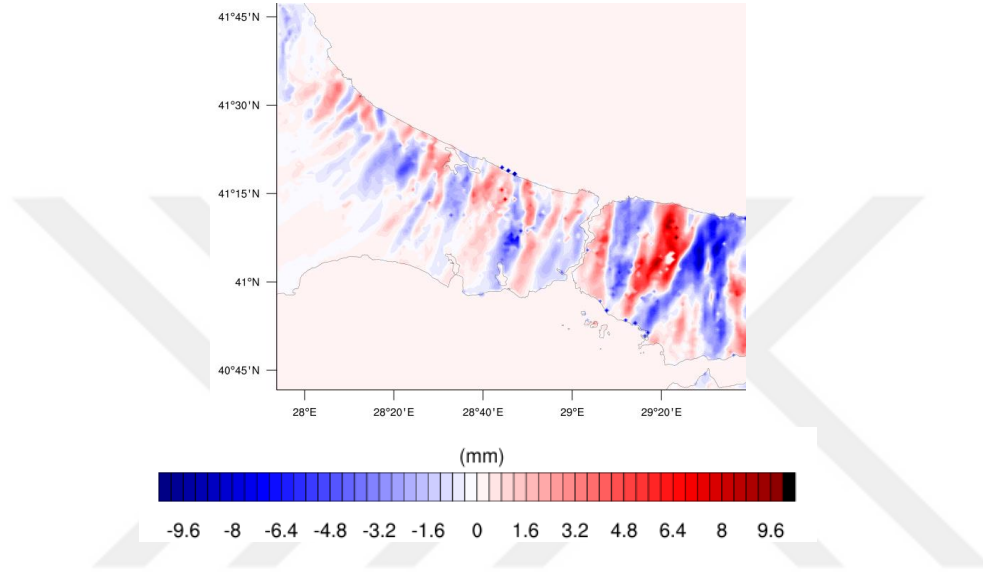
Şekil 3.47'de, 2012 yılındaki kar yağışı hadisesine ait karla kaplı alan haritaları verilmiştir. Haritalar incelendiğinde, yağışın başladığı gün itibari ile, karla kaplı alandaki artışın Avrupa yakası batı kesiminde kendini göstermeye başladığı göz çarpmaktadır. İlerleyen günlerde, Avrupa yakası batı kesiminden, doğu kesimine doğru karla kaplı alanda artış görülmüştür.



Şekil 3.47 : 2012 yılı 26.01.2012 00 UTC (üstte solda) - 27.01.2012 12 UTC (üste sağda) - 02.02.2012 00 UTC (altta) karla kaplı alan fark haritaları.

Hadisenin son günü olan 2 Şubat 2012 tarihindeki kar örtüsü incelendiğinde, Avrupa yakası kuzey kesiminde ve Anadolu yakası güney kesimindeki kar örtüsünün maksimum olduğu görülmektedir. Bu bölgeler şehir örtüsünün diğer bölgelere nazaran daha az olduğu noktalardır.

Hadisenin son günü olan 2 Şubat 2012 tarihine ait fiziksel kar kalınlığı fark haritası incelendiğinde, özellikle Anadolu yakasındaki farkın Avrupa yakasından çok olduğu göze çarpmaktadır. Bu durum şehir örtüsünün artması ile doğru orantılıdır.

