

**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL VE KIRSAL ALANLARDA ŞEHİRLEŞMENİN ETKİSİNİN, İKLİM  
MODELİ COSMO-CLM ve TERRA-URB KULLANILARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Huriye Perim TEMİZÖZ**

**Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Atmosfer Bilimleri Programı**

**HAZİRAN 2019**



**İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KENTSEL VE KIRSAL ALANLARDA ŞEHİRLEŞMENİN ETKİSİNİN, İKLİM  
MODELİ COSMO-CLM ve TERRA-URB KULLANILARAK İNCELENMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Huriye Perim TEMİZÖZ  
(511161011)**

**Meteoroloji Mühendisliği Anabilim Dalı**

**Atmosfer Bilimleri Programı**

**Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yurdanur S. ÜNAL**

**HAZİRAN 2019**



İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 511161011 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Huriye Perim TEMİZÖZ, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “KENTSEL VE KIRSAL ALANLARDA ŞEHİRLEŞMENİN ETKİSİNİN, İKLİM MODELİ COSMO-CLM ve TERRA-URB KULLANILARAK İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

**Tez Danışmanı :** **Prof. Dr. Yurdanur S. ÜNAL** .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Jüri Üyeleri :** **Doç. Dr. Barış ÖNOL** .....

İstanbul Teknik Üniversitesi

**Prof. Dr. Zafer ASLAN** .....

İstanbul Aydın Üniversitesi

**Teslim Tarihi** : **3 Mayıs 2019**  
**Savunma Tarihi** : **13 Haziran 2019**





*Aileme,*



## ÖNSÖZ

Bu çalışma, İstanbul Teknik Üniversitesi Meteoroloji Mühendisliği Bölümü Atmosfer Bilimleri Programında yüksek lisans bitirme tezidir. Bu çalışmanın amacı, Bölgesel İklim Modeli olan COSMO-CLM'in ve COSMO-TERRA'nın kent ısı adası üzerindeki hassasiyetinin İstanbul üzerinde araştırılmasıdır. Danışmanım Prof. Dr. Yurdanur S. ÜNAL'a bu süre boyunca rehberlik ettiği için minnettarım. Tüm sorularımı yanıtlayarak yardımcı olan meslektaşlarım Aslı İLHAN, Cemre YÜRÜK ve Fulden BATİBENİZ'e çok teşekkür ederim. Ayrıca, aileme ve diğer arkadaşlarıma cesaretlendirdikleri ve her zaman yanımda oldukları için teşekkür ediyorum.

Haziran 2019

Huriye Perim TEMİZÖZ  
(Meteoroloji Mühendisi)



# İÇİNDEKİLER

## Sayfa

ÖNSÖZ.....	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
KISALTMALAR.....	xi
SEMBOLLER.....	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY.....	xxi
<b>1. GİRİŞ.....</b>	<b>1</b>
<b>2. YÖNTEM.....</b>	<b>11</b>
2.1 COSMO-TERRA ve COSMO-CLM Modelleri.....	11
2.2 Yarı-Ampirik Kentsel Kanopi Parametreleri ve Fiziksel Açıklamaları.....	13
2.2.1 Yer ısı taşınımı.....	14
2.2.2 Yüzey radyasyonu.....	16
2.2.3 Yüzey tabaka türbülans taşınımı.....	17
2.3 İstanbul'un Konumu ve İklimi.....	18
2.4 Simülasyon Tasarımı.....	23
2.5 Kullanılan Veriler.....	26
2.5.1 ERA-Interim.....	26
2.5.2 MSWEP.....	27
2.5.3 MODIS / Terra.....	27
2.5.4 Gözlem Verileri.....	27
<b>3. ANALİZLER.....</b>	<b>31</b>
3.1 COSMO-CLM ve COSMO-TERRA Alansal Dağılımları.....	31
3.2 COSMO-TERRA ve COSMO-CLM Simülasyonlarındaki Alansal Farklar.....	33
3.3 COSMO-TERRA ve COSMO-CLM Model Sonuçlarının Gözlem Verileri İle Karşılaştırılması.....	34
3.4 COSMO-CLM ve COSMO-TERRA Sonuçlarının Kırsal ve Şehir Alanlarındaki Günlük Döngü karşılaştırmaları ve Şehir Isı Adası.....	37
3.4.1 Sıcaklık.....	37
3.4.2 Bulutluluk.....	39
3.4.3 Yağış.....	40
<b>4. SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....</b>	<b>45</b>
<b>KAYNAKLAR.....</b>	<b>47</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ.....</b>	<b>51</b>



## **KISALTMALAR**

<b>AKOM</b>	: Afet Koordinasyon Merkezi
<b>CCLM</b>	: COSMO-CLM
<b>COSMO</b>	: Consortium for Small-Scale Modelling
<b>IPCC</b>	: Intergovernmental Panel on Climate Change
<b>LM</b>	: Land Model
<b>MGM</b>	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
<b>RegCM</b>	: Regional Climate Model
<b>SURY</b>	: Semi-empirical Urban Canopy
<b>ŞIA</b>	: Şehir Isı Adası
<b>UBL</b>	: Urban Boundary Layer
<b>UCL</b>	: Urban Canopy Layer
<b>WebPEP</b>	: Web Interface for Pre-processing External Data Parameters
<b>WRF</b>	: Weather Research and Forecasting
<b>YAI</b>	: Yüzey Alan İndeksi



## SEMBOLLER

$^{\circ}\text{C}$	: Santigrat Derece
<b>m</b>	: Metre
<b>mm</b>	: Milimetre
<b>%</b>	: Yüzde
<b><math>Q_H</math></b>	: Gizli Isı
<b><math>Q_E</math></b>	: Hissedilir Isı
<b><math>Q_C</math></b>	: Isı
<b><math>Q^*</math></b>	: Güneş Net Radyasyon Akı Yoğunluğu



## ÇİZELGE LİSTESİ

	<u>Sayfa</u>
<b>Çizelge 2.1:</b> Bütün model simülasyonlarındaki konfigürasyonlar.....	<b>23</b>
<b>Çizelge 2.2:</b> Çalışma alanı içerisindeki mevcut gözlem istasyonlarının sıcaklık ve yağış için koordinatları ve rakımı.....	<b>29</b>





## ŞEKİL LİSTESİ

### Sayfa

<b>Şekil 2.1:</b> Modellerin atmosfer-yüzey etkileşim akışı (Wouters vd, 2017).....	12
<b>Şekil 2.2:</b> İstanbul için 1960-2012 yılları arasında a) Aylık sıcaklık ortalaması, b) Aylık toplam yağış ve c) Aylık ortalama bağıl nem. ....	20
<b>Şekil 2.3:</b> AKOM 2007-2012 ve 2012-2015 mevsimlik ortalama sıcaklıklar.....	21
<b>Şekil 2.4:</b> MODIS 2008-2009 gece ve gündüz sıcaklıkları.....	22
<b>Şekil 2.5:</b> Çalışma alanına ait topoğrafya (m) .....	24
<b>Şekil 2.6:</b> COSMO modelleri arazi kullanım oranları a ) yaprak döken, b) iğne yapraklılar, c) şehir, d) göl.....	25
<b>Şekil 2.7:</b> İstanbul'daki meteoroloji istasyonlarının konumları.....	28
<b>Şekil 3.1:</b> COSMO-TERRA ve COSMO-CLM 2008-2009 alansal yağış. ....	31
<b>Şekil 3.2:</b> COSMO-TERRA ve COSMO-CLM 2008-2009 alansal sıcaklık ortalamaları. ....	32
<b>Şekil 3.3:</b> COSMO-TERRA ve COSMO-CLM 2008-2009 alansal nem ortalamaları. ....	32
<b>Şekil 3.4:</b> COSMO-TERRA ve COSMO-CLM 2008-2009 alansal bulutluluk ortalamaları. ....	33
<b>Şekil 3.5:</b> COSMO-TERRA ve COSMO-CLM 2008-2009 a) sıcaklık, b)bulutluluk, c)nem, d)yağış ortalamalarının alansal farkları. ....	34
<b>Şekil 3.6:</b> a) COSMO-TERRA ve b) COSMO-CLM sıcaklık sonuçlarının MGM sıcaklık verilerine göre yanlılıkları .....	35
<b>Şekil 3.7:</b> a) COSMO-TERRA ve b) COSMO-CLM yağış sonuçlarının MGM yağış verilerine göre istasyonların bulunduğu noktadaki yanlılıkları. ....	36
<b>Şekil 3.8:</b> COSMO-TERRA ve COSMO-CLM günlük ŞIA.....	38
<b>Şekil 3.9:</b> COSMO-TERRA ve COSMO-CLM kırsal ve kentsel alanlardaki günlük ortalama bulutluluk farkları.....	40
<b>Şekil 3.10:</b> COSMO-TERRA ve COSMO-CLM kırsal ve kentsel alanlardaki günlük ortalama yağış farkları.....	41



# KENTSEL VE KIRSAL ALANLARDA ŞEHİRLEŞMENİN ETKİSİNİN, İKLİM MODELİ COSMO-CLM ve TERRA-URB KULLANILARAK İNCELENMESİ

## ÖZET

Artan dünya nüfusunun %55'i, sosyal ve ekonomik kaynakların şehirlerde fazla olmasından dolayı şehir alanlarında yaşamayı tercih etmektedir. Bu oranın 2050 yılında %68'e kadar çıkması beklenmektedir (ABD Ekonomik ve Sosyal İşler Birimi). Kent alanlarındaki nüfusun ölçsüz artışı ile beraber birçok doğal alan deforme olmaktadır. İnsan kaynaklı bu deformasyon küresel ve lokal olarak atmosfer koşullarını önemli ölçüde etkilemeyi sürdürmekte ve bu durum giderek önem kazanmaktadır. İklim modelleri kullanılarak küresel ve lokal olarak değişen atmosfer koşullarının analiz edilmesi, gerekli önlemlerin alınması ve bu etkilerin azaltılmasına yönelik stratejilerin oluşturulması konusundaki hassasiyet giderek artmaktadır.

Şehir alanları üzerinde artan nüfus karasal alanların kullanımında önemli antropojenik değişimler oluşturmuştur. Yüze ve atmosfer arasındaki etkileşim de bu aşamada farklılaşmış ve lokal iklim koşullarında değişim potansiyeli oluşmuştur. Ormansızlaştırma, doğal göl ve park alanlarının yerini farklı yüze yapılarına ait binaların alması, endüstrileşmenin getirdiği çevre kirliliği, motorlu araçlardan yayılan kirleticiler şehir alanlarında başlıca yüze atmosfer ilişkisini değiştiren durumlardır.

Kentsel iklimlerin kırsal alanlardan farklı olduğu ve bu farkın büyüklüklerinin hava koşullarına, kentsel termo-fiziksel, geometrik özelliklere ve bölgede bulunan antropojenik nem ve ısı kaynaklarına bağlı olarak zaman zaman artıp azaldığı bilinmektedir. Luke Howard, bir şehirde hava sıcaklıklarının genellikle çevresindeki kırsal alanlara göre daha yüksek olduğunu kanıtlayan ilk kişidir (Howard, 1833). Luke Howard'ın ortaya koyduğu bu durum şehir ısı adası olarak tanımlanmıştır.

Bu çalışmada İstanbul üzerindeki kentsel ve kırsal alanlardaki atmosferik koşullarda şehirleşmenin etkisini daha detaylı simüle edebilen bölgesel iklim modeli COSMO-CLM TERRA-URB kullanarak farklı parametreler üzerindeki etkiler ve şehir ısı adası oluşumu incelenmiştir. COSMO-CLM (Küçük Ölçekli Sınırlı Alan İklim Modeli) sınırlı alan iklim modeli yaklaşık 3 km çözünürlükle merkezi İstanbul olan 165x143 grid içeren bir alan için oluşturulmuştur. Başlangıç ve yanıl sınır değerleri ERA-Interim re-analiz verilerinden sağlanmıştır. MGM'nin yıllık yağış verilerinin sonuçlarına göre 2008 kuru yılı ve 2009 ıslak yılı bu çalışmanın yapılacağı tarihler olarak belirlenmiştir. Yıllık toplam yağış ortalaması 2008 yılında 504 mm, 2009 yılında ise 815 mm'dir. COSMO-CLM TERRA-URB şemasının şehir iklimine ve parametrelere olan hassasiyetinin yanı sıra COSMO-CLM modelinin hassasiyetini de analiz etmek amacıyla bu iki model kullanmıştır. 2008-2009 yıllarının ortalamalarının alınarak alansal dağılımlar oluşturulduğunda, İstanbul Avrupa yakasının kuzey kıyılarında COSMO-CLM'in daha ıslak olduğu ortaya çıkmıştır. 2008-2009 yılları sıcaklık ortalamalarına göre, İstanbul'un güneyinde iç kesimlerde şehirleşmenin etkisi ortaya çıkmaktadır. Her iki modele göre, İstanbul'un güney iç

kesimleri çevresine göre 1°C daha sıcaktır. COSMO-TERRA İstanbul'un kuzeyinde ortalama bulutluluk oranı COSMO-CLM'e göre daha fazladır.

COSMO-CLM ve COSMO-TERRA model sonuçları MGM gözlem verileri ile de alansal olarak karşılaştırılmıştır, sıcaklık ve yağış parametrelerinin yanlılık durumu incelenmiştir. COSMO-CLM yanlılık değeri çalışma alanımız içerisinde -1°C civarındadır. COSMO-TERRA çalışma alanı içerisinde hem negatif hem pozitif yanlılıklar oluşturmaktadır.



# **INVESTIGATION URBANIZATION EFFECTS OF URBAN AND RURAL AREAS OVER ISTANBUL WITH COSMO-CLM AND TERRA-URB CLIMATE MODELS**

## **SUMMARY**

Growing world population prefers to live in urban areas due to social and economic resources in cities. This rate is expected to rise to 68% in 2050 (US Department of Economic and Social Affairs). Many natural areas are deformed together with an immeasurable increase in urban areas. This man-made deformation continues to affect the atmospheric conditions globally and locally, and this is becoming increasingly most important. Using climate models, there is a growing tendency to analyze globally and locally changing atmospheric conditions, to take necessary measures and to develop strategies to reduce these impacts.

As the population increases, the density of the building also increases, resulting in a differentiation of surface energy balance and micro-climatic characteristics at the local scale. The interaction between the surface and the atmosphere is differentiated at this stage and the potential for a change in local climate conditions has occurred. Deforestation is the replacement of natural lakes and parking lots by buildings of different surface structures, environmental pollution caused by industrialization, pollutants from motor vehicles change the main surface atmosphere relationship in urban areas. The local climate of an urban region can be greatly influenced by landscape factors, as well as by geometric properties, anthropogenic activities and heat sources in the region. Urban geometry and thermal properties of urban surfaces are also important parameters in strengthening urban climate. Local urban features consist of buildings, roads, trees and grasses; The land cover features represent a variety of buildings and vegetation areas. Sun (2011) found that air temperature was significantly correlated with green ratio and building rate at night in Taiwan. Yan et al. (2009), increasing the percentage of vegetation, can reduce the air temperature significantly, the increase in the construction area according to the measurements made in Beijing reported that the air temperature significantly increased. So, Luke Howard first used urban heat island term in 1980. The urban heat island is one of the metropolitan areas that are considerably warmer than the surrounding rural areas due to human activities.

It is known that urban climates are different from rural areas, and the magnitude of this difference increases and decreases from time to time depending on weather conditions, urban thermo-physical, geometric characteristics, anthropogenic moisture and heat sources in the region. Oke (1987) and Rajagopalan et al. (2014) indicated that maximum UHI intensity occurred after the sunset hours as human-induced heat transfer from buildings, roads and walls influences the city's atmosphere. Daytime or nighttime UHI can be seen throughout the year. Explicitly, temperature differences between urban and rural areas is higher during clear, calm nights. This is because solar radiation stored in buildings, roads and other different man-made structures in urban environment during day and then radiation re-emitted during night. Besides,

stable atmospheric condition and inversion can be observed many times because of UHI conditions.

In this study, we analyze urbanization effects of urban and rural areas over Istanbul with COSMO-CLM and COSMO TERRA-URB. Non-hydrostatic COSMO (Consortium for Small-scale Modeling) model developed by CLM Community (LM) using the Local Model of the German Meteorological Service. It is used in numerical weather forecasting and meso- $\beta$  and meso- $\gamma$  research applications. Basic thermo-hydrodynamic equations that define the compressible flow in the humid atmosphere without using any scale approach adopted to the COSMO model. Rotated geographic coordinates are basis of the model equations. Some physical processes in the atmosphere are accounted by the parameterization scheme. Restricted area models, such as REMO (Jacob and Podzun, 1997) or RegCM (Giorgi et al., 1993), can reduce grid intervals by up to 10 km (at hydrostatic scales of motion). Therefore, they are insufficient for spatial resolution that can capture small-scale severe weather events. Non-hydrostatic models are quite sensitive and successful in expressing deep convection and large vertical moving mountain waves with a scale of less than 10 km. The COSMO-CLM model was used because urban climate simulation results in less than 10 km resolution are more accurate.

The aim of this thesis is to examine the urban climate sensitivity of the models in the areas with different surface structures with different atmospheric parameters on Istanbul. In this study, the limited area climate model of COSMO-CLM (Scale Modeling - Climate Modeling - Area Modeling) and COSMO TERRA-URB model were run with a resolution of  $0.0275^\circ$  (2.8 km). Since the non-hydrostatic COSMO-CLM model and COSMO TERRA-URB run on a limited area, the initial and lateral boundary conditions were generated from ERA-Interim re-analysis data. The ERA-Interim reanalysis data were driven by climate mode of COSMO (COSMO-CLM) and COSMO TERRA-URB with  $0.0275^\circ$  ( $\sim 8$  km) spatial resolution over  $165 \times 143$  grid points domain during the period between August 1st, 2007 and December 31st, 2009. The first five months of model runs were assumed as a spin-up time of the models. According to the results of the annual rainfall data of MGM, the 2008 dry year and the 2009 wet year were determined as the dates of this study. COSMO-TERRA scheme shows that maximum UHI effect occurred at 18:00 (GMT) during summer and COSMO-CLM occurred at 18.00 during the autumn season. The maximum amount of solar energy at noon, the city's buildings that release the incoming solar energy at night causes the density of UHI to be maximum during the summer. Therefore, it has been shown that TERRA-URB scheme is more sensitive to urban heat island effect.

The average annual rainfall was 504 mm in 2008 and 815 mm in 2009. In addition to the sensitivity of the COSMO-CLM TERRA-URB scheme to the city climate and parameters, the COSMO-CLM model was used to analyze the accuracy of these two models. When spatial distributions were formed by taking the averages of the years 2008-2009, COSMO-CLM was found to be wet in the northern coast of the European side of Istanbul. According to the average temperature of 2008-2009 years, the effect of urbanization in the inner parts of the south of Istanbul is emerging. According to both models, the southern inner parts of Istanbul are  $1^\circ\text{C}$  warmer than their surroundings. COSMO-TERRA average cloudiness rate in north of Istanbul is higher than in COSMO-CLM. COSMO-CLM and COSMO-TERRA model results were compared in terms of MGM observation data. The COSMO-CLM bias value is

around -1 °C and COSMO-TERRA creates both negative and positive bias within the study area.

This study shows that the urban heat island effect raises the city temperatures because of the materials used in the urban environment. Besides, wind from north to south is effective in İstanbul. So, precipitation gradually increases in the direction of the prevailing wind. The overall results from this study can contribute to the establishment of relevant strategies like green roofs/walls or creating ventilation corridors for the new urban plan of İstanbul. This contribution will help to reduce urban heat islands and mitigate the risks for heat wave events, which is expected to increase with global climate change.





