

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ



**MOBİL ÖLÇÜMLER KULLANILARAK, FİZYOLOJİK EŞDEĞER
SICAKLIKLARIN (FES) KENTSEL MORFOLOJİ İLE İLİŞKİLERİNİN
İNCELENMESİ: AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ**

Mustafa KALAYCI

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MAYIS 2024

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**MOBİL ÖLÇÜMLER KULLANILARAK, FİZYOLOJİK EŞDEĞER
SICAKLIKLARIN (FES) KENTSEL MORFOLOJİ İLE İLİŞKİLERİNİN
İNCELENMESİ: AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ**

Mustafa KALAYCI

**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ**

MAYIS 2024

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**MOBİL ÖLÇÜMLER KULLANILARAK, FİZYOLOJİK EŞDEĞER
SICAKLIKLARIN (FES) KENTSEL MORFOLOJİ İLE İLİŞKİLERİNİN
İNCELENMESİ: AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ**

Mustafa KALAYCI
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Bu tez Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon birimi
tarafından FYL-2023-6112/ 6112 nolu proje ile desteklenmiştir.**

MAYIS 2024

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MOBİL ÖLÇÜMLER KULLANILARAK, FİZYOLOJİK EŞDEĞER
SICAKLIKLARIN (FES) KENTSEL MORFOLOJİ İLE İLİŞKİLERİNİN
İNCELENMESİ: AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ

Mustafa KALAYCI
UZAY BİLİMLERİ VE TEKNOLOJİLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 22/05/2024 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Doç. Dr. Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK (Danışman)
Doç. Dr. Serdar SELİM
Dr. Öğretim Üyesi Sinan DEMİR

ÖZET

MOBİL ÖLÇÜMLER KULLANILARAK, FİZYOLOJİK EŞDEĞER SICAKLIKLARIN (FES) KENTSEL MORFOLOJİ İLE İLİŞKİLERİNİN İNCELENMESİ: AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ KAMPÜSÜ ÖRNEĞİ

Mustafa KALAYCI

Yüksek Lisans Tezi, Uzun Bilimleri ve Teknolojileri Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK

Mayıs 2024; 73 sayfa

İklim değişiminin artan etkileri özellikle kentsel alanlarda daha fazla hissedilmekte, buna bağlı olarak da yaşayanlar üzerindeki fiziksel, sosyal ve psikolojik etkiler giderek artmaktadır. Yapılan bilimsel araştırmalar incelendiğinde, konunun planlamadan, halk sağlığı, çevresel etki, sosyal etki, ekonomiye kadar birçok açıdan ele alındığı; önemsenmesi, dikkate alınması ve hazırlık yapılması konusunda vurguların giderek arttığı görülmektedir. Makro ölçekte meydana gelen iklim değişimi, kentsel alanın antropojenik etkilerine bağlı olarak daha fazla hissedilmektedir. Dolayısıyla, bu etkilerin minimize edilmesi, kentin iklim değişimi karşısındaki direncinin artmasına da olanak tanımaktadır. Küresel iklim değişiminin, kentsel alanda yarattığı ve ölümcül sonuçlar doğurabilen en önemli etkisi artan sıcak hava dalgalarıdır. Bilindiği gibi kentsel alanlar, antropojenik etkilere bağlı olarak kırsal alanlara göre daha fazla ısınmaktadır ve sıcak hava dalgalarında daha da artan sıcaklıklar ölümcül sonuçlar doğurabilmektedir. Bu noktada kentsel alanların iklim direncinin artırılması, iklim konforunun yönetilmesi büyük önem taşımaktadır.

Kentsel alanın iklimsel konforunun sağlanabilmesi, kentsel iklimi ölçme-izleme-değerlendirme-planlama aşamalarıyla ele almayı gerekli kılmaktadır. Bu nedenle kentin mezo ölçekten, mikro ölçğe izlenmesi ve değerlendirilmesi gerekmektedir. Kentin iklimsel yapısının ortaya konmasında farklı ölçme teknikleri kullanılmaktadır. Bunlardan başlıcaları meteorolojik istasyonlar ile yersel ölçme, uzaktan algılama ile yüzey sıcaklıklarını ölçme, mobil istasyonlar ile yersel ölçme teknikleridir. Bu veriler üzerinden elde edilecek bulgular üzerinden kentsel alanın iklimsel konfor haritalarının üretilmesi ve bu haritaların kentin morfolojik yapısı ile ilişkilendirilmesi, kentsel alanın iklimsel direncinin artırılmasına yönelik stratejilerin geliştirilmesi için de önemli bir altlık olacaktır.

Yapılan bu tez çalışmasında, bisikletli mobil ölçümler yapılarak Akdeniz üniversitesinin FES (Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık) konfor haritaları elde edilmiş, kampüs alanının morfolojik yapısı ile ilişkilendirilerek, konforu etkileyen faktörler ortaya konulmuştur. Ölçümler kış ve ilkbahar dönemi aralığını içeren 17.02.2024 ile 14.04.2024 tarihleri arasında yapılmıştır. Kampüs alanının morfolojik özelliklerini belirlemek için NDVI (bitki örtüsü indeksi), gökyüzü görünüş faktörü (sky view factor), sokak genişliği, sokak yönü verileri kullanılmış. Bu faktörlerin iklimsel konfor üzerindeki etkilerini

değerlendirebilmek için de hava sıcaklığı, rüzgâr ve nem meteorolojik verileri kullanılmıştır.