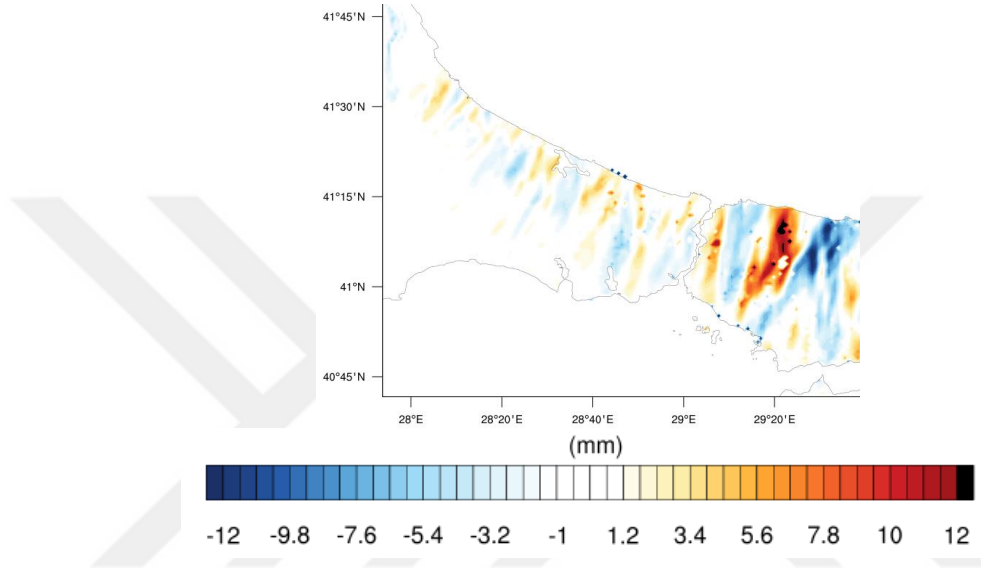


Şekil 3.48 : 02.02.2012 00 UTC fiziksel kar kalınlığı fark haritası.

Şekil 3.48'de verilen fiziksel kar kalınlığının maksimuma ulaştığı model haritası incelendiğinde, şehirleşmenin azaltıldığı altlıkla hazırlanan haritadaki kar kalınlığının, şehirleşmenin mevcut olduğu durumdan daha fazla olduğu göze çarpmaktadır. Fark haritası incelendiğinde, özellikle Anadolu yakası kuzey kesiminde görülen artışın sebebi o bölgedeki şehirleşmenin 1990-2012 yılları arasında artmış olması olarak gösterilebilir. Kar su eşleniği fark haritaları Şekil 3.49'da verilmiştir. Haritalar soldan sağa, kendi yılına ait altlıkla hazırlanan kar su eşleniği değerinden, yeniden düzenlenen altlığa göre hazırlanan kar su eşleniği değerinin çıkarılması sonucu elde edilen fark haritasıdır.

Fiziksel kar kalınlığı haritasındaki gibi burada da benzer bir durum söz konusudur. Şehir örtüsünün arttığı noktalarda, kar su eşleniği değerinde bir azalma gözlemlenmiştir. Kar su eşleniği değerleri, sıcaklık değerleri ile birlikte değerlendirildiğinde, sıcaklığın düştüğü noktalarda kar su eşleniği değerinin arttığı, sıcaklığın yükseldiği noktalarda ise kar su eşleniği değerinin azaldığı sonucuna

varılmıştır. Buna ek olarak, fiziksel kar kalınlığı haritasında da olduğu gibi, kar su eşleniği fark haritasındaki en büyük farklılığın Asya yakası kuzey kesimde görüldüğü dikkat çekmektedir. Bunun sebebi, 1990 yılına göre yeniden düzenlenen altlık ile 2012 yılına ait altlık arasında en büyük şehir örtüsü farkının Asya kuzey kesimde görülmesidir. Şehirleşme, fiziksel kar kalınlığı ve kar su eşleniği değerini olumsuz yönde etkilemektedir.



Şekil 3.49 : 02.02.2012 00 UTC kar su eşleniği fark haritası.



4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışmanın amacı, İstanbul'daki şehirleşmenin kar yağışına olan etkilerinin incelenmesidir. Bu etkileri gözlemek adına, farklı yıllara ait üç aşırı kar yağışı hadisesi seçilmiştir. Bunlar, 18-26 Ocak 2000, 22-24 Ocak 2004, 26 Ocak-2 Şubat 2012 tarihleridir.

Seçilen tarihlerin her biri, mezo ölçek atmosfer modeli olan WRF modeli ile simüle edilmiştir. WRF modelinde kullanılacak veri olarak ERA5 verileri seçilmiştir. Buna ek olarak WRF modeli simüle edilirken kullanılacak altlık olarak da 1990-2000-2006-2012 yıllarına ait CORINE verileri tercih edilmiştir. Şehirleşmenin etkilerini gözlemleyebilmek adına, hadise yılı için kullanılan altlık, şehirleşmenin en az olduğu 1990 yılına ait altlığa göre yeniden düzenlenmiştir. Bu bağlamda, hadise yılı şehir olup, 1990 yılında şehir olmayan gridler için 1990 yılındaki durumu kabul edilmiş, her iki yılda da şehir kalan gridler şehir olarak bırakılmıştır. Daha sonra her iki altlık kullanılarak iki ayrı simülasyon yapılmış, sonuçları gözlem verileri ile birlikte karşılaştırılmıştır.