## 1. GİRİŞ

Kentsel nüfustaki artış, dünyadaki nüfus artışından daha hızlıdır çünkü insanlar şehirlerde yaşama eğilimindedir. Kentsel alanlar dünya topraklarında küçük bir yer kaplamasına rağmen, küresel nüfusun büyük bir kısmı kentsel alanlarda toplanmaktadır (Schneider vd. 2009). Arnfield (2003) çalışmasında, 2000 yılında, dünya nüfusunun % 45'inin daha gelişmiş ülkelerdeki kentsel bölgelerde yaşadığını ve 2007 yılına gelindiğinde, eğilimler devam ederse dünya nüfusunun yarısının şehir sakinleri olacağı ve bu kentleşmenin çoğunun gelişmekte olan ülkelerde gerçekleşeceğini öngörüldüğünü belirtmiştir. Kentsel nüfusun artması ile, kaynakların eşitsiz dağılımı, yapay yüzeylerin artmasının yarattığı doğal afetler, su kaynaklarının aşırı tüketimi, kullanımı artan araçların CO2 salınımı ve artan endüstrileşmenin de sebep olduğu zararlı atıklar ekonomik ve sosyal sorunları oluşturmaktadır. Hızlı kentleşmenin sosyal ve ekonomik sorunlarının yanı sıra, kentlerin mikro iklimi de bu durumdan etkilenmektedir. Şehirdeki binaların, yolların ve diğer altyapıların bir araya geldiği yeni yüzey malzemeleri, yüzeyin morfolojisindeki değişimlerle birlikte, enerji-su değişimlerini ve hava akışını değiştirir. Böylece antropojenik ısı yayılımı, yüzey-atmosfer arasındaki etkileşimlerin farklılaşması, karbondioksit ve kirletici emisyonları farklı kentsel iklimlere neden olur (Landsberg 1981; Oke 1997). Farklı radyasyon, termal ve aerodinamik özelliklere sahip olan kentsel alanlardaki yapay yüzeyler, yüzey enerji dengesini değiştirir, bölgesel sirkülasyon ile etkileşime girer ve atmosfere antropojenik ısı ve nem vererek şehir veya büyükşehir bölgelerinin, kırsal alanlardan önemli ölçüde daha sıcak olmasına neden olur. Tam aksine, şehirdeki doğal veya yapay göller gibi açık yüzey su kütleleri, şehir ve çevre arasındaki ısı taşınımını değiştirerek yerel dolaşım yaratabilir. Buharlaşma ile soğutma, göl yüzeyleri üzerindeki ısınmayı azaltır ve daha düşük şehir sıcaklıklarına neden olur (Theeuwes vd. 2013). Sistemin ısı enerjisi, gündüz kısa dalga radyasyon değişiminin egemen olduğu yüzey net radyasyon akı yoğunluğu ( $Q^*$ ) ile ve geceleri uzun dalga radyasyonu sebebiyle değişir. Kent bölgelerindeki yüzey radyasyon enerji fazlası

altta yatan toprağa, ilk olarak ( $Q_c$ ) ısı iletimi, daha sonra (sırasıyla  $Q_H$  ve  $Q_E$ ) gizli ısının ve hissedilir ısının taşınmasıyla dağılır. Şehrin yüksek yüzey sıcaklığı, emisyon salınım değişiminden daha ağır basar ve böylece gelişmiş bir emisyon ortaya çıkar. Bu emisyonun büyük bir kısmı kirli tabaka tarafından emilir ve yüzeye iletilen gelen güneş ışınımı ile birlikte yüzeye tekrar yayılır ve ısı adası yoğunluğunu artırır (Oke, 1982). Ayrıca, şehir ısı adası enerjisinin temelleri; bitkisel bir kanopi katmanı (UCL) gibi zeminden ortalama çatı seviyesine kadar uzanan kentsel kanopi ve kentsel sınır tabakası (UBL) olarak adlandırılan kısmen altındaki kentin varlığı ile özellikleri belirlenmiş olan bir meso-skala iç sınır tabakası halinde incelemek mümkündür. Fakat, bu iki tabaka ayrı ayrı değerlendirilmemelidir çünkü kent kanopi tabakasındaki koşullar kent sınır tabakası tarafından modüle edilmiştir. Kent kanopi katmanı birçok enerji dengeleme sistemine sahiptir. Bunlardan en önemlisi nemdir çünkü gündüz radyasyon enerjisinin yerel olarak bölümlendirilmesine yardımcı olur. Gelen enerjiyi dengelemek için diğer bir unsur alan geometrisidir. Son etki ise, yüzey ve yapı malzemelerinin termal özelliklerine bağlıdır. Ayrıca, gelen güneş enerjisi ile orantılı olarak; gündüz ısı emiliminin, gece ise yayılımının daha çok olması nedeniyle, kentsel ve kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farkı, yer radyasyonunun yayılımının olduğu gece saatlerinde belirgin olarak gözlenmektedir. Ortalama olarak, şehir sıcaklıkları  $1-3^{\circ} C$  daha sıcak olabilir, ancak uygun meteorolojik koşullar altında (kışın sakin, bulutsuz geceler) hava sıcaklıkları, çevresindeki kırsal alanlara göre  $10^{\circ}C$ 'den daha sıcak olabilir (Oke 1981). Şehir ısı adasının (ŞIA) yoğunluğu, hakim meteorolojik koşullara ve bölgenin özelliklerine bağlı olarak önemli ölçüde değişmektedir. Kentsel iklimbilimciler genellikle bir kentin morfolojisini binaların yüksekliği, genişliği ve yoğunluğu açısından karakterize eder. Bu özellikler, gece uzun dalga radyasyon kaybını ve dolayısıyla soğuma oranlarını, gün boyunca güneşten gelen enerjinin erişimi ve dolayısıyla günlük ısıtma düzenini, sokak seviyesinde hava akımı ve rüzgar hızını etkiler (Grimmond, 2007).

Kentsel iklim özelliklerini belirlemek ve dünyadaki kentsel-kırsal iklim farkını azaltma stratejilerini tespit etmek için çeşitli çalışmalar yapılmıştır. Varentsov vd. (2018) şehir atmosfer etkileşiminin daha detaylı hesaplanmasını sağlayan TERRA-URB şeması kullanarak, Moskova mega-şehrinin aşağı troposferdeki meteorolojik koşullarını sıcaklık, nem, rüzgar ve yağış parametreleri açısından incelemiştir. TERRA-URB şemasının hassasiyetini araştırmak için, yüksek çözünürlükte (1 km)

COSMO-CLM modeli, TERRA-URB şeması dahil edilmeden ve daha sonra şema dahil edilerek çalıştırılmıştır. Modelin doğrulanması, Moskova'daki Balchug istasyonundan alınan gözlem verileriyle yapılmıştır. Yapay yüzeylerin yaz aylarında gündüz vakitlerinde fazla olan enerjiyi emmesi ve bu nedenle yazın geceleri daha fazla enerji açığa çıkarması nedeniyle, modelin 2007-2016 yıllarının yaz mevsimleri sonuçları değerlendirilmiştir. 0.75° çözünürlüklü ERA-Interim yeniden analiz verileri üç aşamalı dinamik küçültme ile, üç farklı etki alanı için kullanılmıştır; temel alan 1700 km x 1700 km (D1), orta alan 600 km x 600 km (D2), nihai alan 180 km x 180 km (D3). Bu çalışma simülasyonları, sıcaklık, nem ve rüzgâr üzerindeki kentsel etkilerin en az 1-2 kilometre boyunca troposfere kadar uzandığını ve gündüz ŞIA yoğunluğunun ( $\approx 0,5$  K) zayıf olduğunu ve yaklaşık 1,5 km yüksekliğe kadar etkiğini ortaya koydu. Gece ŞIA daha yoğundur ( $> 3$  K) ve zemine yakındır (düşeyde 150 m), yukarıda soğuma zeminden 200–700 m yükseklikte gerçekleşmektedir. Rüzgâr üzerindeki kentsel etkiler de düşeyden 1-2 kilometre yükseğe kadar olarak uzanmaktadır. Kent alanlarındaki rüzgar, daha yüksek yüzey pürüzlülüğü nedeniyle daha düşük bir rüzgar hızı; ve kentsel-esinti etkisi olarak bilinen yüzeye yakın rüzgâr yakınsamasının yükseltilmesi ile karakterize edilir. Sakin günlerde mevsimsel ortalamalar olarak da tanımlanan yüzeye yakın rüzgar hızında önemli bir artış olmaktadır. Kentsel kaynaklı sirkülasyonlar gece boyunca pek belirgin değildir ve tam olarak anlaşılmayan daha karmaşık mekansal yapıya sahiptir. Özellikle, yüzey üzerinde 100-150 m yükseklikte tespit edilen şehir etrafındaki siklonik vortisitenin yükseltilmesine neden olurlar. Bu çalışma, kentin rüzgar altı tarafında artan yağış ve bulutluluğun, alt troposferdeki dinamik süreçler üzerinde önemli bir etkisi olduğunu ortaya koymuştur. Her ne kadar model-gözlem karşılaştırması sıcaklık ve nem değişkenlerinin kentsel-kırsal farkları üzerinde doğru sonuçlar vermiş olsa da, özgül nemin sonuçlarının iyi simüle edilemediği sonucuna varılmıştır.

Liao vd. (2010) Çin'de kentleşmenin Yangtze Nehri Deltası'ndaki yerel iklim üzerine etkisini simüle etmek için tek bir kentsel kanopi parametreleştirme şemasıyla WRF kullanmışlardır. Son kış ve yaz mevsiminin iklim durumunu göstermek için 5 yıl (2003–2007) boyunca Ocak ve Temmuz ayları seçilmiştir. WRF modeli,  $20 \times 20$  km ve  $5 \times 5$  km iki tek yönlü yuva (120.20D, 30.20K) ile yapılandırılmıştır. Her iki yuva da  $120 \times 100$  ızgaradır. 20 km' lik yuva, WRF modelinin varsayılan Amerika

Birleşik Devleti Jeolojik Araştırma kara yüzeyi veritabanını kullanılmıştır. Dıştaki 20 km'lik alanın yanal sınır koşulları NCEP reanaliz verileri kullanılmıştır. 5 km'lik alan için kentsel alan ve kent dışı alan olan iki senaryo tasarlanmıştır. Şehir alan örtüsü mevcut kentleşme koşullarını temsil etmek üzere 2005 MODIS uydu gözlemlerinden güncellenmiştir. Kırsal alan durumunda, tüm kentsel örtü, bu bölgedeki kentsel alanı çevreleyen en yaygın arazi kullanım tipi olan sulu ekim alanlarıyla değiştirilmiştir. Şehir ve kır örneği, şehirleşmenin bu alandaki etkisini incelemek için karşılaştırılmıştır. Kırsal alanların (çoğunlukla sulanan tarlaların) şehir alanlarına dönüştürülmesinin, yüzeye yakın sıcaklık, rüzgar hızı ve yağış parametrelerinde önemli değişikliklere neden olduğu sonucuna varılmıştır. Şehir alanlarındaki ortalama yüzeye yakın sıcaklık kışın ortalama  $0.45 \pm 0.43$  ° C, yaz aylarında  $1.9 \pm 0.55$  ° C arttığı ortaya konulmuştur. Kentsel bölgelerde günlük sıcaklık aralığı kışın ortalama  $0.13 \pm 0.73$  ° C, yaz aylarında  $0.55 \pm 0.84$  ° C düşer. Bu dönüşüm, yazın kış aylarında olduğundan daha fazla yüzey radyasyon karakteristiğinin değişmesine neden olmuştur ve yüzey sıcaklığı alanı üzerindeki etki yazın, kış mevsiminde olduğundan daha güçlüdür. Yüzey rüzgar hızı üzerindeki etkinin, kışın ve yazın aynı olduğu ve şehir ısı adasının dikey hareketi güçlendirerek şehirlerde aşırı veya daha kuvvetli yağışlara neden olabildiği sonuçlarına varılmıştır.

Chen vd. (2010) bölgesel meteorolojik koşulları bina yapılarına göre simüle edebilen ve farklı şekillerde kuple edilip konfigürasyonlar ile durumu ortaya koyabilen bir model olduğu için WRF/urban modelinin kent iklimi üzerindeki hassaslığını ortaya koymuşlardır. Modelin yüzey-atmosfer ilişkisini sağlaması için Noah yüzey-atmosfer şeması (Ek vd. 2003) kullanılmıştır. Noah yüzey atmosfer modelinin temel işlevlerinden biri, kuple edilmiş atmosferik modeller için yüzeye duyarlı ve gizli ısı akışlarını içeren yüzey sıcaklığı sağlamaktır. Bu çalışmadaki esas, kentsel modellemeyi WRF, farklı kentsel kanopi modellerini Noah ile birleştirmek üzerine yoğunlaşmaktır. Bu birleşme, WRF'un gridlerinde geçirimsiz yüzeylerin oranını temsil eden kentsel yüzde (veya kentsel kesir, Furb) parametresi ile yapılır. Belirli bir WRF ızgara hücresi için, Noah modeli vejetatif alanlar için yüzey akılarını ve sıcaklıklarını (ağaçlar, parklar vb.) hesaplar ve model antropojenik yüzeyler için akıları sağlar. Kuple edilmiş WRF/urban modeli Tokyo, Pekin, Hong Konk, New York gibi metropol bölgelere uyarlanmıştır ve performanslar gözlemler, uydu verileri ile karşılaştırılmıştır. Kentsel yüzey sıcaklıkları arasında, kentsel zemin yüzey

sıcaklığı en büyük günlük genlik seviyesine sahipken, duvar yüzeyi sıcaklığının, ısı iletkenliklerinde ve ısı kapasitelerindeki farklılıkları yansıtan en küçük günlük aralıkta olduğu ortaya konulmuştur. WRF/urb modeli üst üste dört yıl boyunca Tokyo için simüle edilmiş yaz ŞIA belirsizliğini değerlendirmek için yüksek çözünürlüklü bir bölgesel iklim modeli olarak kullanılmıştır. Basit levha modeli WRF kullanıldığında, Tokyo'nun ve iç kısımlarının kuzeyindeki kentsel alanın ısı adası hassas simüle edilememiştir. Fakat, WRF/Noah kullanıldığında, güçlü bir gece ŞIA yoğunluğu gözlenmiştir.

Morini vd. (2016) artan kentsel yüzeylerin İtalya Terni şehrindeki yansıtıcılığının etkisini, WRF modeli kullanılarak simüle etmişlerdir. Çalışmanın iki amacı vardır; dikey ısı ve nem akılarını ön görmek için Terni'nin kentsel alanının dinamiklerinin temsili bir şekilde parametrelendirilmesini sağlamak ve ŞIA yoğunluğunun azaltılması için kentsel albedo etkisini artırmak. Albedo için 2 senaryo oluşturulmuştur ve bunlar tüm kent yüzeylerin albedosunun artırılması ve endüstri bölgelerinin yüzey albedolarının artırılması olarak planlanmıştır. Bir vadide bulunan Terni, coğrafi konumu nedeniyle, kentsel alanlarda sıcak hava dalgalarının da mevcut olduğu zamanlarda ısıyı tutmaktadır. Bulutsuz bir 2015 yaz mevsiminde 3 farklı simülasyon yapılmıştır. Simülasyonlar 17 Temmuz gece yarısı başlatılmıştır. 4 farklı iç içe alan oluşturulmuş ve WRF modeli çok katmanlı kent kanopi (UCM) ve bina enerji modeli (BEM) ile kuple edilmiştir. Çok katmanlı kent kanopi modeli WRF modelindeki en karmaşık kentsel modelleme olduğu ve kentsel yüzeylerin 3 boyutlu yapısını çözebildiği için seçilmiştir. Bina enerji modeli (BEM) ise ısının duvarlar, çatılar ve yerlerden yayılmasını; pencerelerden yayılan radyasyonu, iç yüzeyler arasında değiştirilen uzun dalga radyasyonunu hesaba katabildiği için kullanılmıştır. Alanların ızgara sayısı (batı-doğu / güney-kuzey)  $58 \times 46$ ,  $101 \times 76$ ,  $103 \times 103$ ,  $100 \times 70$  ve sırasıyla veri çözünürlükleri 10 dakika, 10 dakika, 2 saniye, 2 saniyedir. Sonuç olarak ŞIA durumu da karakterize edilmiştir. Kentsel sıcaklıkların kırsal sıcaklıklardan yaklaşık  $5^{\circ}\text{C}$  daha yüksek olduğu ortaya konulmuştur. Tüm kentsel bölgenin ortalama albedosu çatılar, duvarlar ve yollar için 0,2'den 0,8'e çıkarılmıştır. Albedo'nun artışının, gündüz ve gece saatlerinde şehir sıcaklığını  $2,5^{\circ}\text{C}$ 'ye kadar düşürdüğü görülmüştür. Bu çalışma albedo artışının Terni'nin kentsel bölgedeki ŞIA'yı hem gündüz hem de gece azaltabildiğini göstermiştir. Özellikle, albedo artışının endüstriyel bölgedeki etkisinin o bölgeyle sınırlı olmadığı, çevredeki

alanların sıcaklığını da etkilediği ve daha büyük bir alan üzerinde sıcaklığın azalmasına izin verdiği ortaya konulmuştur.

Kusaka vd. (2014) Tokyo'da artan kentleşme ile yağışların değişimi arasındaki ilişkiyi WRF modeli ile simüle etmişlerdir. WRF versiyon 3.0.1.1, 35 düzey seviye ve 4 km grid yapısı ile 27 Temmuz 2001 ve 1 Eylül 2008 tarihleri arasında koşturulmuştur. Tek katmanlı kent kanopi şeması ile kuple edilmiş Noah yüzey-atmosfer şeması kullanılmıştır. Kentleşmenin artması ile hissedilir ısı akısının arttığı, basınç sınır tabakası yüksekliğinin ve sınır tabaka içinde atmosferi kararsızlaştırarak yüzey alçak basıncı üreten ortalama sıcaklığın yükseldiği, deniz meltemi sirkülasyonundaki eş zamanlı değişimlerin olduğu, Tokyo'nun merkezinde ve yakın çevresinde yatay nem akısının yakınsanmasının indüklendiği sonuçlarına varılmıştır. Tüm bu sonuçlar ile kentleşme oranının artışının yağış miktarındaki artışa sebep olduğunu ortaya koymuşlardır.

Oliveros vd. (2018) Filipinler'in başkenti Metro Manila'da kentleşmenin ısı akısı, yağış ve sıcaklığa etkisini, Hava Durumu Araştırma ve Tahmin modeli WRFV3.4.1 modeli kullanılarak incelenmiştir. Model başlangıç koşulları için, 2000 yılından 2010 yılına kadar olan NCEP grib1 verisi kullanılmıştır. Manila'nın hissedilir ısı akısının, Metro Manila dışındaki seçilen alanlardan yaklaşık  $1.5 \times 10^8 \text{ Jm}^{-2}$  daha yüksek olduğu ortaya koyulmuştur. Seçilen kentsel ve kırsal alanlar için, minimum ve maksimum sıcaklık farkları (Metro Manila'ya göre) sırasıyla  $0.4^\circ\text{C}$ ,  $2.4^\circ\text{C}$  ve  $0.83^\circ\text{C}$ ,  $2.3^\circ\text{C}$  bulunmuştur. Yağış sonuçlarında ise, Metro Manila'nın şehirleşmesinin, yüzey akışını artırdığı böylece daha az buharlaşma ve buharlaşma transpirasyonu üretmesine neden olduğu sonucuna varılmıştır. Ayrıca şehirleşme, yüzey sıcaklığını ve hissedilir ısı akısını artırıp daha fazla yağış üretmiştir. Bu nedenle çoğu mevsimde, Metro Manila'daki 11 yıllık ortalama yağış seçilen tüm bölgelere göre daha büyüktür.

Kentleşme ve antropojenik ısı salınımlarının atmosferde farklı parametrelere olan etkisine dair diğer bir çalışma Feng vd. (2012) tarafından yapılmıştır. Yapılan bu çalışmada kent kanopi modeli (UCM) ve WRF modeli kuple edilmiştir. İki senaryo dikkate alınarak, kentleşme ve antropojenik ısı salınımı nedeniyle oluşan değişimler araştırılmıştır. Aralık 2006 tarihinden Aralık 2008 tarihine kadar üç deney yapılmıştır. Model alanı  $37^\circ \text{K}$ ,  $102.5^\circ \text{D}$ ,  $175 \times 151$  yatay grid noktası içeren ve 30 km'lik bir çözünürlükle merkezlenmiştir. Düşey koordinatlarda 28 seviye olmakla

beraber simülasyonlar 6 saatte bir sonuç oluşturacak şekilde konfigure edilmiştir. İlk simülasyon kontrol deneyidir ve antropojenik ısı yayılımı dahil edilmeden 24 kategoriye sahip ABD Jeolojik Etüt (USGS) verilerini kullanır. İkinci ve üçüncü deneyler, kentsel kategorinin endüstriyel/ticari, yüksek yoğunluklu konut ve düşük yoğunluklu konut kategorilerine bölündüğü 33 kategorili USGS veri setini kullanarak UCM ile birleşmiş olan WRF tarafından yapılan duyarlılık çalışmalarıdır. İlk duyarlılık deneyinde (S1), antropojenik ısı yayılımını düşünmeden üç farklı şehir tipi ele alınmıştır. İkinci deneyde (S2) ise antropojenik ısı yayılımı (AIY) S1 deneyine eklenmiştir. Sonuçlar, yaz sıcaklığının en fazla 1.448°C artışla özellikle Yangtze Nehri deltası bölgesinde kentleşmeden etkilendiğini göstermiştir; Güney Çin ikinci en yüksek etkiyi gösterir ve en düşük etki kuzeybatı Çin'dedir. Antropojenik ısı yayılımının, 1.258°C'lik bir artış ile kış aylarında Yangtze Nehri deltası bölgesinde en büyük etkiye sahip olduğu sonucuna varılmıştır. Yağışlardaki sonuçlar değerlendirildiğinde, antropojenik ısı yayılımının Pekin Tianjin-Hebei bölgesindeki yıllık yağış oranını % 6.6 oranında artırdığı, fakat Yangtze Nehri deltası bölgesinde yağış miktarını% 2.7 oranında azalttığı ortaya konulmuştur. Pekin'deki Tianjin – Hebei bölgesindeki yağışların, yaz ve sonbahar mevsimi boyunca kentleşmeden, ancak ilkbaharda AIY'dan etkilendiği görüldü. Yoğun nüfuslu Yangtze Nehri deltası ve Pekin-Tianjin-Hebei bölgeleri gibi kentsel alanlarda, kentleşmenin AIY'dan çok daha büyük bir etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır.