Seçilen ilk hadise olan 18-26 Ocak 2000 yılı gözlem verileri incelendiğinde, kar yağışının 18 Ocak tarihinde, Türkiye'nin kuzeyinde olan soğuk cephe etkisi ile birlikte, aralıklı olarak başlayarak 20 Ocak tarihine kadar devam ettiği görülmüştür. Soğuk cephenin, oklüzyon cepheye dönüşerek İstanbul üzerine gelmesi ile birlikte, 24 Ocak tarihinde kar yağışı şiddetlenerek etkisini artırmış, 26 Ocak güne kadar devam etmiştir.

22-24 Ocak 2004 tarihinde meydana gelen kar yağışının bu derece şiddetli olmasının sebebi İstanbul üzerinde meydana gelen soğuk oklüzyondur. 21 Ocak 2004 tarihinde Türkiye'ye kuzeybatı yönünden giriş yapan soğuk cephe, Türkiye'nin güneyin nem kazanarak gelen sıcak cephe ile birlikte, 22 Ocak 2004 tarihinde birleşmiş, soğuk oklüzyona dönüşmüştür.

22 Ocaktan 24 Ocak'a kadar etkisini sürdüren yağış, bir çok can kaybına, binaların hasar görmesine, 120 km/sa'e ulaşan rüzgar ile birlikte köprünün halatının kopmasına,

trafiğin felç olmasına ve okulların tatil olmasına sebep olmuştur. Hadisenin bu kadar etkili olmasının bir diğer sebebi de deniz etkisidir. Akdeniz üzerinden gelen nem taşımını ile yüksek dinamik kararsızlık ve konvektif hareketler ile kar yağışı şiddetini arttırmış, etkisi aralıksız devam etmiştir.

26 Ocak 2 Şubat tarihleri arasında yaşanan bir diğer kar yağışı hadisesi, İstanbul üzerindeki alçak basınç sistemi etkisi altında meydana gelmiştir. Türkiye'nin güneydoğusunda yer alan yüksek basınç sisteminin, İstanbul üzerindeki alçak basınç sisteminin ilerlemesine engel olmuş, sistem günlerce İstanbul üzerinde kalmıştır. 26 Ocak itibari ile sulu kar şeklinde başlayan kar yağışı, 27 Ocak tarihinde sıcaklıkların da düşmesi ile kar yağışına dönmüştür. Kuvvetli rüzgâr ile kuvvetlenerek Türkiye'nin genelini etkisi altında bırakmıştır. Özellikle 31 Ocak tarihinde maksimuma ulaşan kar yağışı, etkisini 2 Şubat tarihine kadar sürdürmüştür.

Bu araştırmada Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden alınan saatlik sıcaklık verileri ile WRF modelden elde edilen sıcaklık verileri karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda, model ve gözlem verilerinin maksimum mutlak farkı 2°C civarında olup birkaç derecelik farklılıklar haricinde tutarlı sonuçlar gösterdiği görülmüştür. Bu durum, modelde kullanılan parameterizasyonların doğru seçildiğini göstermektedir.

İstanbul'daki şehirleşmenin kar yağışına etkisi başlıklı tezimin analizleri yapılırken, öncelikli olarak WRF modeli kullanılarak, şehirleşmenin olduğu ve şehir örtüsünün azaltıldığı her iki altlık için oluşturulan sinoptik haritalar incelenmiştir. İncelemeler sonucunda, sinoptik haritalarda gözle görülebilir bir farklılık olmadığı sonucuna varılmıştır. Buna ek olarak, her iki altlık kullanılarak Skew-T diyagramları çizdirilmiştir. Skew-T diyagramlarında da, sinoptik haritalar da olduğu gibi çok büyük farklılıklar görülmemiştir. Genel olarak benzer grafikler elde edilmiştir.

İstanbul'daki şehirleşmenin kar yağışına etkisi başlıklı tezimin analizleri sonucunda, şehir örtüsü olan yerlerin, şehirleşmemiş yerlere ait yüzey sıcaklıklarına göre birkaç °C derece daha fazla sıcaklık değerine sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Bu sıcaklık farkının, şehir örtüsünün oluşturduğu ısı ada etkisinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Sıcaklığın daha yüksek olması, kar su eşleniği değerinin, fiziksel kar kalınlığının ve karla kapla alanın daha düşük olmasına sebebiyet vermiştir. Bu durumda, sıcaklıkların düşük olması durumunda, kar yağışlarında artış olması beklenmektedir. Yapılan simülasyonlar da bu bağlamda tutarlı sonuçlar vermiştir.

Sonuç olarak, şehirleşmenin kar yağışını olumsuz yönde etkilediği kanısın varılmıştır fakat; onun toplam yağışa etkisinin daha detaylı incelenmesi gerekir. İleriki çalışmalarda, İstanbul ilinde meydana gelen deniz etkili kar yağışlarında oluşan konvektif ve stratiform tipi bulutların, kar yağışına olan etkilerinin incelenmesi hedeflenmektedir. Ayrıca modelin toplam yağışa çıktısı ve düşey profil farklılıkları da incelenerek çalışmanın kapsamının genişletilmesi öngörülmektedir.





KAYNAKLAR

- Acar Deniz, Z, Gönençgil, B.** (2017). Türkiye Sıcaklık Ekstremlerindeki Değişkenlikler. *Coğrafya Dergisi*, **35**, 41-54.
- Andretta, T. A.** (2018). Investigation of WRF Microphysics Schemes and Dynamics During an Extreme Precipitation Event in East Idaho. *The Open Atmospheric Science Journal*, **12**(1), 58–79. doi: 10.2174/1874282301812010058
- Aykır, D.** (2017). Türkiye’de ekstrem sıcaklık indislerinin eğilimlerinde şehirleşmenin etkisi. *Türk Coğrafya Dergisi* **69** .
- Bocchieri, J. R.** (1980). The Objective Use of Upper Air Soundings to Specify Precipitation Type. *Monthly Weather Review*, **108**(5), 596–603. doi: 10.1175/1520-0493(1980)108<0596:tououa>2.0.co;2
- Bourgouin, P.**, (2000): A method to determine precipitation type. *Wea. Forecasting*, **15**, 583–592.
- Chandler, T.J.** (1965) *The Climate of London*, Hutchinson, 292 s. Londra.
- Cheng, W. Y. Y., and W. J. Steenburgh**, 2007: Evaluation of sur-face forecasts by the WRF and Eta Models over the western United States. *Wea. Forecasting*, **20**, 812–821
- Czys, R. R., Scott, R. W., Tang, K. C., Przybylinski, R. W., & Sabones, M. E.** (1996). A Physically Based, Nondimensional Parameter for Discriminating between Locations of Freezing Rain and Ice Pellets. *Weather and Forecasting*, **11**(4), 591–598. doi: 10.1175/1520-0434(1996)011<0591:apbnpf>2.0.co;2
- Çiçek, İ.** (2004). Ankara'da Şehirleşmenin Yağış Üzerine Etkisi. *Fırat Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*.
- Çiçek, İ., Doğan U.** (2005). “Ankara’da Şehir Isı Adasının İncelenmesi.” *Coğrafi Bilimler Dergisi*, **3** (1): 57-72.
- Deniz, Z., A., Uslan, E.** (2018). Ekstrem Soğuk Hava Dalgası: Ocak 2017, *Gaziantep University Journal of Social Sciences*, **17** (3), 761-773, yayın tarihi: 26-01-2018, kabul tarihi: 09-07-2018.
- EPA**, (2012). CORINE Land Cover 2012 update, Final Report, Environment Protection Agency (Ireland).
- EPA**, (2019). CORINE Land Cover 2018 update, Final Report, Environment Protection Agency (Ireland).
- The Agency. European Environment Agency:** (1994). Putting information to workKopenhag.