Huszar vd. (2014) kentsel yüzeylerin orta Avrupa üzerindeki meteorolojik koşullara bölgesel etkisini, RegCM4.2 bölgesel iklim modeline, tek katmanlı kentsel kanopi modeli kuple ederek araştırmıştır. Uzun vadeli etkileri görebilmek için (2005-2009) 5 yıllık bir simülasyon tasarlanmıştır. Tüm orta Avrupa'yı içine alan, 10 x 10 km çözünürlükte ve 158 x 118 grid noktası ile farklı performans analizleri yapılmıştır. Başlangıç ve yan sınır koşulları ERA-Interim verisi oluşturulmuştur. SLUCM konfigürasyonunda bina yapılarının iç sıcaklığı 298 K'dir. Arazi kullanım verisi Corine2006 ve GLC2000 ile sağlanmıştır. Sıcaklık açısından, en büyük etkiler, kentsel yüzeyler göz önüne alınmadan, 1,5 K daha yüksek sıcaklıklarla yaz geceleri modellenmiştir. Kışın, etki esas olarak gündüz önemlidir; bu, muhtemelen antropojenik ısı yayılımının gün boyunca daha güçlü olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca gündüz saatleri kış ve yaz mevsiminde kent alanları içerisinde rüzgar hızında azalma, kent alanı etrafında ise artma gözlenmiştir. Kış yağışlarında önemli bir

değişiklik olmamasının yanı sıra, bu çalışmanın sonuçları gece yaz yağışlarında çok küçük bir etki göstermektedir. Ayrıca, yaz aylarında gündüz istatistiksel olarak %20 hatta %50 'ye varabilen anlamlı bir yağış düşüşü modellenmiştir ve bu düşüşün çoğunlukla konvektif yağışlardan kaynaklandığı açıklanmıştır. Ayrıca orta Avrupa'da 2005-2009 yıllarını içeren simülasyon sonuçlarına göre yıllık ortalama UHI yoğunluğu 0.5-1 K olarak ortaya konulmuştur.

Soudoudi vd. (2015) Berlin'in şehir ısı adası etkisini Double Canyon kent şeması kullanarak COSMO-CLM ile simüle etmiştir. 2012 yılında Berlin'de yapmış oldukları ölçüm kampanyası ile COSMO-DCEP modelini karşılaştırmayı esas almışlardır. COSMO-CLM modeli Lindenberg kırsal istasyonunda sıcaklıkları yakalayamamıştır ve bunun yanısıra 3 günlük kampanya sonuçları ile ortalama hata hesabı yapıldığında gün doğmadan önceki saatlerde büyük hatalar oluşmuştur. Radar verili bir modelin sonuçları ile karşılaştırıldığında, COSMO-CLM modelindeki aşırı sıcakların bulut parametresindeki kararsızlıktan kaynaklanabileceği ortaya çıkarılmıştır. Gündüz (13: 00'da) DCEP parametrelemesi daha düşük sıcaklıklara yol açarken, gece sıcaklığının mekansal dağılımı, Berlin'in merkezi üzerinde bir şehir ısı adası (ŞIA) göstermiştir. DCEP şeması olmayan simülasyonlarda bu durum gözlenmemiştir.

Trusilova vd. (2015) dört farklı iç içe CCLM model simülasyonunun üç farklı kentsel arazi parametresini aynı konfigürasyonla karşılaştırmıştır. Simülasyonlar, Almanya'nın en sıcak yıllarından biri olan 2002 yılı için oluşturulmuştur. İlk kentsel arazi parametrelendirmesi olan çok katmanlı kentsel kanopi modeli, CCLM-DCEP modeli ile (Sim\_MLUCM) (Schubert vd., 2012) ve tek katmanlı arazi modeli CCLM-TEB modeli ile kuple edilmiştir (Sim\_SLUCM) (Trusilova vd., 2013). Son olarak, öngörülen antropojenik bir ısı akışına sahip CCLM TERRA-URB modelini (Wouters vd, 2012) kullanan toplu parametreleştirme (BULK) şeması ile kullanarak karşılaştırmalar yapılmıştır (Sim\_BULKM) (Flanner., 2009) . Kentsel, yarı kentsel ve kırsal olarak dört farklı ölçüm bölgesi seçilmiştir. Karşılaştırmalar, modelin kırsal alan üzerindeki sonuçlarının aksine kentsel alanlarda birbirinden farklı olduğunu göstermiştir. Gözlenen sıcaklık standart sapması 7,9–8,1°C arasında olup, model sonuçlarının 8,4–8,8°C arasında olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, tüm modeller ortalama yıllık (ŞIA) şiddetini fazla tahmin etmiştir. Modellerin ortalama ŞIA değeri 1,33-1,95°C arasında olmasına rağmen, gözlemlenen ortalama UHI değeri 0,99

°C'dir. Çalışma, hesaplanan aşırı sıcaklığın nedenlerinin, Sim\_MLUCM ve Sim\_SLUCM'de kentsel malzemeler için termal parametrelerin ayarlanmasından, Sim\_BULKM'deki aşırı sıcaklığın nedeninin ise antropojenik ısı akışının önceden tahmin edilmesinden kaynaklandığı sonucuna varılmıştır.

Bu tezin amacı İstanbul üzerindeki kentsel ve kırsal alanlardaki atmosferik koşullarda şehirleşmenin etkisini, şehir ve atmosfer arasındaki etkileşimleri daha detaylı hesaplayan bölgesel iklim modeli COSMO-CLM TERRA-URB kullanarak incelemektir. Planlanmamış kentleşme, yapay yüzeylerin aşırı nüfus artışı ile birlikte genişlemesi, çalışma alanı olarak İstanbul'un seçilmesindeki en önemli sebeptir. Bölüm 2'de COSMO-TERRA ve COSMO-CLM modellerinin tanıtımı ve fiziksel yapısı anlatılacaktır. Bölüm 3'de, İstanbul'un uzun dönem iklim yapısı gözlem ve uydu verileri ile ortaya konacaktır ayrıca çalışma içerisinde kullanılan veriler tanıtılacaktır. Son olarak Bölüm 4'de, COSMO-CLM ve COSMO TERRA-URB simülasyon sonuçları karşılaştırılacaktır. COSMO TERRA-URB modelinin kentsel ve kırsal alanlardaki simülasyon sonuçları, gözlem verileri ile karşılaştırılarak TERRA-URB şemasının hassasiyeti test edilecektir. Bölüm 3.4'te bu test sonuçlarına yer vermektedir.



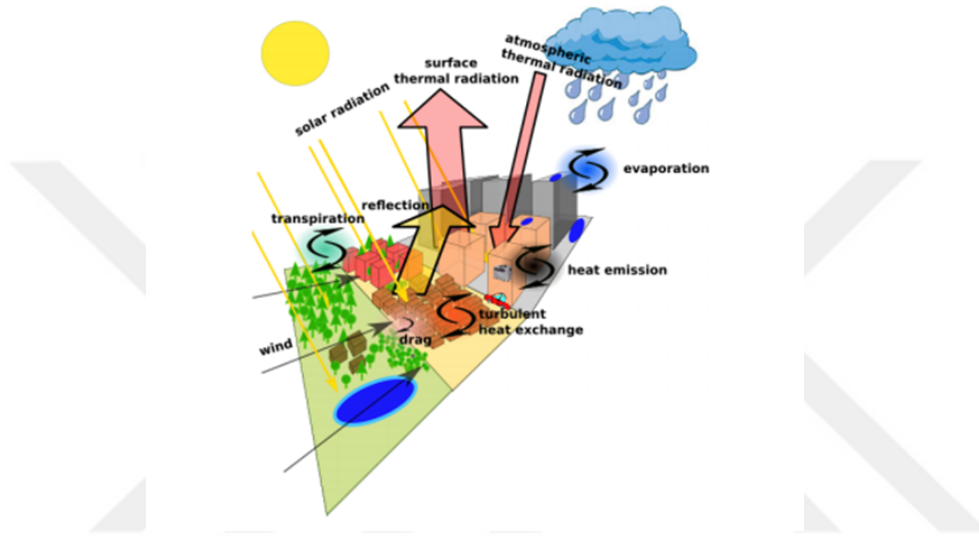
## 2. YÖNTEM

### 2.1 COSMO-TERRA ve COSMO-CLM Modelleri

Bölgesel iklim modeli olan COSMO, CLM (Sınırlı Alan İklim Modellemesi) topluluğu tarafından hava tahmini yapmak ve atmosferik akışta hidrostatik olmayan etkilerin başladığı meso- $\beta$  ve meso- $\gamma$  ölçekleri üzerinde farklı çalışmalar sürdürmek için Alman Meteoroloji Hizmetinin Yerel Modeli kullanılarak (LM) geliştirilmiştir (Steppeler vd., 2003; Rockel vd., 2008). COSMO modelinin dinamik yapısı, atmosferik hareketleri tanımlayan ilkel termodinamik denklemlere dayanmaktadır. Bu denklemlerin hidrostatik olmayan ve sıkıştırılabilir formu kullanılır ve çok çeşitli mekansal ölçeklerde uygulanması mümkündür. Model denklemleri dönen coğrafi koordinatlarda formüle edilir ve yüzeyi izleyen yükseklik koordinatlarında genelleştirilir. Prognostik değişkenler yatay ve dikey rüzgar bileşenleri, basınç bozulmaları, sıcaklık, özgül nem, bulut su ve buz içeriği, türbülans kinetik enerjisi, yağmur ve karın su içeriğidir. Atmosferdeki fiziksel süreçler parametrelendirme şeması tarafından dikkate alınır. COSMO modeli orografi, kara-deniz etkileşimi, toprak tipi ve bitki örtüsü için kendi harici veri tabanına sahiptir. Arazi takip eden dikey koordinat için üç seçenek vardır; referans basıncı temelli koordinat, yükseklik tabanlı SLEVE (Pürüzsüz Dikey Seviye) koordinat (Schör vd., 2002) ve Gal-Chen yükseklik tabanlı koordinat (Gal-Chen ve Sommerville, 1975). Model, Arakawa C ızgarası ve dikey Lorenz ızgara yapısı ile donatılmıştır.

İlk olarak, harici parametre dosyası modelin internet sitesindeki WebPEP (harici verilerin önceden işlenmesi için web arayüzü) bölümünde bulunan EXTPAR programı ile oluşturulmalıdır. Önışlemci (WebPEP) değişmeyen sınır verilerini elde etmek için kullanılır. Dış parametre dosyası toprak tipi, bitki örtüsü, orografi verilerini içermektedir (Smiatek vd., 2008). CCLM'yi çalıştırmak için iki seçenek vardır; zincir modu ve adım adım modu. Ayrıca, modelin INT2LM ve CCLM olmak üzere iki adımı vardır. Model ilk önce CCLM için kullanılacak giriş verilerini hesaplayan INT2LM enterpolasyon programı ile başlar. Son olarak, modelin sonuçları INT2LM sonuçları kullanılarak CCLM'deki dinamik ve fiziksel

denklemlerle hesaplanır. Ayrıca, INT2LM için ilk veriler dış veri setlerinden ve kaba çözünürlük model simülasyonlarından sağlanabilir. Şekil 2.1’de görüldüğü gibi kent-kanopi kara-yüzey şeması TERRA-URB, COSMO-CLM modeli için toprak bitki örtüsü modülü TERRA-ML ve kara-atmosfer etkileşimindeki değişiklikler ile kentsel fiziğin etkisini sunmaktadır. TERRA-URB modelinin temel amacı, kentsel iklim ve hava tahmini üzerine çalışmaktır. Toulouse, Basel, Singapur, Viyana, Torino ve Belçika, TERRA-URB modelinin çalışıldığı şehirler arasındadır.



**Şekil 2.1:** Modellerin atmosfer-yüzey etkileşim akışı (Wouters vd, 2017)

Harici parametre dosyasının oluşturulduğu EXTPAR programı içerisinde, toprak ve TERRA-URB şeması seçenekleri bulunmaktadır. COSMO-CLM ve COSMO TERRA-URB süreçleri aynıdır. TERRA-URB için de INT2LM ve CCLM adımlarını izlemek gerekmektedir. TERRA-URB INT2LM adımı ilave kentsel parametreler yapılandırılmalıdır ve bunlar  $l_{isa}$ ,  $l_{ahf}$ , ve  $l_{terra\_urb}$  parametreleridir. Kentsel iklim adaptasyonunun iyileştirilmesi ve ısı stresi değerlendirmesi ile ilgili çalışmalar TERRA-URB şeması ile yapılabilmektedir. Kentsel heterojenlik, konveksiyona izin veren atmosferik modellerin konfigürasyonlarında önemlidir. Kentsel kanopi parametrelerini girdi olarak hesaba katan TERRA-URB modelinde, Yarı-Ampirik Kent Kanopi parametrizasyonu (SURY) uygulanmıştır. SURY üç boyutlu bilgileri içeren kentsel kanopi parametrelerini bulk parametrelerine dönüştürür. Kentsel kanopi parametrelerinin kentsel bulk parametrelere dönüştürülmesi, yer-ısı taşınımı, yüzey-radyasyon değişimlerine ilişkin fiziksel süreçleri dikkate alır. Ayrıca nem, momentum ve ısı için yüzey-tabaka türbülanslı taşıma özelliğini de hesaba katar

(Wouters vd., 2016). Bulk şeması, bölgesel iklim modellemesinde kentsel iklimin genel özelliklerini verimli şekilde yakalamak için uygundur. Genel olarak gelen radyasyonun hissedilir ısıya aşırı dönüşümünü ve ek antropojenik ısıtmayı içerir. Sonuç olarak kentsel ısı adası etkisine yol açan süreçleri modelleme kabiliyetine sahiptir. Buna rağmen, kentsel kanopinin yerel özelliklerine bağlı olarak karmaşık süreçleri açıkça çözemezler. Bu işlemler içerisinde radyasyonun gölgelenmesi ve çoklu saçılması, türbülanslı momentum, ısı ve nem taşınımı ve iç yapı enerji bütçesi açısından heterojen yüzey-atmosfer etkileşimi yer almaktadır. Kompleks şemalar, atmosferik modelin toplam hesaplama maliyetinin %15 civarında arttırmaktadır (Trusilova vd., 2015). Buna karşın bulk şemaları, iklim projeksiyonlarında çok hızlı bir şekilde küçük ölçeğe adaptasyon sağlar ve hesaplama maliyeti daha düşüktür (Lauwart vd., 2015). Amacı 2000 yılı için tüm dünyaya uyumlu bir arazi örtüsü veri tabanı sağlamak olan GLC2000 verisi Avrupa Küresel Bitki Örtüsü İzleme Birimi tarafından arazi örtüsü oluşturmak için kullanılmıştır. GLC2000 verisinde arazi örtüsü 22 farklı sınıfa ayrılmıştır. 2000 yılı, başta Birleşmiş Milletler Ekosistemiyle İlgili Uluslararası Sözleşmeler olmak üzere çeşitli faaliyetlerle ilgili çevresel değerlendirme için referans yılı olarak kabul edilir. COSMO-CLM ve TERRA modellerinde GLC2000 verisi üzerinden arazi örtüsü alınmıştır.

## **2.2 Yarı-Ampirik Kentsel Kanopi Parametreleri ve Fiziksel Açıklamaları**

Şehir ısı adası kent ve kırsal alanlar arasındaki enerji denge farkından kaynaklanmaktadır ve gündüz ya da gece yıl boyunca ortaya çıkabilmektedir. Özellikle, şehir ve çevresindeki kırsal alanlar arasındaki sıcaklık farkı açık sakin geceler boyunca en yüksek değerine ulaşmaktadır (Ünal vd. 2018). Ayrıca rüzgâr, bulut örtüsü ve yağış gibi meteorolojik değişkenlerin de ŞIA üzerinde etkilere yol açtığı görülmüştür. Öte yandan, kırsal alanların serinlemesiyle gece saatlerinden daha hızlı bir şekilde soğumasına bağlı olarak, yüzeye yakın sabit atmosferik koşullar ve yüzey enverziyonları da gözlemlenebilmektedir. Oke (1985) şehir meteorolojisini ve denge farklarını anlamak için iki ana ölçeği karıştırmamak gerektiğini belirtmiştir. Bu iki ana ölçekten biri bitkisel bir kanopi katmanı (UCL) gibi zeminden ortalama çatı seviyesine kadar uzanan kentsel kanopi ve diğeri kentsel sınır tabakası (UBL) olarak adlandırılan altındaki kentin varlığı ile özellikleri belirlenmiş olan bir meso ölçekte iç sınır tabakasıdır. Isının toprakla hava arasındaki sirkülasyonu, yüzeyin

doğası, toprağın ısı özellikleri ve atmosferin durumu dahil olmak üzere birçok faktöre bağlıdır. Kısa bitki örtüsüyle kaplanmış bir yüzey, gündüz radyasyon fazlasının yaklaşık %80' ini havaya ekler, ancak geceleri türbülans aktivitelerinin azalması ile radyasyon açığının yalnızca %10-%50'si toprak deposundan ısı iletimi ile dengelenir. Türbülans taşınımının hissedilir ve gizli ısı formları arasında bölünmesi (Bowen'ın oranı, p), büyük ölçüde yüzey nemine bağlıdır. Yüzeyde bulunan binlerce farklı kent kanopi katmanı tüm bu ısı iletimlerini genel bir tanımlamaya koymayı imkansız hale getirmiştir. Tüm bu karmaşık yüzey yapıları içerisinde çim (Oke 1978), otopark, sokak (Nunez ve Oke, 1977, 1980) ve yollar bir tanımlanamaya tabii tutulmuştur. Yüzeylerin iklimsel sınıflandırması su kapasitesi ve yüzey nemliliği birincil öncelik olacak şekilde yapılmalıdır. Çünkü su tutma kapasitesi, nemin kademeli olarak tükenmesine ve dolayısıyla kademeli olarak soğumaya olanak sağlar. Kent alanlarındaki geçirimsiz yapıya sahip olan asfaltlar, yollar radyan enerjilerinin büyük bir kısmını hissedilir ısıya dönüştürür. Kanopi parametrelendirmesi yarı ampirik olarak (SURY) TERRA-URB şeması içerisinde tanımlanmıştır. SURY'nin sağlamlığı yukarıdan aşağıya tahminlerden gelen bulk parametrelerinin aşağıdan yukarıya kentsel kanopi parametreleri değerlerinin karşılaştırılması ile doğrulanır. Kentsel kanopi parametrelerinin ve çevirilen bulk parametrelerinin değerleri önceden belirlenmiştir. COSMO-TERRA modelinin fiziksel süreçleri 3 ana prensip altında incelenecektir; yer ısı taşınımı, yüzey radyasyonu ve yüzey tabaka türbülans taşınımı.

### 2.2.1 Yer ısı taşınımı

Isı kapasitesinin ve yüzeydeki ısı iletkenliğinin bulk değerleri, hem alt tabaka eşdeğerlerinin hem de yüzeydeki pürüzlülük elemanlarının Yüzey Alan İndeksi (YAI) ile çarpılmasıyla elde edilir. Bu şekilde, yerden ısı transferi YAI'ye entegre edilmiştir. Kütleli termal parametrelerin bu şekilde türetilmesi aşağıdaki gibi kanıtlanmıştır: Yüzey içerisindeki yanal zemin ısı taşınımı, Fourier yaklaşımı ile hesaplanmaktadır. Denklem (2.1)  $\lambda_s$  alt tabaka ısı iletkenliğidir ve  $\partial T / \partial z$  alt tabaka düşey sıcaklık gradyanıdır. Aynı zamanda, yüzeyin dikey profilinin eğimi ısı denklemini ile ifade edilir.

$$Q = -\lambda_s \frac{\partial T}{\partial z} \quad (2.1)$$

Denklem (2.2)'de  $C_{v,s}$  alt tabaka ısı kapasitesini ifade etmektedir.

$$\frac{\partial T}{\partial t} - \frac{\lambda_s}{C_{v,s}} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0 \quad (2.2)$$

Burada alt tabakanın atmosferle temas halindeki yüzeyinin, yüzey alan indeksi (YAI) faktörü ile büyütüldüğü ve bu maddenin orijinal tabakanın düşey sıcaklık profilini koruduğu durumun genişlediği göz önünde bulundurulur. Bir yandan, daha büyük yüzey üzerinden daha fazla ısı geçmektedir. Denklem (2.3) yüzey üzerinden geçen toplam ısı akısının YAI faktörü ile çarpıldığını göstermektedir. Sonuç olarak, zemin ısı akısının bir YAI faktörü ile çarpılması ve orijinal zemin sıcaklığı eğiliminin korunması tabaka temsilinde gereklidir.

$$YAI = (1 + 2\frac{H}{W})(1 - R) + R \quad (2.3)$$

Temas eden yüzeyin artışına bağlı olarak artan bulk termal parametrelerindeki artış, aşağıdaki şekilde yerden ısı taşıma modülü tarafından dikkate alınır, ilk olarak YAI hesaplanır. Paralel sokaklara sahip kentsel bir kanopi durumunda, YAI kanyon yükseklik-genişlik oranından (H/W) ve çatı kesri R'den (düz çatılar dikkate alınarak) elde edilebilir.

$$C_{v,bulk,s} = YAI C_{v,s} \quad (2.4)$$

İkincisi, yüzey üstündeki ( $C_{v,bulk,s}$ ) bulk ısı kapasitesi, hem kentsel kanopi hem de doğal arazi örtüsü için yapılabilecek yüzey alt tabakasının ( $C_v$ ) ısı kapasitesinin YAI ile çarpılmasıyla denklem (2.4)'te elde edilir. Düşey uzaklık (d), pürüzlülükten küçük olduğunda denklem (2.5), diğer ihtimallerde ise denklem (2.6) bulk ısı kapasitesinin düşey profilini ifade eder.

$$C_{v,bulk}(d) = \left(1 - \frac{d}{h}\right) C_{v,bulk,s} + \frac{d}{h} C_{v,toprak}, d < h \quad (2.5)$$

$$C_{v,bulk}(d) = C_{v,toprak}, d \geq h \quad (2.6)$$

Bulk yüzey ısı iletkenliğinin düşey profili benzer formülasyon ile denklem (2.7)'deki gibi tanımlanmaktadır.

$$\lambda_{\text{bulk},s} = \lambda_s \text{ YAI} \quad (2.7)$$

Denklem (2.7)'deki  $\lambda_s$  'ler, alt tabaka ısı iletkenliğidir ve  $\lambda_{\text{bulk},s}$ , yüzey üstündeki bulk ısı iletkenliğidir. Yüzeyin altındaki bir derinlikte, bulk ısı iletkenliğini denklem (2.8) şu şekilde tanımlamaktadır;

$$\lambda_{\text{bulk}}(d) = \left(1 - \frac{d}{h}\right) \lambda_{\text{bulk},s} + \frac{d}{h} \lambda_{\text{toprak}}, \quad d < h \quad (2.8)$$

Denklem (2.9)'da  $\lambda_{\text{toprak}}$  arazi yüzey modelinden kabul edilen toprak ısı iletkenliğini temsil eder. Sonuç olarak bu şema, gölgeleme ve ışınım özellikleri nedeniyle farklı kentsel kanopideki sıcaklık çeşitliliğini açık bir şekilde temsil etmemektedir.

$$\lambda_{\text{bulk}}(d) = \lambda_{\text{toprak}}, \quad d \geq h \quad (2.9)$$

## 2.2.2 Yüzey radyasyonu

Bulk değerleri, gelen kısa dalga boylu radyasyonun yansıyan kısmıyla kentsel kanopi tabakası tarafından yukarı atmosfere yayılan kızıl ötesi radyasyonu ifade eder. Ayrıca, karın artan albedo etkisine göre bulk değerinin değişimine etkisini denklem (2.10) göstermektedir.

$$\alpha_{\text{bulk}} \simeq \left( (1 - f_{\text{kar}}) \alpha + f_{\text{kar}} \alpha_{\text{kar}} \right) \psi_{\text{bulk}} \left( \frac{H}{W}, R \right) \quad (2.10)$$

Denklem (2.11)'deki  $\psi_{\text{bulk}} \left( \frac{H}{W} \right)$  kanyon albedo indirgeme faktörüdür.

$$\psi_{\text{bulk}} \left( \frac{H}{W}, R \right) = R + (1 - R) \psi_{\text{kanyon}} \left( \frac{H}{W} \right) \quad (2.11)$$

Sayısal tahminler, albedo indirgemesinin  $\left( \frac{H}{W} \right)$  oranına yüksek duyarlılığı sebebiyle denklem (2.12)'deki gibi önerilmiştir.

$$\psi_{\text{kanyon}} \left( \frac{H}{W} \right) = \exp \left( -0.6 \frac{H}{W} \right) \quad (2.12)$$

İsteğe bağlı olarak, çatıların, yolların ve duvarların albedoları arasında denklem (2.13)'teki gibi bir ayırım yapılır.

$$\begin{aligned} \alpha_{\text{bulk}} & \simeq \frac{[\alpha_{\text{yol, kar}} + 2 \frac{H}{W} \alpha_{\text{duvar, kar}}]}{(1 + 2 \frac{H}{W})} \psi_{\text{kanyon}} \left( \frac{H}{W} \right) (1 - R) \\ & + \alpha_{\text{çatı, kar}} R \psi_{\text{kanyon}} \left( \frac{H}{W} \right) = \exp(-0.6 \frac{H}{W}) \end{aligned} \quad (2.13)$$

Denklem (2.14)'teki  $i$  çatı, yol ve duvarları temsil etmektedir. Ayrıca,  $\frac{[\alpha_{\text{yol, kar}} + 2 \frac{H}{W} \alpha_{\text{duvar, kar}}]}{(1 + 2 \frac{H}{W})}$  terimi kent bölgelerindeki duvar ve yol yüzeylerinin ortalama alt tabaka albedolarını açıklamaktadır.

$$\alpha_{i, \text{kar}} = (1 - f_{\text{kar}}) \alpha_i + f_{\text{kar}} \alpha_{\text{kar}} \quad (2.14)$$

Kızıl ötesi yayılımı ( $\epsilon_{\text{bulk}}$ ), aynı bulk albedo indirgemesi faktörünü ( $\psi_{\text{bulk}}$ ) dikkate alır. Denklem (2.15),  $\epsilon$  alt tabaka yayılımı ve  $\epsilon_{\text{kar}}$  kar yayıcılığı göstermektedir. Çatıların (0.10), duvarların (0.10) ve yolların (0.15) alt tabaka albedo değerleri Loridan ve Grimmond tarafından (2012) kabul edilmiştir.

$$\epsilon_{\text{bulk}} = 1 - \psi_{\text{bulk}} (1 - ((1 - f_{\text{kar}}) \epsilon + f_{\text{kar}} \epsilon_{\text{kar}})) \quad (2.15)$$

### 2.2.3 Yüzey tabaka türbülans taşınımı

Sarkar ve De Ridder'in (2011) ardından, şehir kanopisinin aerodinamik pürüzlülük uzunlukları aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır. Termal pürüzlülük uzunluğu  $z_{0H}$ , ters Stanton sayısının bir parametrelemesiyle elde edilir (De Ridder, 2006; Demuzere vd., 2008). Denklem (2.16), Von Karman sabitidir.

$$kB^{-1} = \ln \left( \frac{z_0}{z_{0H}} \right) \quad (2.16)$$

Denklem (2.17) ve (2.18)'de görüldüğü gibi pürüzlülük Reynold sayısı,  $u_*$  sürtünme hızını ve  $v = 1.461 \times 10^{-5} \text{m}^2 \text{s}^{-1}$  havanın kinematik akışını belirtir. COSMO-CLM modelinde, şehirler doğal kara yüzeylerine göre daha yüksek yüzey pürüzlülük uzunluğu ve azaltılmış bitki örtüsü ile temsil edilmektedir. Bununla birlikte, bu göstergede, kentsel alanlar hala etrafındaki doğal araziye benzeyen, aerodinamik,

ışınımlı ve termal parametrelerle su geçirgen toprak olarak ele alınmaktadır. Bu kabul, kentsel fiziğin ve kent ısı adalarını temsiliyetinde güvenilirliği sınırlamaktadır.

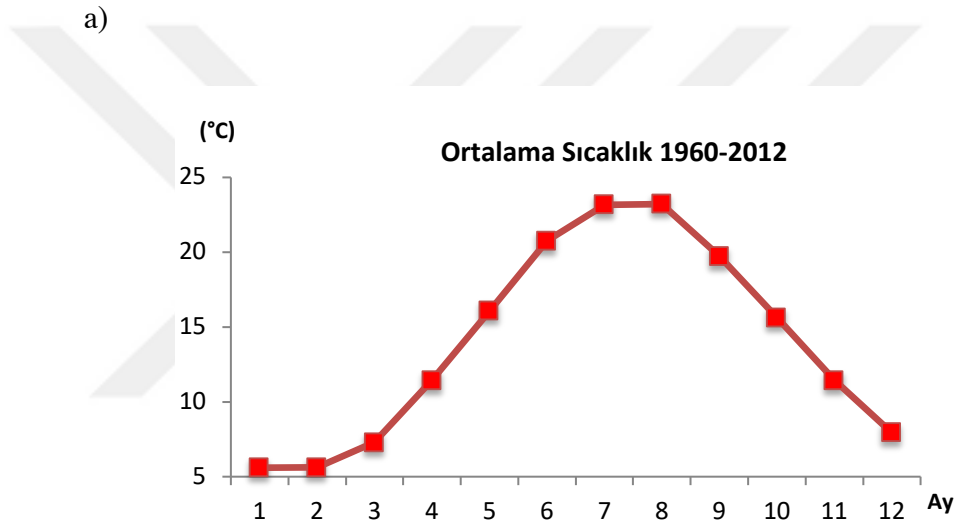
$$kB^{-1} = 1.29 Re_*^{0.25} - 2.0 \quad (2.17)$$

$$Re_* = u_* z_0 / \nu \quad (2.18)$$

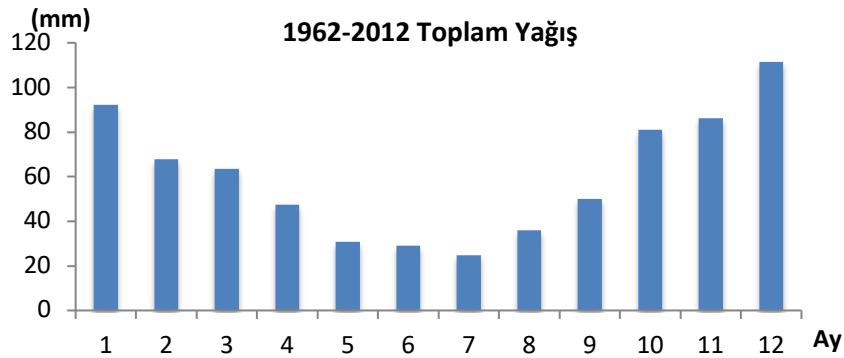
### 2.3 İstanbul'un Konumu ve İklimi

İstanbul, 41° Kuzey, 29° Doğu koordinatlarında, Türkiye'nin kuzeybatı bölümündeki Marmara Bölgesi içerisinde yer almakta ve kuzeyinde Karadeniz güneyinde Marmara Denizi ile çevrelenmektedir. 30 km uzunluğunda olan Boğaz, Avrupa ile Asya arasında bir sınır olarak kabul edilir. Şehrin her iki yakasının kuzeyinde yaklaşık 117 km<sup>2</sup>'lik su havzaları bulunmaktadır. Konumu itibari ile farklı basınç sistemlerinin etkisi altında kalmaktadır. Türkiye kış mevsiminde, Balkanlar ve doğu Anadolu'dan gelen termik kökenli Sibiryaya yüksek basınç sistemi ve kuzeybatı dinamik kökenli Karadeniz üzerinde cephesel yağışlara sebep olan İzlanda alçak basınç sistemi etkisindedir. Yaz aylarında ise Türkiye iki asal basınç sisteminin etkisi altındadır. Bunlardan biri Muson Alçak Basınç sistemi ile ilişkili olan ve Afrika üzerindeki tropikal havayı taşıyan Arabistan alçak basınç sistemidir. Yaz ayında etkili olan diğer basınç alanı ise Azor adalarından kaynaklanan Azor Yüksek Basınç sistemidir. Azor yüksek basıncı, batı kesimlerde Karadeniz ve Ege denizi üzerinden serin ve nemli havayı taşıyan etezyen rüzgarlarından etkilenmektedir. Arabistan alçak basınç sistemi tropikal havayı güney doğulu akımlarla taşıyarak, iç ve güney kesimlerde sıcak ve kuru havanın hakim olmasına sebep olur. Diğer bir yandan, İstanbul'da ve Türkiye'nin batı kesimlerinde güney ve güney batılı akışlar ile sıcak ve nemli hava taşınmaktadır. Akdeniz üzerindeki cephesel sistemler ve göçebe alçak basınç sistemleri İstanbul üzerindeki güney batılı rüzgarları oluştururlar. Temmuz ve Ağustos aylarında nemli havanın etkisini azaltıcı rol oynayan kuzey doğulu poyraz İstanbul üzerinde etkili olmaktadır. Kış ayları boyunca geniş ve sinoptik ölçekli sistemler etkisini azaltırken, topoğrafya etkisi, kara ve deniz yüzeylerindeki farklı ısınmaya bağlı termik lokal koşullar önem kazanır. İstanbul şehrini çevreleyen denizler ve aynı zamanda Boğaziçi nedeniyle kentsel alanların çoğuna göre benzersiz bir konuma sahiptir.

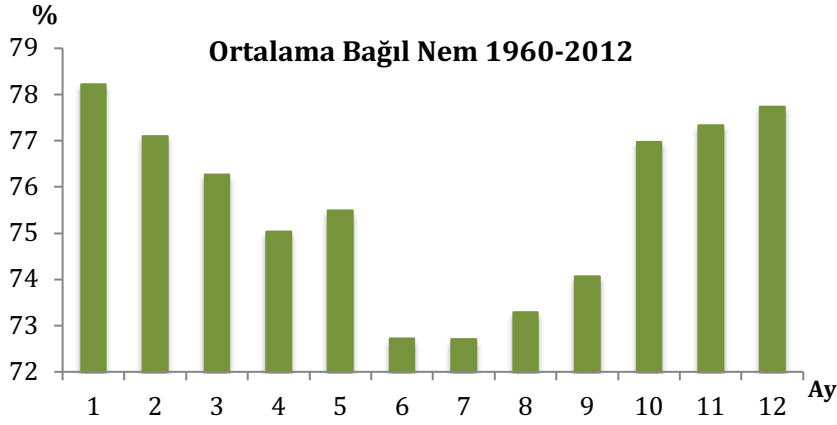
Kartal, Şile, Göztepe, Sarıyer, Florya ve Kilyos istasyonlarında ölçülen veriler baz alındığında aylık ortalama sıcaklık, aylık toplam yağış ve aylık ortalama bağıl nemin bir yıl içerisindeki değişimi Şekil 2.2’de gösterilmektedir. İstanbul’un yıllık yağış toplamı 808.3 mm ve uzun yıllar sıcaklık ortalaması 13.8°C ‘dir. Şekil 2.2a’da görüldüğü üzere Ocak ayı 5.6°C ile en soğuk ay, Ağustos ayı 23°C ile en sıcak ay olmuştur. Ortalama sıcaklıklarda, maksimum sıcaklık 18.1°C iken minimum 10.8°C’dir. Yazın ortalama maksimum sıcaklık 27.0°C, kışın 9.7°C; ortalama minimum sıcaklık yazın 18.5°C; kışın ise 3.9°C’dir. Bunların yanı sıra, 1960-2012 periyodu içerisinde gerçekleşen en yüksek sıcaklık 41.5°C ile 2000 yılı Temmuz ayında ve en düşük sıcaklık ise -11°C ile 1963 yılının Ocak ayında olmuştur.



b)

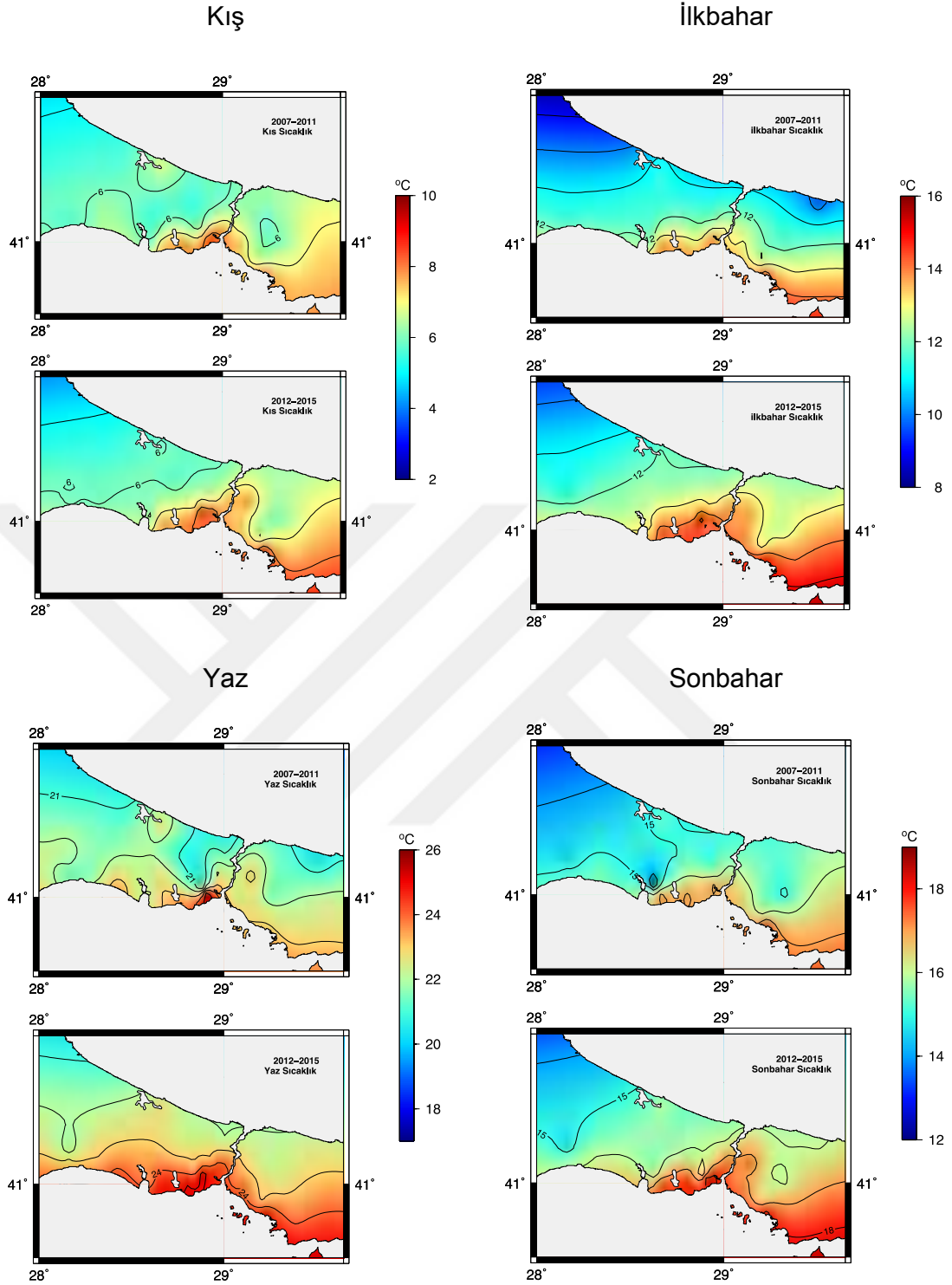


c)



**Şekil 2.2:** İstanbul için 1960-2012 yılları arasında a) Aylık sıcaklık ortalaması, b) Aylık toplam yağış ve c) Aylık ortalama bağıl nem.

Şekil 2.2b’de uzun yıllar yağış verisine bakıldığı zaman, yağışların büyük bir bölümünün Kasım-Mart aylarında gerçekleştiği görülür. Aralık ayı yağışın en çok olduğu aydır ve miktar 111.5 mm’dir. Yağış miktarı 30.8-24.8 mm arasında olan Temmuz, Haziran ve Mayıs ayları en kurak geçen aylardır. Şekil 2.2c bağıl nem uzun dönem ortalamalarının %72 ve %78 arasında değiştiğini göstermektedir. (Ünal vd., 2018). Şekil 2.3’te görüldüğü üzere İstanbul’da şehirleşmenin yoğun olduğu boğaza yakın iç kesimlerde kara yüzey sıcaklıklarında gündüz sıcaklıkları 36°C ‘ye kadar çıkarken, şehirleşmenin az olduğu kuzey kesimlerde 28°C civarına kadar düşebilmektedir.