- Ezber, Y., Sen, O. L., Kindap, T., & Karaca, M.** (2007). Climatic effects of urbanization in istanbul: a statistical and modeling analysis. *International Journal of Climatology*, **27**(5), 667–679. doi: 10.1002/joc.1420
- Gevorgyan, A.** (2018). A Case Study of Low-Level Jets in Yerevan Simulated by the WRF Model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **123**(1), 300–314. doi: 10.1002/2017jd027629
- Guillory, A.** (2019). ERA5. Retrieved from, <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/reanalysis-datasets/era5>.
- Günel, N.** (2013). Türkiye’de Kar Yağışı, Karın Yerde Kalma Süresi ve Daimi Kar Sınırı. *Acta Turcica*, **5**(1).
- İstanbul İl Kültür ve Turizm Müdürlüğü.** (n.d.). Coğrafya. Retrieved from <https://istanbul.ktb.gov.tr/TR-165068/cografya.html>
- İstanbul Valiliği Bilgi İşlem Şube Müdürlüğü.** (n.d.). Nüfus Bakımından Türkiye'nin En Büyük Kenti: İstanbul. Retrieved from <http://www.istanbul.gov.tr/nufus-bakimindan-turkiyenin-en-buyuk-kenti-istanbul>
- Kadıoğlu M,** (1997). Şehirleşmenin Marmara Bölgesindeki Yağışlara Etkisi. Su ve Çevre Sempozyumu’97, 2-5 Haziran 1997, İstanbul.
- Keçeci, Ş.** (2018). Türkiye’de Metropolen Kentlerin Nüfus Gelişimi. *International Journal of Social Humanities Sciences Research (JSHSR)*, **27**, 2963-2973. doi:10.26450/jshsr.678
- Koolwine, T.,** 1975: Freezing rain. M.Sc. thesis, University of Toronto, 92 pp.
- Kum, G., & Kılıç, S.** (2013). Şehirleşmenin Sıcaklık Ve Yağış Parametreleri Üzerine Etkisi: Gaziantep Örneği.
- Landsberg, H. E.** (1981). *The Urban climate*. New York: Academic Press.
- Tayanç M, ve Toros H,** (1997) Urbanization effects on regional climate change in the case of four large cities of Turkey: *Clim. Changes*, vol. **35**, no. 4, pp. 501-524, Apr 1997.
- Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM)** (2019) Meteoroloji Genel Müdürlüğü.
- Moradi, M. G., & Tamer, N. G.** (2017). Bursa Örneğinde Kentsel Büyümenin Yerel İklim Değişikliği Üzerine Etkisi. doi: doi: 10.14744/planlama.2017.38039
- National Center for Atmospheric Research.** (n.d.). Retrieved from <https://ncar.ucar.edu/>.
- Peace, R. L., & Sykes, R. B.** (1966). Mesoscale Study Of A Lake Effect Snow Storm. *Monthly Weather Review*, **94**(8), 495–507. doi: 10.1175/1520-0493(1966)094<0495:msoale>2.3.co;2
- Sensoy, S., Demircan, M., Ulupinar, U., Balta, I.,** (2008). Climate of Turkey. <http://www.mgm.gov.tr/files/en-US/climateofturkey.pdf>.
- Sertel, E., Ormeci, C., & Robock, A.** (2011). Modelling land cover change impact on the summer climate of the Marmara Region, Turkey. *International*