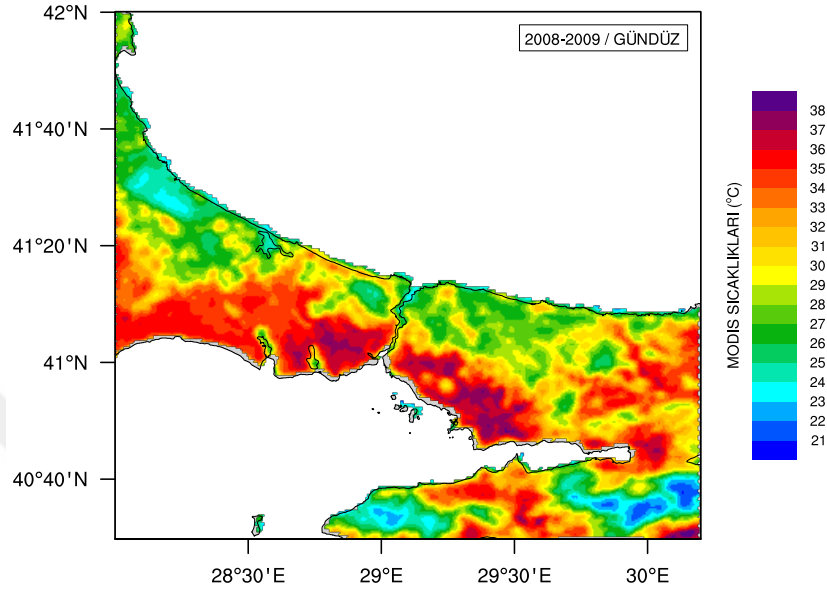


**Şekil 2.3:** AKOM 2007-2012 ve 2012-2015 mevsimlik ortalama sıcaklıklar

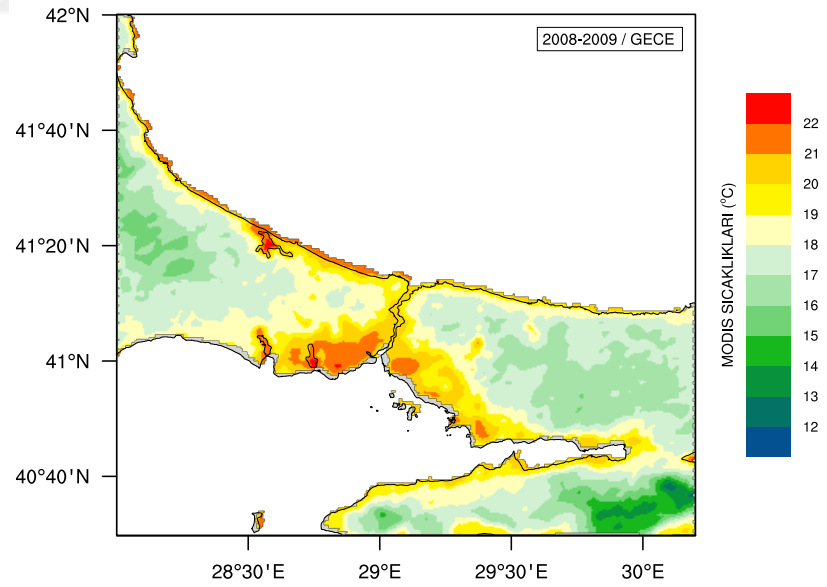
Gece ise şehirleşmenin yoğun olduğu bölgelerde ortalama sıcaklıklar 21 °C'ye kadar çıkarken, kırsal bölgelerde 15°C'ye kadar düşmektedir. 2008-2009 yılındaki İstanbul'daki ortalama gece ve gündüz sıcaklıkları MODIS TERRA uydu verisi ile oluşturulmuştur (Şekil 2.4). Gündüz İstanbul'da boğaza yakın iç kesimlerde 38 °C

sıcaklıklara kadar çıkarken gece 22°C civarındadır. Anadolu yakasının kuzeyinde şehirleşmenin az olduğu alanlarda gündüz ortalama sıcaklıklar 28 °C, gece ise 19 °C'ye düşmektedir.

a)



b)



Şekil 2.4: MODIS 2008-2009 gece ve gündüz sıcaklıkları

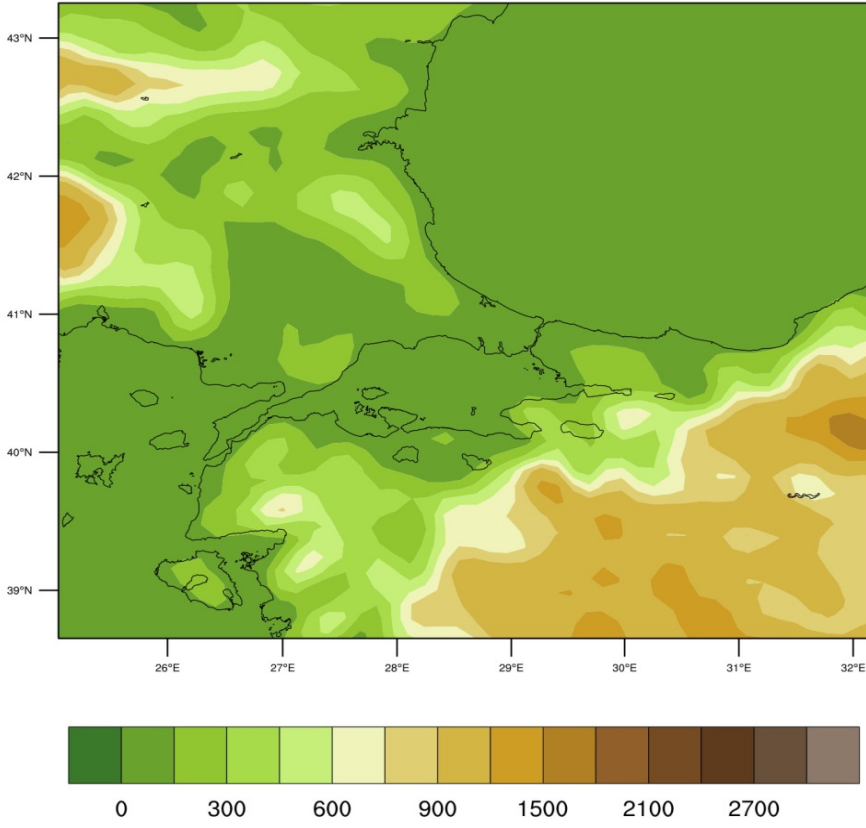
## 2.4 Simülasyon Tasarımı

ERA-Interim verisi başlangıç koşulları için 165x143 grid 0.0275° (2.8 km) çözünürlükte çalıştırılmıştır. Çizelge 2.1’de COSMO-TERRA ve COSMO-CLM’de kullanılan fiziksel şemalar belirtilmiştir. Model Arakawa C tipi yatay ızgara yapısı ve Lorenz dikey ızgara yapısı üzerine tasarlanmıştır. Koordinat izleyen arazi için Gal-Chen yükseklik tabanlı koordinat seçeneği kullanılmıştır. Çok katmanlı toprak modelindeki seviye sayısı 9 ve ana toprak katmanlarının derinliği 0.005, 0.025, 0.07, 0.16, 0.34, 0.7, 1.42, 2.86, 5.74, 11.5 m’dir. Bu çalışmada tüm simülasyonlarda, 120 saniye zaman entegrasyonu ve üçüncü dereceden Runge-Kutta şeması kullanılmıştır. Tiedtke (1989) kütle akı taşınım şeması nemli taşınım parametreleştirmesi olarak kullanılmıştır.

**Çizelge 2.1 : Bütün model simülasyonlarındaki konfigürasyonlar.**

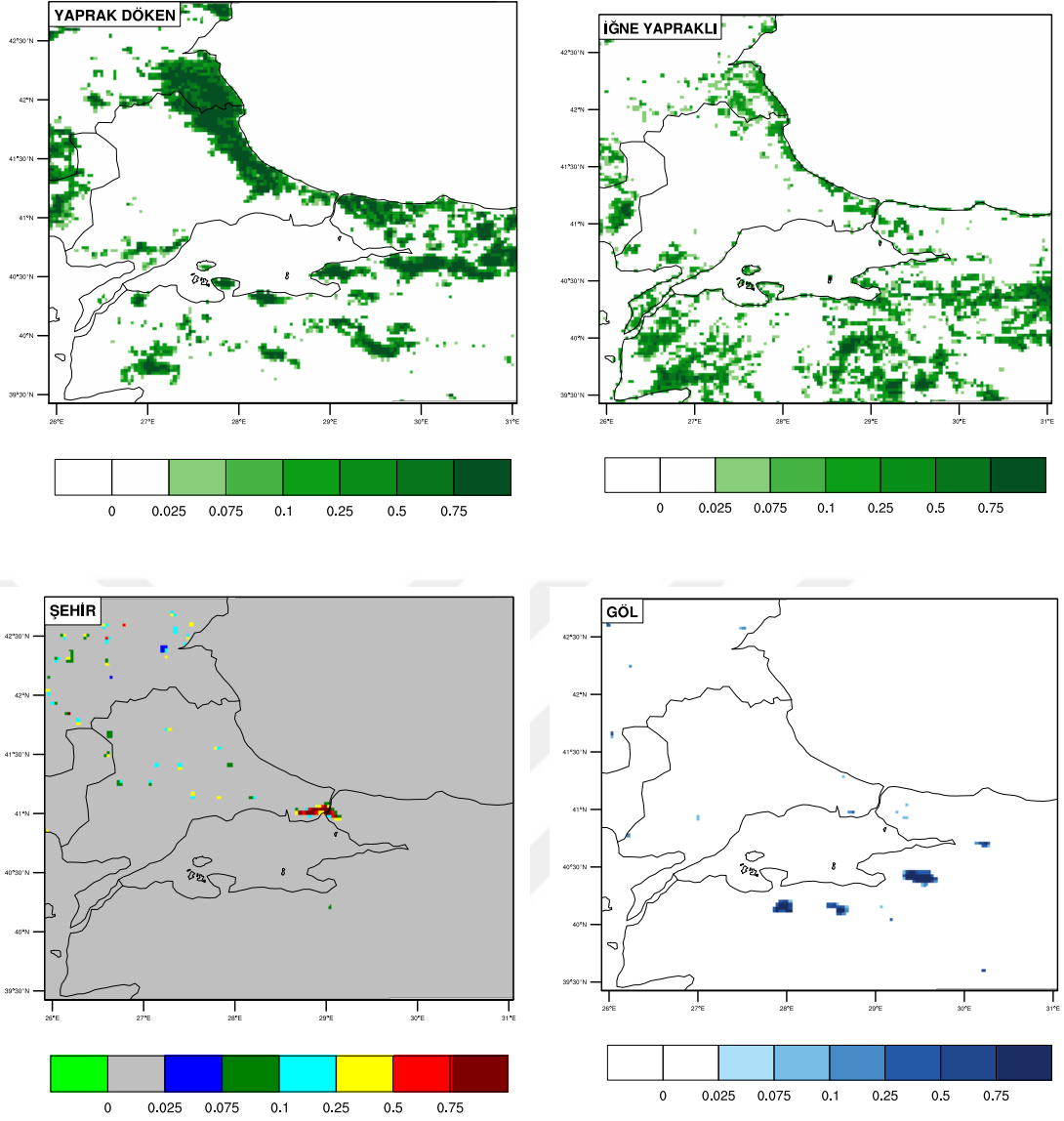
İçerikler	Ayarlar
Çözünürlük	0.0275° (2.8 km)
Grid Sayısı	ie=165, je=143
Düşey Seviye	40 $\mu$
Zaman Aralığı	120 s
Mikrofizik Şeması	Kategori 2 Buz Şeması
Konveksiyon Şeması	Tiedtke (1989) kütle akı taşınım şeması
Radyasyon Şeması	Ritter and Geleyn (1992)
PBL Şeması	Holtslag ve ark. (1990)
Arazi	Gal-Chen yükseklik tabanlı koordinat
Toprak Katmanları	9 katmanlı toprak
Zaman	01.08.2007-31.12.2009

Simülasyon alanı İstanbul ise, Türkiye’de kentleşmenin en yoğun olduğu şehirdir ve bu nedenle model alanının merkezi İstanbul olarak düzenlenmiştir. Merkezi İstanbul olan bu çalışmanın yükseklik haritası Şekil 2.5’te gösterilmiştir.



**Şekil 2.5 :** Çalışma alanına ait topoğrafya (m)

Arazi yapısını oluşturmak amacıyla GLC2000 verisi içerisinde bulunan şehir, göl, yaprak döken ağaçlar ve yaprak dökmeyen iğne yapraklılara ait fraksiyonlar Şekil 2.6 'da gösterilmektedir. Bu çalışmanın amacı doğrultusunda şehir ve kırsal bölgelerin temsili önem taşımaktadır. Yaprak döken ağaçlar, İstanbul'un güneyinde dağınık bir şekilde dağılmaktadır. İstanbul'un kuzeyinde yoğunluğu artış gösterir ve %75 en yoğun fraksiyonla Kırklareli'nin kuzeyinde bulunmaktadır.



**Şekil 2.6 :** COSMO modelleri arazi kullanım oranları a ) yaprak döken, b) iğne yapraklılar, c) şehir, d) göl

İğne yapraklılar ülkemizde dağınık bir yoğunluğa sahiptir İzmir, Bursa, Kütahya iğne yapraklı ağaç yoğunluğu fazla olan şehirlerimizdir. İğne yapraklılar seyrek de olsa İstanbul'un iç kesimlerinde ve Avrupa yakasının kuzeyinde bulur. Bu çalışmanın alanı içerisinde, özellikle fraksiyonu yüksek olan Manyas, Ulubat, ve İznik göllerini görmekteyiz. Ayrıca Büyükçekmece gölü de bulunmaktadır. Şekil 2.6 c 'de şehir alanları temsilinde, İstanbul'un boğaza yakın iç kesimlerinde şehirleşmenin yoğun olmasından dolayı fraksiyon %100 çevreleyen bölgenin ise fraksiyonu %75-%25 civarındadır. İstanbul'un batısında, Tekirdağ, Edirne ve Bulgaristan üzerinde bazı şehir merkezlerinin temsil edildiğini görmektetiz. Şekil 2.6 c'de şehir arazisi

kullanımına bakıldığında şehir arazisinin günümüzü tam olarak temsil etmediği görülmektedir.

Sertel vd. (2010), WRF modelini iki farklı arazi örtüsü kullanarak Marmara bölgesi üzerinde koşturmuşlardır. Atmosferin büyük ölçekli dolaşımını analiz etmek için, 25-60° K enlemleri ve 15° B - 55° D boylamlarını kapsayacak şekilde bir ana alan yaratılmıştır. İlk iç içe geçmiş alan, Türkiye'nin batı bölgesini ve bu araştırmanın arazi örtüsü değişim perspektifinin ana odağı olan Marmara Bölgesi'ni içermektedir. Ana alan 27 km çözünürlüğe sahipken, iç içe geçmiş bölgeler sırasıyla 9 ve 3 km'dir. WRF modeli iki ayrı arazi yapısı ile koşturulmuştur; GLCC arazi örtüsü ve Landsat uydu verisi ile düzenlenmiş kendi oluşturdukları arazi örtüsü. Florya, Bursa, Sakarya, Edirne MGM verileri ile farklı WRF simülasyonlarının hatalarının ortalama kare kökü (RMSE) hesaplanmıştır. Florya gözlem verileri ile yeni yüzey verisi kullanarak koşturulmuş WRF sonuçlarının minimum sıcaklıkları arasındaki hata oranı 2.2°C maksimum sıcaklıklardaki hata oranı 3°C, ortalama sıcaklıklarda ise 2.1°C 'dir. GLCC verisi kullanılarak koşturulmuş WRF sonuçları ile Florya gözlem verileri hata oranı minimum sıcaklıklarda 2.9°C, maksimum sıcaklıklarda 7.1°C, ortalama sıcaklıklarda 4.6°C' dir. Bursa gözlem verileri ve yeni yüzey verisi WRF sonuçları arasındaki hata oranları ise sırasıyla; 2.1°C, 3.6°C, 2.4°C 'dir. Bursa gözlem verileri ve GLCC verisi WRF sonuçları arasındaki hata oranları ise sırasıyla; 2.5°C, 5.7°C, 3.4°C 'dir. GLCC verisinin 1990 yılından önce yapılmış ve güncellenmemiş bir veri olmasının ve özellikle kent alanlarındaki şehirleşmeyi güncel olarak almayışının model sonuçlarına etkisi ortaya konulmuştur. Yapılan bu çalışmanın sonucunda modellerin sonuçları için yüzey yapısının doğru temsil edilmesinin ne kadar önemli olduğu ortaya çıkmıştır.

## **2.5 Kullanılan Veriler**

### **2.5.1 ERA-Interim**

Yeniden analiz veri setleri bölgesel iklim modelleme çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. COSMO-CLM'in başlangıç ve sınır şartları, (ECMWF) Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi (Dee vd., 2011) tarafından üretilen ERA-Interim yeniden analiz veri setleri tarafından oluşturulmuştur. Meteorolojik verilerin yeniden analiz edilmesinin temel amacı, farklı gözlem setlerini periyodik olarak sayısal hava tahmin modeline asimile ederek atmosferin durumunu iyileştirmektir.

ERA-Interim global yeniden analiz verileri, 1979'dan günümüze kadar atmosferik ve yüzeysel parametrelerden oluşmaktadır. Ayrıca veriler üzerindeki güncelleme de devam etmektedir. ERA-Interim spektral çözünürlüğü yaklaşık 80 km'dir (0,75 °) ve 60 dikey seviye vardır.

### **2.5.2 MSWEP**

Hylke Beck (Princeton Üniversitesi, Princeton, NJ, ABD) tarafından geliştirilen, çok kaynaklı grup ağırlıklı yağış (MSWEP) verisi, 3 saatlik küresel bir veri setidir. Bu verinin çözünürlüğü 0.1°'dir. Veri kümesi 1979-2016 dönemlerini kapsamaktadır. MSWEP, optimum yağış veri kaynağını sağlamak için ölçüm, uydu ve yeniden analiz verilerinin bir kombinasyonunu kullanır. MSWEP, CHIRPS, CMORPH-CRT, WFDEI-CRU veri kümelerine göre daha iyi sonuçlar verir (Beck vd., 2017).

### **2.5.3 MODIS / Terra**

Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektro radiometresi (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) MODIS, Ulusal Hava ve Uzay Ajansı (NASA) tarafından geliştirilmiş görünür ve kızıl ötesi bölgelerde çalışan radyometredir. MODIS cihazı, arazi yüzey özellikleri için mekansal ve spektral uzaktan algılama bilgisi sağlar. MODIS ile uydunun 0.4-14.4 µm dalga boylarında 2 gün içinde 36 spektral bantta topladığı tüm görüntüler, dünyayı tamamen kapsar. Ayrıca yatay çözünürlük bölgeye göre değişir. Bulut örtüsü, Dünya'nın enerji bütçesi, klorofil yoğunluğu, radyasyon bütçesi ve orman yangınları da dahil okyanus kara ve atmosferde oluşan süreçleri gözleyip, ölçer. Bu çalışmada toprak yüzey sıcaklığı verileri kullanılan MODIS/Terra uydusu 1999 yılında MODIS/Aqua uydusu ise 2002 yılında fırlatılmıştır. Terra uydusu, sabahları ekvatoru kuzey güney yönünde geçmekteyken Aqua uydusu akşamları güney kuzey yönünde geçmektedir. İstanbul bölgesine h20v4 bandındaki MODIS verisi karşı gelmektedir. Toprak yüzey sıcaklığı, yüzey ve atmosfer arasındaki etkileşimlerin ve yer-atmosfer enerji akılarının etkilerini birleştiren bir parametredir.

### **2.5.4 Gözlem Verileri**

Bu çalışmada, model sonuçlarımız ile kıyaslama yapacağımız ve çalışma alanımız içerisinde bulunan gözlem verileri Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nden (MGM) sağlanmıştır. Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM), 1920 yılında gözlem ağıyla ilk

istasyonlarını kurmuş ve zamanla bu yapıyı tüm Türkiye’de geliştirmiştir. 1960’lardan sonra gelişme zirve ulaşmış ve otomatik istasyonlar üzerinden veri ihtiyacı karşılanmaya başlamıştır. Bazı belediyeler hava kalitesi gözlemleri amacıyla meteorolojik ölçümler almaktadır. MGM’nin yanı sıra İstanbul Belediyesi içerisinde Afet Koordinasyon Merkezi (AKOM), afet zararlarını azaltmak, koordine etmek ve doğal afet durumlarında tüm birimlerin koordineli çalışmasını sağlamak amacıyla kurulmuştur. Bu amaçlar doğrultusunda AKOM, İstanbul için yaygın bir meteoroloji istasyon ağıyla hava takibi ve veri kaydı yapılmaktadır. Şekil 2.7’te sarı işaretli noktalar AKOM, kırmızı işaretli noktalar MGM istasyonlarını, turuncu işaretli noktalar MGM otomatik istasyonlarını ve yeşil işaretliler ise havaalanı istasyonlarını göstermektedir.



**Şekil 2.7:** İstanbul’daki meteoroloji istasyonlarının konumları.

Çizelge 2.2 çalışma alanı içerisindeki MGM istasyonlarının yükseklik, enlem, boylamları ile istasyon kodlarını gösterir. Bu noktalar Bölüm 3’te COSMO-TERRA ve COSMO-CLM modellerinin yanlılıklarını istasyon bazında görebilmek için ayrıca kullanılacaktır.

**Çizelge 2.2 :** Çalışma alanı içerisindeki mevcut gözlem istasyonlarının sıcaklık ve yağış için koordinatları ve rakımı.

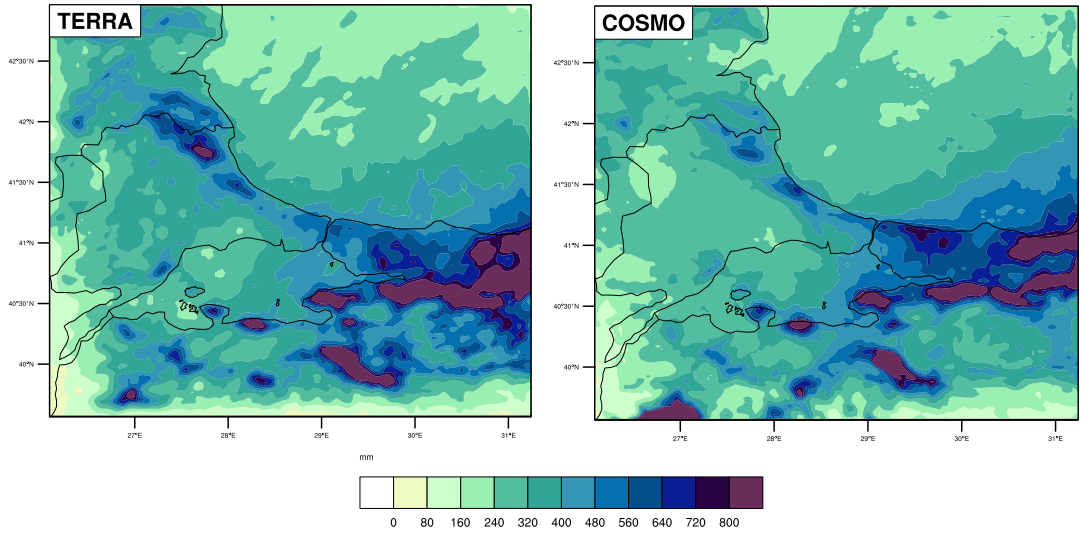
İstasyon Kodları	İstasyon Adı	Enlem (K)	Boylam (D)	Yükseklik (m)
17015	Akçakoca	41.08	31.17	10
17050	Edirne	41.68	26.55	51
17052	Kırklareli	41.74	27.22	232
17054	Çorlu	41.16	27.82	183
17056	Tekirdağ	40.96	27.5	4
17059	Kumköy	41.25	29.04	38
17061	Kireçburnu	41.15	29.05	59
17066	Kocaeli	40.77	29.93	76
17069	Sakarya	40.77	30.39	30
17070	Bolu	40.73	31.6	743
17072	Düzce	40.84	31.15	146
17110	Gökçeada	40.19	25.91	79
17111	Bozcaada	39.83	26.07	30
17112	Çanakkale	40.14	26.4	6
17114	Bandırma	40.33	28	63
17116	Bursa	40.23	29.01	100
17119	Yalova	40.66	29.28	4
17120	Bilecik	40.14	29.98	539
17145	Edremit	39.59	27.02	21
17155	Kütahya	39.42	29.99	969
17175	Ayvalık	39.31	26.69	4
17608	Uzunköprü	41.26	26.69	52
17610	Şile	41.17	29.6	83
17619	Bahçeköy	41.16	28.98	130
17631	Lüleburgaz	41.35	27.31	46
17632	İpsala	40.92	26.38	10
17636	Florya	40.98	28.79	37
17638	Kartal	40.91	29.16	18
17662	Geyce	40.52	30.3	100
17674	Gönen	40.11	27.64	37
17679	Nallıhan	40.17	31.33	650
17695	Keleş	39.92	29.23	1063
17700	Dursunbey	39.58	28.63	637
17702	Bozüyük	39.9	30.05	754
17704	Tavşanlı	39.54	29.49	833
17726	Sivrihisar	39.45	31.54	1070



### 3. ANALİZLER

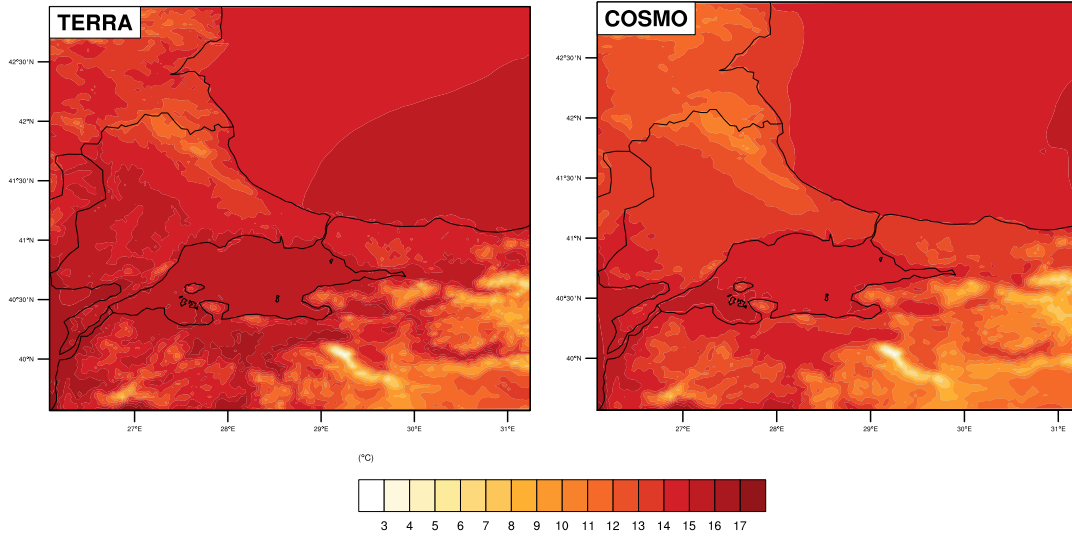
#### 3.1 COSMO-CLM ve COSMO-TERRA Alansal Dağılımları

COSMO-CLM ve COSMO-TERRA modellerinin (2008-2009) iki yılın alansal yağış ortalamaları Şekil 3.1’de gösterilmiştir. Tekirdağ ve Edirne üzerinde COSMO-TERRA modeli COSMO-CLM ‘e göre daha ıslaktır. Yanısıra, İstanbul Anadolu ve Avrupa yakasının kuzey kıyılarındaki COSMO-CLM daha ıslaktır. Çalışma alanının doğusundaki maksimum yağışlar (yaklaşık 800mm), COSMO-TERRA modelinde daha geniş bir alana yayılmıştır ve yüksekliğin arttığı bölgelerde COSMO-TERRA daha ıslak sonuçlar vermiştir.



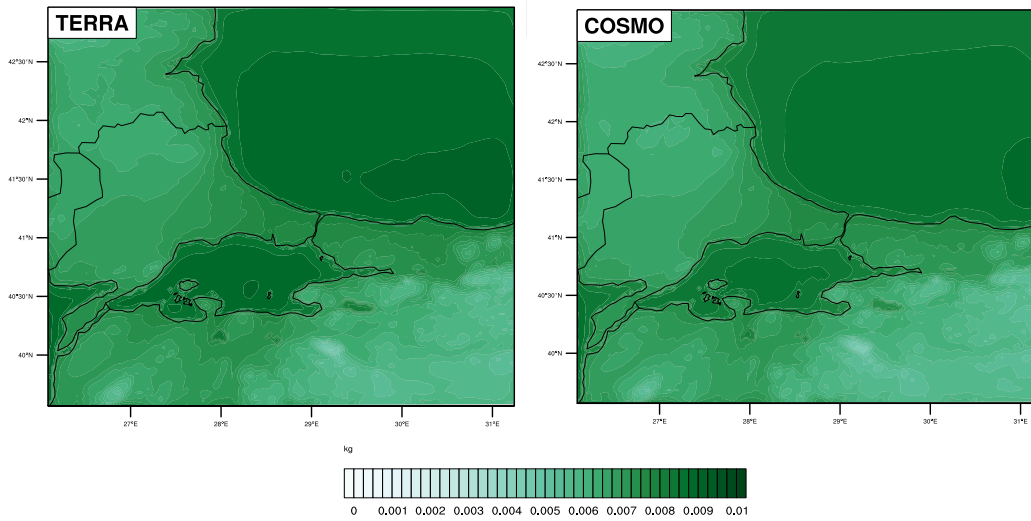
Şekil 3.1: COSMO-TERRA ve COSMO-CLM 2008-2009 alansal yağış.

Şekil 3.2’de COSMO-CLM’in İstanbul Avrupa ve Anadolu yakası üzerinde yaklaşık 13.5 °C, COSMO-TERRA’nın ise 14-14.5 °C olduğunu göstermektedir. İstanbul’un güneyinde iç kesimlerde her iki modelin de çevrelerine göre yaklaşık 1°C daha sıcak sonuç verdiğini Şekil 3.2’ye baktığımızda görmekteyiz. Çalışma alanı üzerindeki birçok bölgede COSMO-TERRA COSMO-CLM’e göre daha sıcaktır.



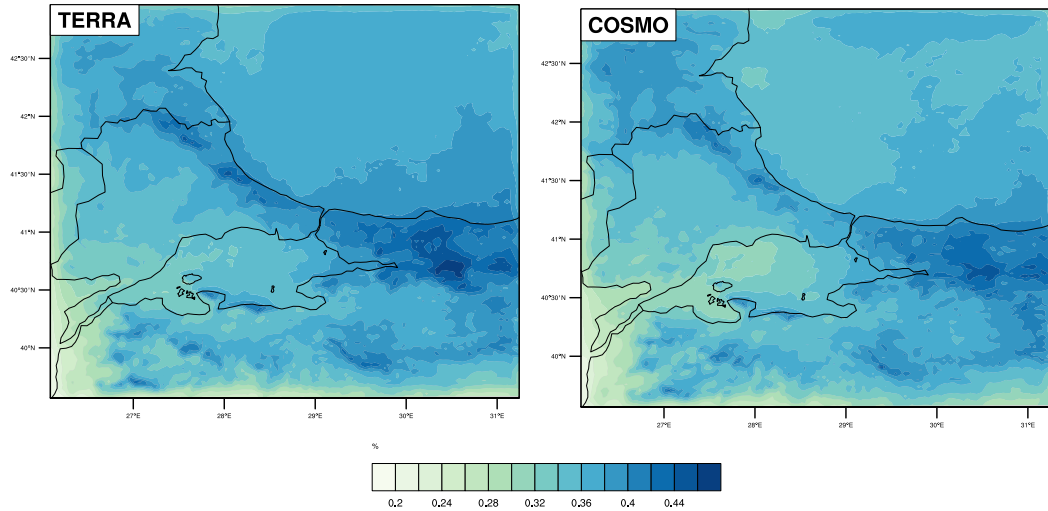
**Şekil 3.2:** COSMO-TERRA ve COSMO-CLM 2008-2009 alansal sıcaklık ortalamaları.

Şekil 3.3 her iki modelin de İstanbul'un kuzey ve güney kıyı çizgilerinde iç bölgelere göre daha nemli olduğunu göstermektedir. Deniz üzerindeki dağılımlarda da COSMO-TERRA daha nemli sonuçlar vermiştir.



**Şekil 3.3:** COSMO-TERRA ve COSMO-CLM 2008-2009 alansal nem ortalamaları.

Şekil 3.4'te İstanbul'un doğusunda Yalova, İzmit ve Düzce üzerinde COSMO-CLM maksimum %40, COSMO-TERRA ise bu bölgelerde maksimum %45 oranında bulutluluk oranı gösterir. Aynı zamanda İstanbul'un kuzeyinde COSMO-CLM %36 civarında bulutluluk oranına sahipken COSMO-TERRA'da bu oran %40'a çıkmaktadır. Yine aynı şekilde Kırklareli'nin ve İstanbul Avrupa yakasının kuzey kıyıları COSMO-TERRA modelinde daha bulutludur.

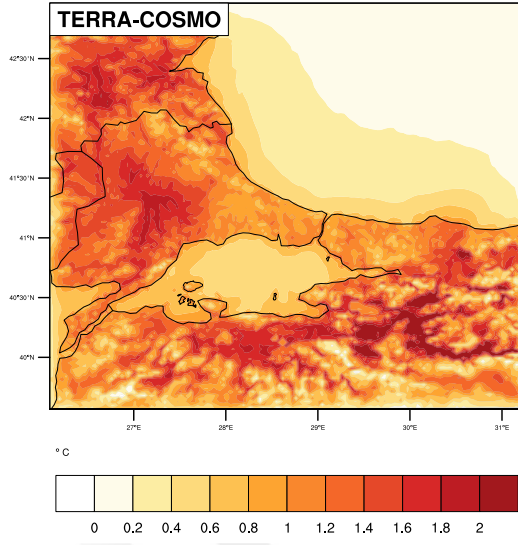


**Şekil 3.4:** COSMO-TERRA ve COSMO-CLM 2008-2009 alansal bulutluluk ortalamaları.

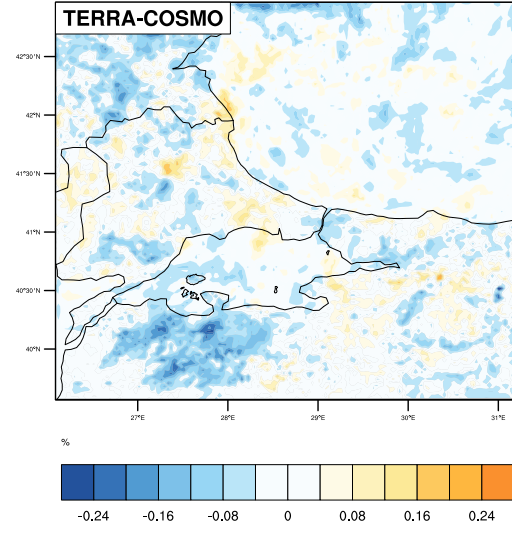
### 3.2 COSMO-TERRA ve COSMO-CLM Simülasyonlarındaki Alansal Farklar

İlk olarak iki model arasındaki alansal farklar incelenerek Şekil 3.5'te gösterilmiştir. COSMO-TERRA tüm çalışma alanı içerisinde COSMO-CLM sonuçlarına göre daha sıcaktır. Kentleşmenin fazla olduğu Avrupa yakasının iç kesimlerindeki sıcaklıklar COSMO-TERRA'da, COSMO-CLM'e göre 0.2 - 0.4 °C daha yüksektir. Şekil 3.5b'de görüldüğü üzere COSMO-TERRA bulutluluk oranı COSMO-CLM'e göre daha azdır. COSMO-TERRA, Avrupa ve Anadolu yakasının iç kesimlerinde, COSMO-CLM'den %16 civarında daha az bulutlu sonuçlar vermiştir. Avrupa yakasının batısında COSMO-TERRA'nın bulutluluk oranının COSMO-CLM'e göre %8- %10 oranında fazla olduğu bölgeler nadiren de olsa bulunmaktadır. Özgül nem Avrupa yakasında güneyden kuzey kıyılarına doğru artmaktadır. Son olarak yağıştaki farklara bakıldığında, İstanbul'un kuzey ve kuzey doğusunda COSMO-CLM'in COSMO-TERRA'ya göre daha ıslak olduğunu anlaşılmaktadır ve aradaki fark 200 mm ye ulaşmaktadır. Avrupa ve Anadolu yakasının iç kesimlerinde ise COSMO-TERRA 50 -70 mm COSMO-CLM'e göre daha ıslaktır. Avrupa'nın iç kesimlerinde bulutluluk miktarının COSMO-TERRA modelinde COSMO-CLM'e göre daha az olması, gün içerisinde gelen güneş ışınlarını daha yoğun olarak bu bölgede sıcaklığı da daha fazla simüle etmesine sebep olmaktadır.

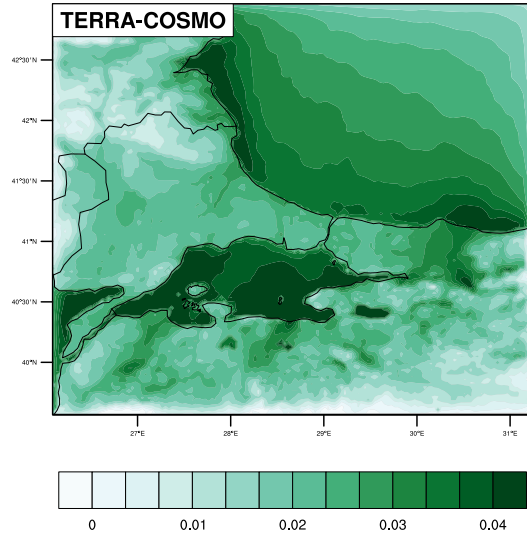
### a) Sıcaklık



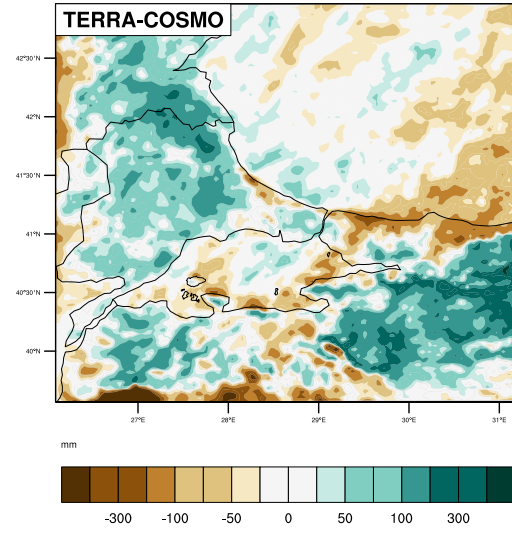
### b) Bulutluluk



### c) Nem



### d) Yağış



**Şekil 3.5:** COSMO-TERRA ve COSMO-CLM 2008-2009 a) sıcaklık, b)bulutluluk, c)nem, d)yağış ortalamalarının alansal farkları.

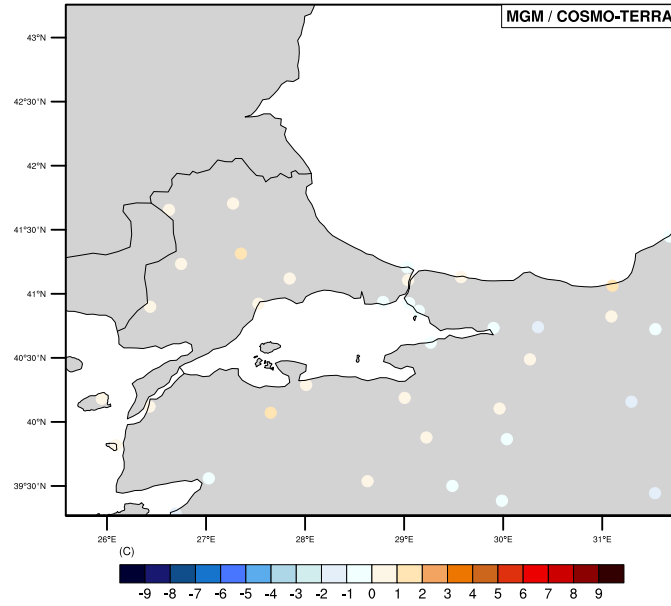
### 3.3 COSMO-TERRA ve COSMO-CLM Model Sonuçlarının Gözlem Verileri İle Karşılaştırılması

Şekil 3.6, COSMO-TERRA ve COSMO-CLM sıcaklık sonuçlarının çalışma alanı içinde MGM gözlem verileri ile oluşturulan yanlışlıklarını göstermektedir. COSMO-TERRA yanlışlık sonuçlarında Avrupa ve Anadolu yakasının güneyinde 1°C negatif yanlışlık oluşurken, COSMO-CLM 2°C negatif yanlışlık değerlerine kadar çıkmaktadır. İstanbul'un kuzey iç kesimlerinde COSMO-TERRA 1°C pozitif

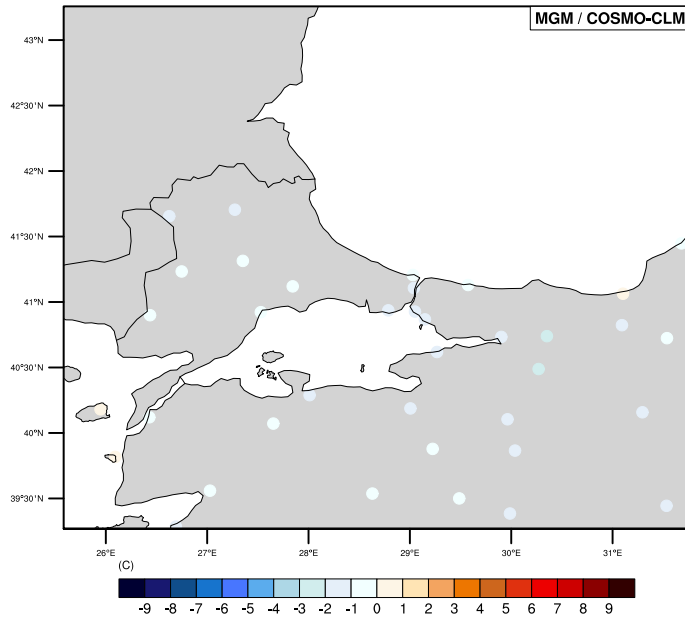
yanlılık gösterir fakat COSMO-CLM bu bölgede de  $-1^{\circ}\text{C}$  negatif yanlılık değerlerine sahiptir.