- T.C. Başbakanlık, Türkiye İstatistik Kurumu. İstatistik göstergeler = Statistical indicators** (n.d.). Ankara.
- Thompson, G., Field, P. R., Rasmussen, R. M., & Hall, W. D.** (2008). Explicit Forecasts of Winter Precipitation Using an Improved Bulk Microphysics Scheme. Part II: Implementation of a New Snow Parameterization. *Monthly Weather Review*, **136**(12), 5095–5115. doi: 10.1175/2008mwr2387.1
- Türkoğlu, N., & Çalışkan, O.** (2011). Nevşehir ve Ürgüp'te Şehirleşmenin Biyoklimatik Koşullar Üzerine Etkisi. *Ankara Üniversitesi Dil Ve Tarih-Coğrafya Fakültesi Dergisi*.
- Url-1** < <https://climate.copernicus.eu/climate-reanalysis>.>, erişim tarihi 05.06.2019.
- Url-2** < https://dtcenter.org/wrf-nmm/user/docs/user_guide/V3/old/users_guide_nmm_chap5.pdf.>, erişim tarihi 17.08.2019.
- Wagner, A. J.**, (1957): Mean temperature from 1000-500 mb as a predictor of precipitation type. *J. Appl. Meteor.*, **10**, 584-590.
- World Meteorological Organization. WMO, WMO** (2019). Geneva, Retrieved from <https://public.wmo.int/en>.
- Yalçın, G., Demircan, M., Ulupınar, Y., Bulut, E.**. *Klimatoloji - 1. Çevre ve Orman Bakanlığı Devlet Meteoroloji İşleri Genel Müdürlüğü Ankara, Mart – 2005, DMİ Yayınları, Yayın no : 2005 / 1, 2005.*
- Yu, E.** (2012). High-resolution seasonal snowfall simulation over Northeast China. *Chinese Science Bulletin*, **58**(12), 1412–1419. doi: 10.1007/s11434-012-5561-9
- Yuksel, U. D., Yilmaz, O.** (2008): A study on determining and evaluating summertime urban heat Islands in Ankara at regional and local scale utilizing remote sensing and meteorological data. – *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi*
- Zhang, Y. and Carmichael, G. R** (1999): The role of mineral aerosol in tropospheric chemistry in east Asia – a model study, *J. Appl. Meteorol.*, **38**, 353–366, 1999.



ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Simla İŞLER
Doğum Tarihi ve Yeri : 25/05/1992-İSTANBUL
E-posta : simlaisler@gmail.com

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2016, İstanbul Teknik Üniversitesi, Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi, Meteoroloji Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2019, İstanbul Teknik Üniversitesi, İklim ve Deniz Bilimleri Ana Bilim Dalı, Yer Sistem Bilimleri Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2019 yılında Türk Hava Kurumu Üniversitesinde Araştırma Görevlisi olarak başladığı görevine devam etmektedir
- - Türk Mühendis ve Mimar Odaları Birliği Gemi Mühendisleri Odası “Çocuk ve Gemi” Resim Yarışması “MANSİYON ÖDÜLÜ” (26 Haziran 1999)
- - T.C. Kültür Bakanlığı Anıtlar ve Müzeler Genel Müdürlüğü Topkapı Sarayı Müzesi “Masallar ve Saraylar” Kültür ve Sanat Şenliği Katılım Belgesi (21 Mayıs-24 Haziran 2002)
- - V.K.V. Koç Özel İlköğretim Okulu ve Lisesi Bilim Şenliği Katılım Belgesi (2008)
- - Tubitak Ortaöğretim Öğrencileri Arası Araştırma Projeleri Bölge Yarışması Kimya Dalında “BİRİNCİLİK” (2009)
- - “European Mobility of Youngsters towards Green Dream-EMYGREEN” Projesi Katılım Sertifikası (Kasım-Aralık 2012/İtalya-Sicilya)
- - Saint-Michel Fransız Lisesi V. Bilim Şenliği Katılım Sertifikası
- - XXXVII IAHS World Congress in İstanbul (16-19 Nisan 2012) Katılım Sertifikası.

DİĞER YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

Durmuş O., İşler S. (2019). Küresel Yağış Ölçüm (GPM) Programı ve Uygulamaları, IV. Uzaktan Algılama Meteorolojisi Sempozyumu-11-15 Kasım 2019 Antalya, Türkiye.

İşler S., Durmuş O., Ezber Y., Toker., Emir., Şen Ö.L.(2019). 22-24 Ocak 2004 Tarihleri Arasında İstanbul'da Meydana Gelen Aşırı Kar Yağışı Hadisesinin WRF Modeli Ve Uzaktan Algılama Ölçümleri İle Analizi, IV. Uzaktan Algılama Meteorolojisi Sempozyumu-11-15 Kasım 2019 Antalya, Türkiye.

İşler S., Oğuz E., Durmuş O. (2016). Antalya Kemer İlçesi için Sentetik Yöntemlerle Taşkın Analizi. 4. Ulusal Taşkın Sempozyumu, 23-25 Kasım 2016 Rize, Türkiye.