### Sıcaklık

a)



b)

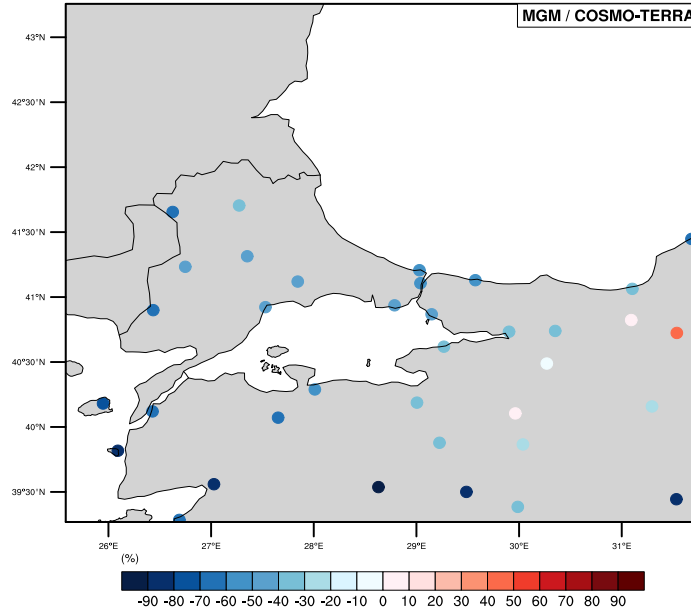


Şekil 3.6: a) COSMO-TERRA ve b) COSMO-CLM sıcaklık sonuçlarının MGM sıcaklık verilerine göre yanlılıkları

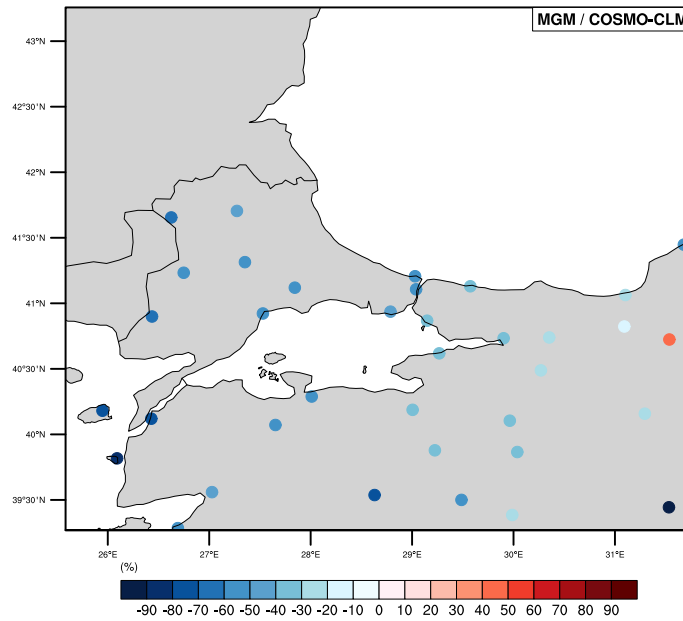
Şekil 3.7’de COSMO-TERRA ve COSMO-CLM modellerinin İstanbul üzerinde yaklaşık % 30 negatif yanlılık gösterdiğini görmekteyiz.

## Yağış

a)



b)



Şekil 3.7: a) COSMO-TERRA ve b) COSMO-CLM yağış sonuçlarının MGM yağış verilerine göre istasyonların bulunduğu noktadaki yanlılıkları.

### 3.4 COSMO-CLM ve COSMO-TERRA Sonuçlarının Kırsal ve Şehir Alanlarındaki Günlük Döngü karşılaştırmaları ve Şehir Isı Adası

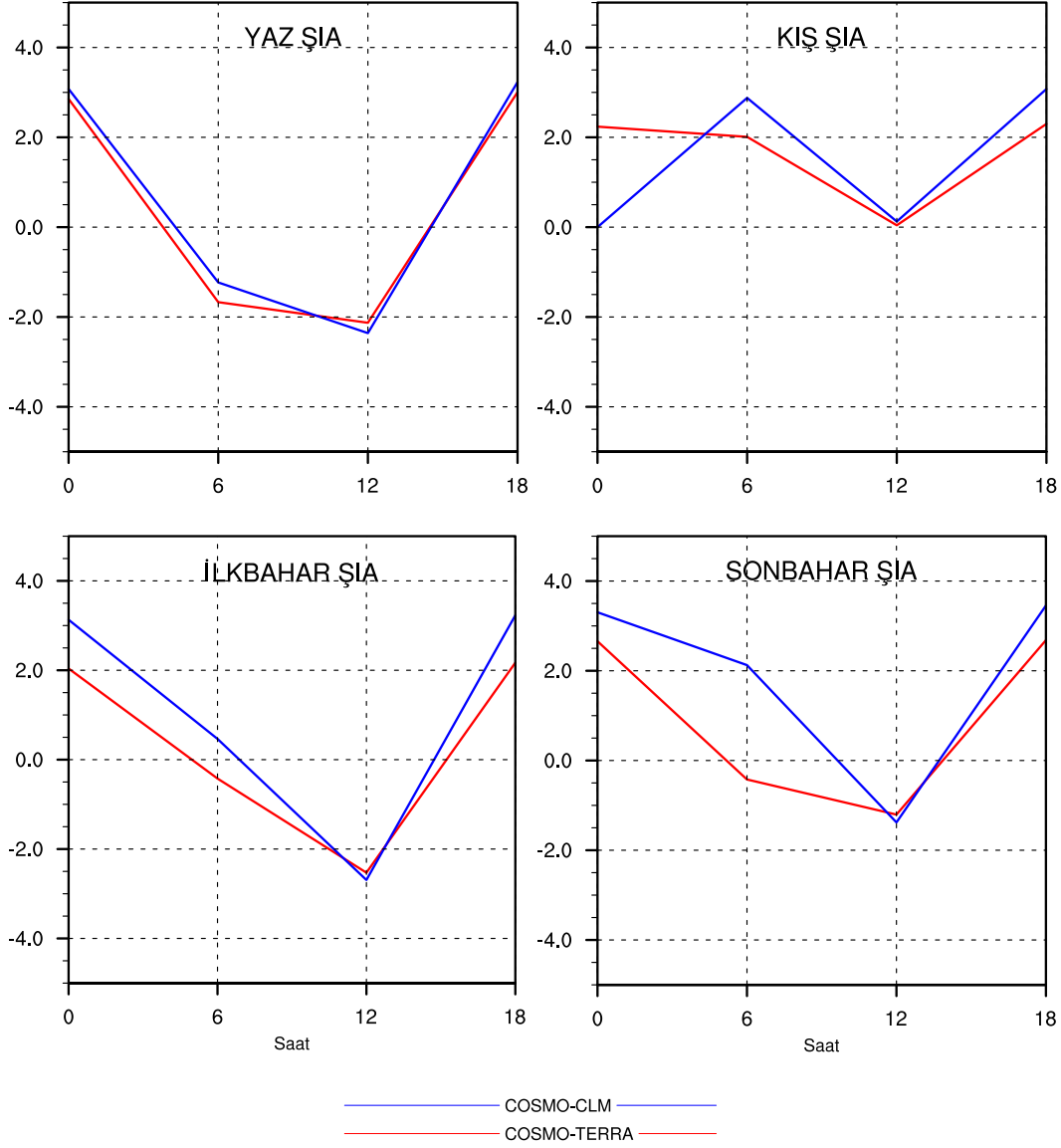
Modellerin şehir ve kırsal alan üzerindeki sonuçlarının karşılaştırılması için Şile ve Kartal istasyonu seçilmiştir.

#### 3.4.1 Sıcaklık

Şekil 3.8’de şehir ısı adası şiddetinin 6 (GMT) saatlik grafikleri oluşturulmuştur. Yaz aylarında COSMO-TERRA ve COSMO-CLM modellerinin her ikisinde de ŞIA değeri öğle saati 12.00’da negatiftir, yani kırsal alanların 12.00’da ortalama sıcaklıkları şehir alanlarının ortalama sıcaklıklarından daha fazladır. Fakat gelen kısa dalga güneş ışınlarını soğuran kent yapıları gece güneşin etkisini kaybetmesiyle bu ısıyı yayınlamaktadırlar ve bu sebeple 18.00 saatindeki ŞIA değerleri artmaktadır ve durum tersine dönmektedir. Yaz mevsiminde, COSMO-CLM simülasyonlarından elde edilen ŞIA değeri 3.22 °C iken, COSMO-TERRA simülasyonlarının ŞIA miktarı 3.0 °C’dir. Ünal vd. (2019), 1960-2012 yılları arasında İstanbul’da kent ve kır alanlarındaki gece /gündüz ŞIA yoğunluğunu maksimum ve minimum sıcaklıklar kullanarak değerlendirmişlerdir. Şehir alanlarında, gündüz maksimum ŞIA yaz aylarında gözlenirken, sonbahar başlangıcı ile etkisi azalmaktadır. Gece ŞIA etkisi ise gündüz ŞIA değişiminden biraz farklıdır, bahar ayında yükselişe geçer ve Mayıs ayından Haziran ayına doğru maksimum seviyeye ulaşır (1.4-2.6°C). En büyük ŞIA yoğunluğu Kartal’da gözlenir ve bu durumu Göztepe, Florya takip eder. En az ŞIA yoğunluğu ise Şile’de gözlenmiştir. Bu çalışmaya paralel olarak kışın, saat 18.00’da COSMO-CLM 3.07 °C, COSMO-TERRA ise 2.29 °C olmak üzere en yoğun ŞIA değerine sahiptir ve Ünal vd. (2019) yapmış olduğu çalışmada olduğu gibi gündüz yaz mevsimi ŞIA değeri, kış mevsimi ŞIA değerinden fazladır. Kışın saat 00.00’da COSMO-TERRA ŞIA 2.23 °C iken, COSMO-CLM ŞIA değeri 0 °C’dir. İlkbaharda 00.00 ve 18.00 saatlerinde ŞIA etkisi her iki model sonuçlarında da gözlenmektedir ve saat 00.00’da COSMO-CLM ŞIA 3.12 °C ve COSMO-TERRA ŞIA 2.03 °C’dir. İlkbaharda, 06:00 ve 12:00 saatlerinde diğer mevsimlerde de olduğu gibi ŞIA değeri iki model sonucunda da 0 °C ‘nin altına düşmektedir. Sonbahar mevsiminde COSMO-TERRA ŞIA 2.65 °C COSMO-CLM ŞIA 3.30 °C’dir. Sonbaharda saat 06:00’da COSMO-TERRA ŞIA -0.42 °C’dir, fakat COSMO-CLM ŞIA 2.12 °C’dir. Yani 06:00 saatinde COSMO-TERRA ŞIA etkisine sahip değildir fakat COSMO-

CLM bu etkiyi göstermektedir. ŞIA etkisine genel olarak bakıldığında COSMO-TERRA maksimum ŞIA yaz mevsiminde 18:00'da, COSMO-CLM maksimum ŞIA sonbahar mevsiminde 18:00'da oluşmaktadır.

### Sıcaklık (°C)

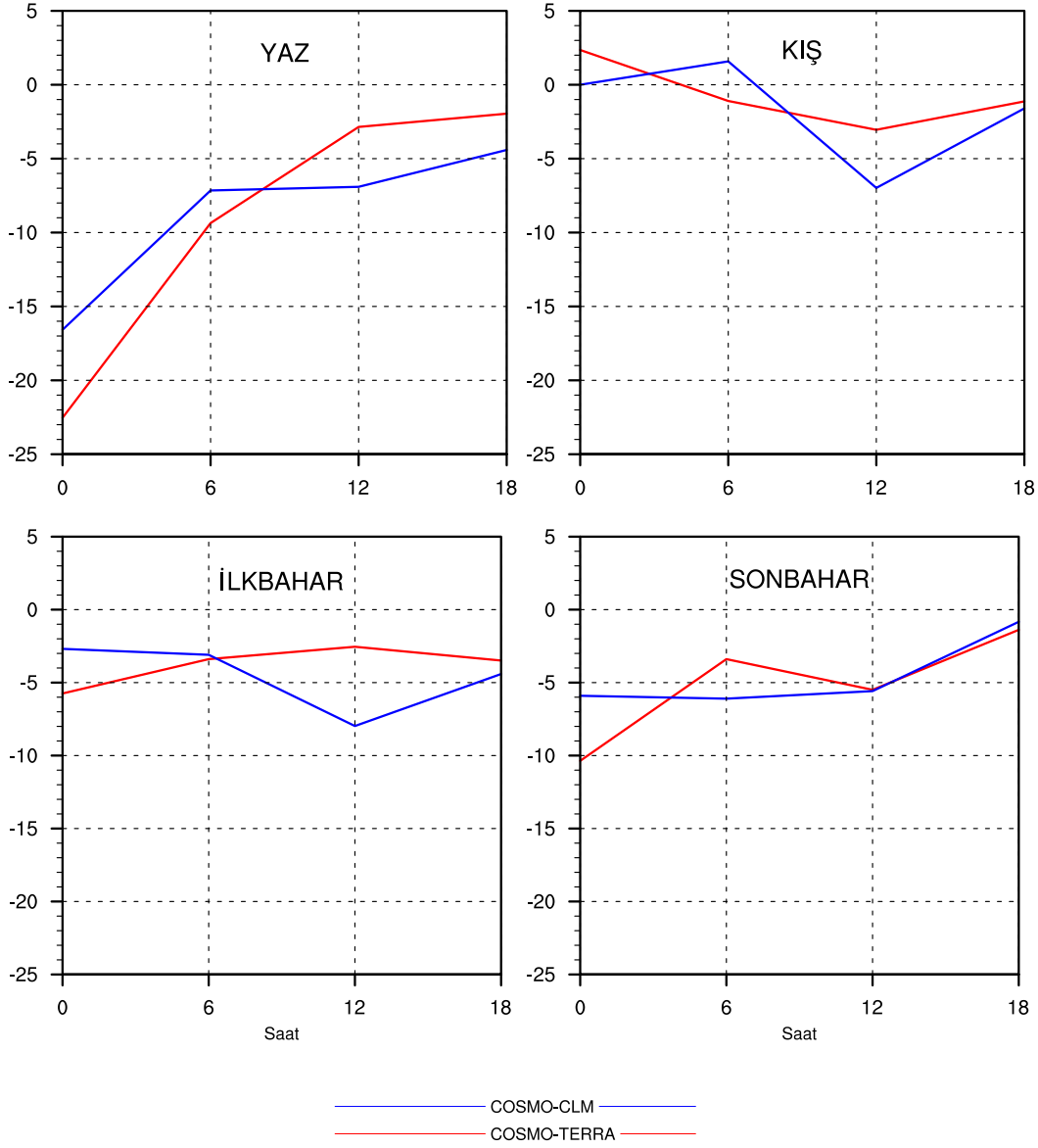


Şekil 3.8: COSMO-TERRA ve COSMO-CLM günlük ŞIA

### 3.4.2 Bulutluluk

COSMO-TERRA modelinde yaz mevsiminde gece 00:00'da kentsel bölgelerde bulutluluk kırsal bölgelere göre %22.5 azdır ve 06.00'da bu oran %9.3'e inerek 12.00'da %2.8'e ulaşır, COSMO-CLM'de ise %16.5'ten %7.1'e düşerek 12.00'da %6.9 olur (Şekil 3.9). COSMO-TERRA'nın kış mevsimindeki bulutluluk değeri %2.35'tir fakat 00.00 12:00 ve 18:00 saatlerinde kentsel bölgelerdeki ortalama bulutluluk kırsal bölgelerdeki ortalama bulutluluk oranından daha azdır ve sırasıyla bu oranlar -1.09, -3.04 ve -1.21'dir. İlkbahar ve sonbahar mevsimlerinde tüm saatlerde kent alanlarındaki COSMO-TERRA ve COSMO-CLM bulutluluk oranları kırsal alanlardakine göre daha azdır. Her iki modelde, kent bölgelerindeki ortalama bulutluluğun kırsal bölgelerin ortalamasına göre daha az olduğu mevsim yaz mevsimi ve saat 00.00'dır. Bu durumda COSMO-TERRA modelinin en yüksek ŞIA sıcaklıklarına yaz mevsiminde erişmesinin nedeni bu mevsimdeki bulutluluk oranı olabilir Şekil 3.9'da görüldüğü üzere, yazın kent alanındaki bulutluluk oranı kırsal alandaki bulutluluk oranına göre güneş ışınlarının geldiği sabah ve öğle saatlerinde çok azdır ve gece bulutluluk farkı azalmaya başlar.

### Bulutluluk (%)

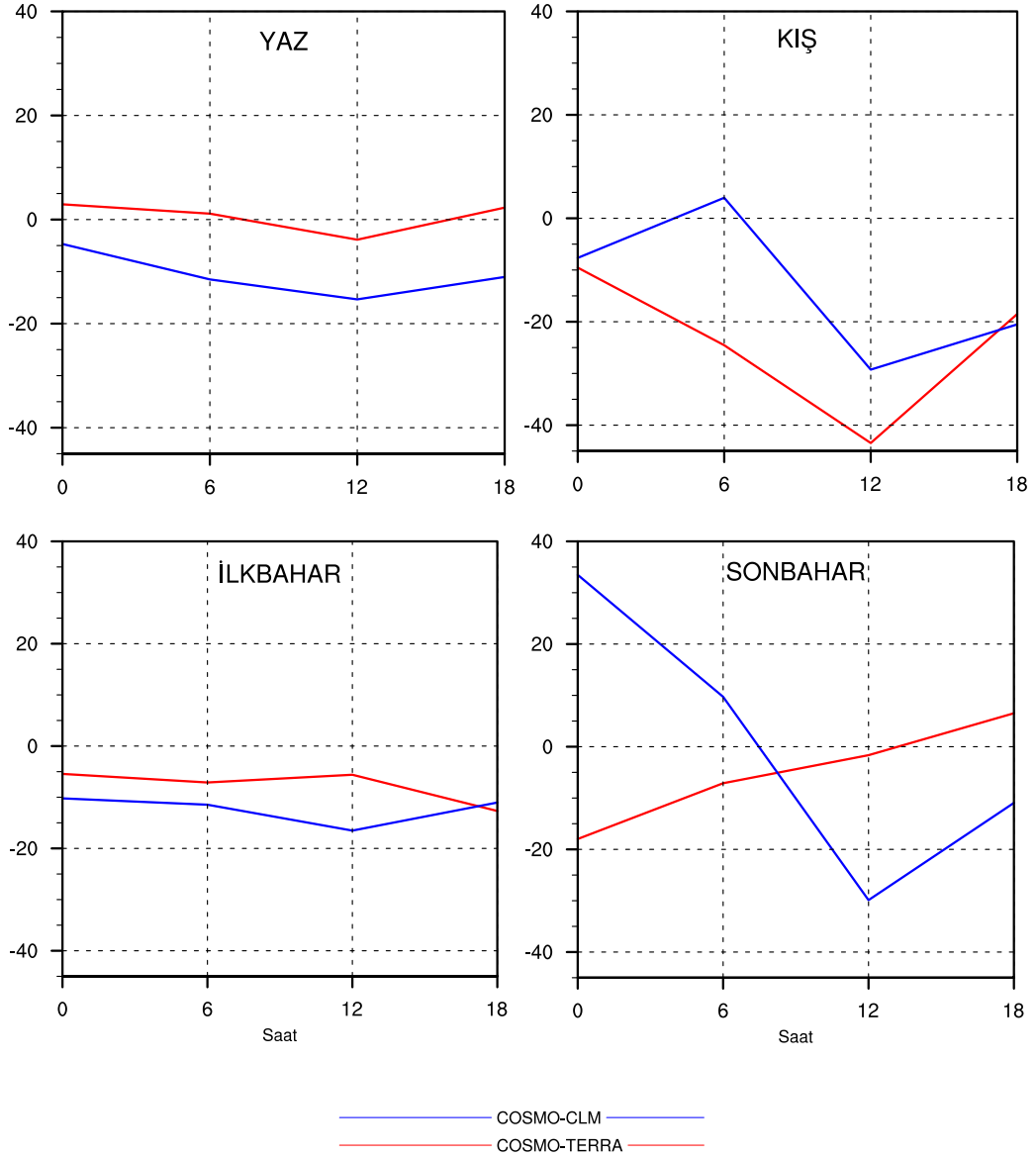


**Şekil 3.9:** COSMO-TERRA ve COSMO-CLM kırsal ve kentsel alanlardaki günlük ortalama bulutluluk farkları

### 3.4.3 Yağış

Şekil 3.10'da COSMO-TERRA ve COSMO-CLM modellerinden elden edilen kentsel alanların ortalama yağışlarının kırsal alanların ortalama yağışlarından farkı günlük ve mevsimlik olarak gösterilmiştir.

## Yağış (mm)

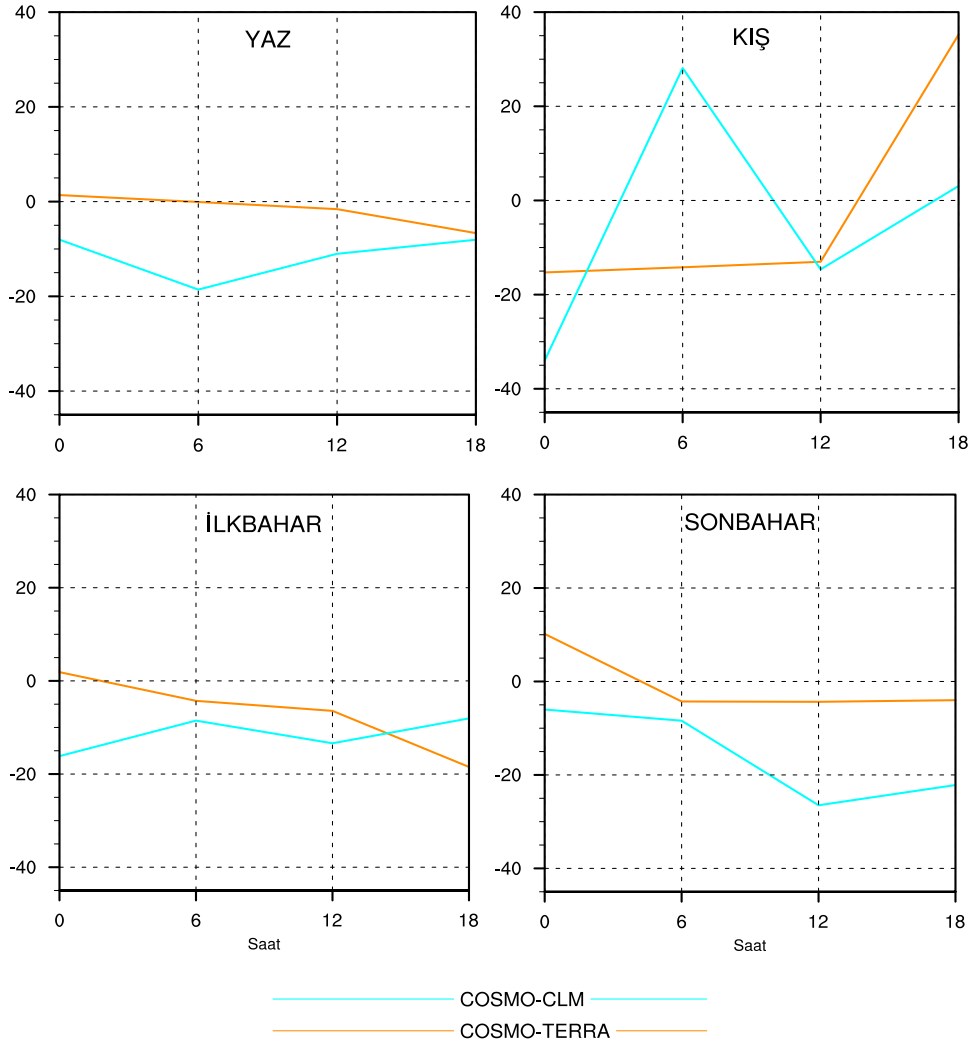


**Şekil 3.10:** COSMO-TERRA ve COSMO-CLM kırsal ve kentsel alanlardaki günlük ortalama yağış farkları

Yaz mevsiminde, COSMO-TERRA 12:00 saatleri ortalama toplam yağış miktarı kentsel bölgelerde kırsal bölgelere göre 3.86 mm daha azdır. COSMO-TERRA ile karşılaştırdığımızda, COSMO-CLM modeli yaz mevsiminde kent bölgesini kırsal bölgelere göre daha kurak simüle etmiştir. COSMO-TERRA modelinde alt tabakanın atmosferle temas halindeki yüzeyinin, yüzey alan indeksi (YAI) faktörü ile büyütüldüğü ve bu maddenin orjinal tabakanın düşey sıcaklık profilini koruduğu dikkate alınır. Bu durumda TERRA-URB şeması, şehirleşmenin düşeydeki

hareketleri güçlendirmesiyle yaz mevsiminde artan yağışı COSMO-CLM sonuçlarına göre daha etkili yakalamıştır. Kış mevsiminde saat 06:00'da COSMO-TERRA modelinde 24.5 mm daha az yağış elde edilirken, COSMO-CLM modelinde kentsel alanlarda 3.96 mm daha fazla yağış üretilmiştir. Güneş ışınımlarının maksimum olduğu öğlen saatlerinde 12:00'da COSMO-TERRA'nın şehir alanlarındaki yağış miktarı (43.4 mm) daha da azalmıştır. İlkbahar mevsiminde COSMO-TERRA ve COSMO-CLM sonuçlarına göre kent alanları kırsal alanlardan daha kuraktır. Kış ve ilkbahar aylarında iki model de kent alanlarında kırsal alanlara göre daha az yağış üretmiştir. Fakat sonbaharda 00.00'da kent ve kırsal bölgelerin yağışlarının farkı, COSMO-TERRA için 17.9 mm, COSMO-CLM için 33.47 mm'dir. Şehirleşmenin yağışlarda oluşturduğu rüzgar altı etkisini daha iyi görebilmek için Kartal istasyonuna ek olarak Beşiktaş istasyonu da Şekil 3.11'de değerlendirildi. Yaz mevsiminde, COSMO-TERRA modelinde 12:00'a doğru kent alanlarındaki yağış azalmaktayken COSMO-CLM modelinde artmaktadır. İlkbahar mevsiminde COSMO-TERRA farkı 12:00'dan sonra artırıp 18:00'da 20 mm'ye çıkarır. COSMO-CLM ise ilkbaharda 12:00'dan sonra kent alanlarını daha ıslak tahmin ederek farkı 8.2 mm'ye düşürür. Özellikle kış mevsiminde 12:00'dan sonra şehir alanlarının kırsal alanlardan yağışlı tahmin edildiği her iki modelde de ortaya konulmuştur. COSMO-TERRA modeli 18:00'da kış mevsiminde farkı 36.2 mm'ye ulaştırırken, COSMO-CLM modelinde fark 3.5 mm'ye çıkmıştır. Sonbahar mevsiminde ise, COSMO-CLM 12:00'dan sonra kent alanlarındaki yağışı fazla tahmin etmeye başlamış ve farkı azaltmıştır (22.5 mm).

## Yağış (mm)



**Şekil 3.11:** COSMO-TERRA ve COSMO-CLM kırsal ve kentsel alanlardaki günlük ortalama yağış farkları ( Beşiktaş- Şile)



#### 4. SONUÇ VE ÖNERİLER

0.0275° (2.8 km) çözünürlükte COSMO-CLM ve COSMO-TERRA modelleri simülasyon sonuçları ile şehirleşmenin farklı parametrelere olan etkisi İstanbul üzerinde değerlendirildi. Bu aşamada, MGM ve AKOM verileri ile İstanbul'un uzun dönem iklimi ortaya konuldu. İki aşırı iklim yılı olan 2008 ve 2009 yılları, Türkiye Meteoroloji Genel Müdürlüğü'nün yıllık toplam yağış verilerine göre son 10 yıla göre seçildi. Modeller, 1 Ağustos 2007 - 31 Aralık 2009 tarihleri arasında yaklaşık iki buçuk yıl boyunca sürekli olarak entegre edildi ve ilk beş ay, toparlanma süresi olarak kullanıldı. Daha kesin sonuçlar için MGM verileri ile yanlılık testleri yapıldı. Model performansları kurak yıl (2008) ve ıslak yıl (2009) için değerlendirildi. Kartal ve Şile, sırasıyla kent ve kır alanlarını temsil ettiğinden dolayı bu bölgedeki değerler üzerinden şehir ısı adası yorumları yapılmıştır ve 6 saatlik farklar sunulmuştur. COSMO-TERRA ve COSMO-CLM modellerinin alansal farklarına bakıldığında, COSMO-TERRA neredeyse tüm çalışma alanı içerisinde, COSMO-CLM'den daha sıcak sonuçlar çıkarmıştır. Alansal bulutluluk farkında, şehirleşmenin yoğun olduğu iç kesimlerde COSMO-TERRA bulutluluk, COSMO-CLM bulutluk oranından daha azdır. Tam aksine yine bu bölgede, COSMO-TERRA yağış miktarı COSMO-CLM yağış miktarından yaklaşık 100 mm daha fazladır. Anadolu yakasının kuzeyinde kentleşmenin az olduğu bölgede ise COSMO-TERRA, COSMO-CLM modelinden 150 mm daha azdır. Bu durumda COSMO-TERRA modeli için şehirleşmenin arttığı bölgelerde daha yağışlı sonuçlar oluşturuyor sonucuna varılmaktadır. Bunun sebebi düşeydeki akışı ve yüzey alan indeksinin TERRA şeması içine dahil edilmiş olmasıdır. Son olarak nem alansal farkında, COSMO-TERRA çalışma alanı içerisinde özellikle İstanbul üzerinde COSMO-CLM'e göre daha nemlidir. Sıcaklık yanlılık hesaplarında iç bölgelerde, COSMO-TERRA MGM verilerine göre yaklaşık 1.5°C daha sıcak sonuçlar verirken, COSMO-CLM 2°C daha soğuktur. COSMO-TERRA çalışma alanının kuzeyinde ve Edirne üzerinde 2°C değere kadar ulaşan pozitif yanlılıklar oluşturmuştur. Yağışlarda ise, COSMO-CLM tüm çalışma alanı içerisinde düşük yağış oluşturarak negatif yanlılığa sahip olmuştur. COSMO-CLM İstanbul üzerinde model sonuçlarına göre ortalama %30 daha az yağış üretmiştir.

COSMO-TERRA ise Bursa, Bolu üzerinde %20 pozitif yanlılık oluşturur fakat diğer bölgelerde negatif yanlılıklara sahiptir.

Şehir ısı adası etkileri 6 saatlik mevsimlik ortalamalar olarak incelendiğinde, COSMO-TERRA maksimum ŞIA etkisinin yaz mevsiminde 18:00'da, COSMO-CLM maksimum ŞIA etkisini ise sonbahar mevsiminde 18:00'da oluşturduğunu gösterir. Öğlen gelen güneş enerjisinin maksimum olması, gelen güneş enerjisini gece yayınlayan şehir yapıları yaz mevsiminde gece ŞIA yoğunluğunun maksimum olmasına sebep olmaktadır. Bundan dolayı TERRA-URB şemasının şehir ısı adası etkisini daha duyarlı ve hassas değerlendirdiği ortaya konulmuştur. COSMO-CLM kent alanlarını sahip olduğu yüzeylere ait özelliklerine göre ayırt edemediği gibi kent alanlarını çevresindeki doğal alanlara benzeyen su geçirgen toprak olarak algılamaktadır. Fakat TERRA-URB şeması ile kinematik akışı belirleyen termal pürüzlülük uzunlukları dikkate alınmaktadır. Bu durumda ŞIA sonuçlarının da gösterdiği üzere, COSMO TERRA-URB şehirlerdeki ısı akışını COSMO-CLM 'e göre daha detaylı sonuçlandırmaktadır. COSMO-TERRA gece 00:00'da kentsel bölgelerdeki bulutluluk kırsal bölgelerdeki bulutluluğa göre %22.5 azdır ve 06.00'da bu oran %9.3'e inerek 12:00'da %2.8'e ulaşır. COSMO-CLM'de ise bu oranlar %16.5'ten %7.1'e düşerek 12:00'da %6.9 olur. COSMO-TERRA modelinin yazın kent alanlarındaki bulutluluk oranının kırsal alanlara göre daha az olması TERRA-URB modelinin ŞIA etkisinin COSMO-CLM'e göre yazın daha yoğun olmasına sebep olmaktadır. Şehirleşmenin artışının yağış üzerine olan etkisine baktığımızda, kış mevsiminde ve ilkbahar mevsiminde kent alanları kırsal alanlara göre daha kurudur ve bu her iki model sonucunda da ortaya çıkmıştır. Yaz mevsiminde kent alanları ile kırsal alanların yağışları farkı COSMO-TERRA modelinde COSMO-CLM modeli sonuçlarına göre daha azdır. Yazın daha az bulutluluk oluşturan TERRA-URB şeması, kent alanlarındaki yağışta az da olsa COSMO-CLM'e göre artış sağlamıştır. Sonbahar mevsiminde 00:00'da COSMO-CLM, kent alanlarındaki yağışı aşırı (33.47 mm) tahmin etmiştir.

COSMO-CLM modelinde, kentsel arazilerin temsili etrafındaki doğal alanlardan aerodinamik ve termal olarak ayırt edilebilemeyecek şekilde ele alınmaktadır. Fakat TERRA-URB modelinde SURY kentsel pürüzlülük ve termal farklılıkları yüzey alan indeksine göre düzenlemektedir. Bu durum COSMO TERRA-URB modelinin kentsel fiziği ve kent ısı adası temsiliyetini daha hassas ele almasını sağlamaktadır.

## KAYNAKLAR

- Arnfield, A. J.** (2003). Two Decades of Urban Climate Research: A Review of Turbulence, Exchanges of Energy and Water, and the Urban Heat Island. *Int. J. Climatol.* 23: 1–26. Doi: 10.1002/joc.859
- Beck, H. E., Albert, I. J. M., Levizzani, V., Schellekens, J., Miraller, D. G., Martens, B., and Roo, A.** (2017). *Hydrology and Earth System Science*, 21, 589–615.
- Chen, F., Kusaka, H., Bornstein, R., Ching, J., Grimmond, C. S. B., Grossman-Clarke, S., Loridan, T., Manning, K. W., Martilli, A., Miao, S., Sailor, D., Salamanca, F. P., Taha, H., Tewari, M., Wang, X., Wyszogrodzki, A. A., and Zhang, C.** (2011). The integrated WRF/urban modelling system: development, evaluation, and applications to urban environmental problems. *International Journal of Climatology*, 31; 273-288. doi: 10.1002/joc.2158.
- Dee, D. P., Uppala, S. M., Simmons, A. J., Berrisford, P., Poli, P., Kobayashi, S., Andrae, U., Balmaseda, M. A., Balsamo, G., Bauer, P., Bechtold, P., Beljaars, A. C. M., Van de Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Delsol, C., Dragani, R., Fuentes, M., Geer, A. J., Haimberger, L., Healy, S. B., Hersbach, H., Hólm, E. V., Isaksen, I., Kållberg, P., Köhler, M., Matricardi, M., McNally, A. P., Monge-Sanz, B. M., Morcrette, J. –J., Park, B. –K., Peubey, C., de Rosnay, P., Tavolato, C., Thépaut, J. –N., and Vitart, F.** (2011). The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system. *Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society*, 137; 553-597.
- Demuzere, M., K. De Ridder, N.P.M. van Lipzig.** (2008). Modeling the energy balance in Marseille: Sensitivity to roughness length parameterizations and thermal admittance – *J. Geophys. Res.* 113, D16120.
- Ek, M. B., Mitchell, K. E., Lin, Y., Rogers, E., Grunmann, P., Koren, V., Gayno, and Tarpley, J. D.** (2003). Implementation of Noah land surface model advances in the National Centers for Environmental Prediction operational mesoscale Eta model. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 108, No D22, 8851. doi:10.1029/2002JD003296.
- Flanner, M.G.** (2009). Integrating anthropogenic heat flux with global climate models - *Geophys. Res. Lett.* 36, L02801.
- Gal-Chen, T., and Sommerville, C.** (1975). On the use of a coordinate transformation for the solution of the navier-stokes equations. *Journal of Computational Physics*, 94, 1-29.

- Grimmond, S.** (2007). Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming. *Geographical Journal*, 173(1), 83 - 88.
- İlhan, A.** (2018). *Sensitivity Analysis of Regional Climate Model COSMO-CLM Over Turkey* (Master thesis). Istanbul Technical University, Graduate School of Science, Istanbul.
- Kusaka, H., Takane, Y., Furuhashi, N., Nawata, K., Suzuki-Parker, A.** (2013). Mechanism of Precipitation Increase with Urbanization in Tokyo as Revealed by Ensemble Climate Simulations. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*. 53: 824-839. doi: 10.1175/JAMC-D-13-065.1.
- Landsberg, H.E.** (1981). *The Urban Climate*. New York, Academic Press.
- Liao, J., Wang, T., Jiang, Z., Zhuang, Bingliang., Xie, Min., Yin, C., Wang, X., Zhu, J., Fu, Y., Zhang, Y.** (2015). WRF/Chem modelling of the impacts of urban expansion on regional climate and air pollutants in Yangtze River Delta, China. *Atmospheric Environment*, 106. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.01.059.
- Morini, E., Touchaei, A., Castellani, B., Anderini, E., Rossi, F., Cotana, F.** (2016, April). The effect of albedo increase to mitigate urban heat island in Terni (Italy) using WRF meteorological model. 16<sup>th</sup> CIRIAF National Congress. Italy.
- Nunez, M., Oke, T. R.** (1977). The Energy Balance of an Urban Canyon. *Journal of Applied Meteorology*, 16(1):11-19. doi: 10.1175/1520-0450.
- Oke, T.R.** (1981). Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, 1(3): 237-254.
- Oke, T.R.** (1997). Urban climates and global change. In: Perry, A.; Thompson, R. (eds) *Applied Climatology: Principles and Practice*. London: Routledge: 273–287.
- Oliveros, J.M., Vallar, E.A., Galvez, M.C.D.** (2018). Investigating the Effect of Urbanization on Weather Using the Weather Research and Forecasting (WRF) Model: A Case of Metro Manila, Philippines. *Environments*, 6. doi:10.3390/environments6020010.
- Rockel, rB., Will, A., Hense, A.** (2008). The regional climate model COSMO-CLM(CCLM). *Meteorologische Zeitschrift*, 17: 347-348. doi: 10.1127/0941-2948/2008/0309.
- Sarkar, A., De Ridder, K.** (2011). The Urban Heat Island Intensity of Paris: A Case Study Based on a Simple Urban Surface Parametrization. *Boundary Layer Meteorology*, 38(3):511-520. doi: 10.1007/s10546-010-9568-y.
- Schär, C., Leuenberger, D., Fuhrer, O., Lüthi, D., and Girard, C.** (2002). A new terrain following vertical coordinate formulation for atmospheric prediction models. *Monthly Weather Review*, 130-2459-2480.

- Schneider, A., Friedl, M. A., and Potere, D.** (2009). A new map of global urban extent from MODIS satellite data. *Environmental Research Letters*. doi:10.1088/1748-9326/4/4/044003.
- Sertel, E., Robock, A., Örmeci, C.** (2010). Impacts of land cover data quality on regional climate simulations. *International Journal of Climatology*, 30: 1942-1953. doi: 10.1002/joc.2036.
- Smiatek, G., Rockel, B., and Schattler, U.** (2008). Time invariant data preprocessor for the climate version of the COSMO model (COSMO-CLM), *Meteorologische Zeitschrift*, 17: 395–405.
- Sun, C.Y.** (2011). A street thermal environment study in summer by the mobile transect technique. *Theor. Appl. Climatol.* 106: 433–442.
- Theeuwes NE, Solcerova A, Steeneveld GJ.** (2013). Modeling the influence of open water surfaces on the summertime temperature and thermal comfort in the city. *JGR Atmospheres*, 118:8881-8896.
- Tiedtke, M.** (1989). A comprehensive mass flux scheme for cumulus parameterization in large scale models. *Monthly Weather Review*, 111, 1779-1800.
- Trusilova, K., Schubert, S., Wouters, H., Früh, B., Grossman-Clarke, S., Demuzere, M., and Becker, P.** (2015). The urban land use in the COSMO-CLM model: a comparison of three parameterizations for Berlin, doi: 10.1127/metz/2015/0587.
- Ünal, Y., İncecik, S., Topcu, Menteş, Ş. S., Güney, C., Doğru, A. Ö., Sonuç, C. Y., Üstün, D. H. D., Bilgen, S. İ., Temizöz, H. P.** (2018). *Farklı Nüfus, Şehir Yapısı, Arazi Kullanımı Sınıflaması ve İklim Karakteristiklerine Sahip 3 Şehrin (Kahire, Nairobi ve İstanbul) Lokal İklim Değişimi ve Bu Şehirlerdeki Lokal İklim Değişimine Karşı Farklı Adaptasyon Stratejilerinin Karşılaştırılması*, 1001-ERANET ERAfrica.
- Ünal, Y., Sonuç, C. Y., İncecik, S., Topcu, H. S., Üstün, D. H. D., Temizöz, H. P.** (2019). Investigation urban heat island intensity in İstanbul. *Istanbul Technical University Faculty of Aeronautics and Astronautics*.
- Varentsov, M., Konstantinov, Pavel., Baklanov, A., Esau, I., Miles, V., and Davy, R.** (2018). *Atmospheric Chemistry and Physics*, EGU.
- Wouters, H., Demuzere, M., Blahak, U., Fortuniak, K., Maiheu, B., Camps, J., Tielemans, D., and Lipzig, N.** (2016). Efficient urban canopy parametrization for atmospheric modelling: description and application with the COSMO-CLM model (version5.0\_clm6) for a Belgian Summer. *Geoscientific Model Development*, doi:10.5194/gmd-2016-58.

**Wouters, H., Varentsov, M., Blahak, U., Schulz, J., Schättler, U., Bucchignani, E., Demuzere, M.** (2017). *User guide for TERRA\_URB v2.2: The urban-canopy land-surface scheme of the COSMO model.*



## ÖZGEÇMİŞ

**Adı Soyadı** : Huriye Perim Temizöz

**Doğum yeri ve tarihi** : Sivas, 19.06.1992

**E-Mail** : temizozh@itu.edu.tr

### EĞİTİM :

- **Lisans** : İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Uçak ve Uzay Bilimleri Fakültesi Meteoroloji Mühendisliği (2011-2016)
- **M. Sc.** : İstanbul Teknik Üniversitesi (İTÜ), Fen Bilimleri Enstitüsü Atmosfer Bilimleri Bölümü (2016- )

### DENEYİMLER :

- ERAfrica TUBİTAK PROJESİ / Farklı Nüfus, Şehir Yapısı, Arazi Kullanımı Sınıflaması ve İklim Karakteristiklerine Sahip 3 Şehrin (Kahire, Nairobi ve İstanbul) Lokal İklim Değişimi ve Bu Şehirlerdeki Lokal İklim Değişimine Karşı Farklı Adaptasyon Stratejilerinin Karşılaştırılması (İstanbul, 2016-2018)
- Sancak Enerji, Rüzgar Enerji Analizi ve Enerji Piyasaları (İstanbul, 2018-2019)