Tez çalışması sonucunda elde edilen bulgular, ilkbahar döneminde Akdeniz Üniversitesi Kampüsü'nün iklimsel konforunun ağırlıklı olarak hafif soğuk termal stres ile stressiz ortam arasında değiştiği tespit edilmiştir. Her konfor derecesinin kendi içerisindeki dağılımları analiz edildiğinde, üniversite kampüsünün iklimsel yapısını en fazla etkileyen meteorolojik durumun rüzgâr olduğu; okulun morfolojik yapısı ile iklimsel konfor arasındaki ilişkiler incelendiğinde ise, en fazla etki eden morfolojik özelliğin yol yönleri olduğu tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELER: CBS, FES analizi, İklimsel konfor, Kentsel iklim direnci, Kentsel morfoloji, Mobil meteorolojik istasyon, Uzaktan algılama

JÜRİ: Doç. Dr. Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK

Doç. Dr. Serdar SELİM

Dr. Öğretim Üyesi Sinan DEMİR

ABSTRACT

INVESTIGATING THE RELATIONSHIP BETWEEN PHYSIOLOGICAL EQUIVALENT TEMPERATURE (PET) AND URBAN MORPHOLOGY USING MOBILE MEASUREMENTS: THE CASE OF AKDENİZ UNIVERSITY CAMPUS

Mustafa KALAYCI

MSc Thesis in Space Science and Technology

Supervisor: Doç. Dr. Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK

May 2024; 73 pages

The increasing effects of climate change are felt more especially in urban areas, and accordingly, the physical, social and psychological effects on the inhabitants are gradually increasing. When the scientific researches are analysed, it is seen that the issue is handled in many aspects such as planning, public health, environmental impact, social impact, economy; and the emphasis on importance, consideration and preparation is gradually increasing. Climate change occurring on a macro scale is felt more due to the anthropogenic effects of the urban area. Therefore, minimising these impacts also enables the city to increase its resilience against climate change. The most important effect of global climate change in urban areas, which can have fatal consequences, is increasing heat waves. As it is known, urban areas heat up more than rural areas due to anthropogenic effects, and temperatures that increase even more during heat waves can have fatal consequences. At this point, increasing the climate resilience of urban areas and managing climate comfort is of great importance.

Ensuring the climatic comfort of the urban area makes it necessary to address the urban climate with measurement-monitoring-evaluation-planning stages. For this reason, the city needs to be monitored and evaluated from meso scale to micro scale. Different measurement techniques are used to reveal the climatic structure of the city. The main ones are local measurement with meteorological stations, measuring surface temperatures with remote sensing, and local measurement techniques with mobile stations. The production of climatic comfort maps of the urban area based on the findings to be obtained through these data and the association of these maps with the morphological structure of the city will be an important basis for the development of strategies to increase the climatic resistance of the urban area.

In this thesis study, PET (Physiological Equivalent Temperature) comfort maps of Akdeniz University were obtained by making bicycle mobile measurements and the factors affecting comfort were revealed by associating with the morphological structure of the campus area. The measurements were made between 17.02.2024 and 14.04.2024, which includes the winter and spring periods. NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), sky view factor, street width, street direction data were used to determine the morphological characteristics of the campus area. Meteorological data on air temperature, wind and humidity were used to evaluate the effects of these factors on climatic comfort.

As a result of the findings of the thesis study, it was determined that the climatic comfort of Akdeniz University Campus in the spring period mainly varies between mild cold thermal stress and stress-free environment. When the distributions of each degree of comfort are analysed, it is found that the meteorological condition that affects the climatic structure of the university campus the most is wind; when the relationships between the morphological structure of the school and climatic comfort are examined, it is determined that the most influential morphological feature is the road directions.

KEYWORDS: Climatic comfort, GIS, Mobile meteorological station, PET analysis, Remote sensing, Urban climate resilience, Urban morphology

COMMITTEE: Assoc. Prof. Dr. Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK

Assoc. Prof. Dr. Serdar SELİM

Assist. Prof. Sinan DEMİR

ÖNSÖZ

Uzun ve zorlu bir süreçten geçilerek hazırlanan bu tezde, birçok kişinin katkısı ve desteği bulunmaktadır. Başta bu projenin gerçekleşmesinde bana her açıdan yardımcı olan ve desteklerini esirgemeyen sayın danışman hocam Doç. Dr. Çağdaş KUŞÇU ŞİMŞEK'e teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca tez çalışması süresince, desteğini esirgemeyen Dr. İdil KANTER OTÇU'ya teşekkürlerimi sunarım.

BAP Projesi aşamasındaki yaşanan aksaklıklar ve gecikmeler sırasında pozitifliğinden ödün vermeden yaşanan aksaklıkları minimuma indirmek için çalışan proje koordinatörümüz sayın Benan BUZKIRAN hanıma teşekkürlerimi sunarım.

Süreç boyunca beni yalnız bırakmayan arkadaşım Sergen CENGİZ'e, bilgi birikimine güvendiğim ve teknik bilgiler konusunda desteklerini esirgemeyen arkadaşım Seray ŞAHİN SOLAKÇI'ya manevi olarak destek olan Ezgi Gökçe DİK, Seçkin BATTAL, Elif Nur BATTAL arkadaşlarıma teşekkür ederim. Yine aynı şekilde tez süreci boyunca çalıştığım iş yerinde iş arkadaşlarıma ve yöneticilerime göstermiş oldukları anlayıştan dolayı teşekkür ederim. Proje arazi ölçümlerinde destek olan Ramazan ÇALIŞKAN arkadaşşıma teşekkür ederim.

Ayrıca bu uzun yolda bana destek olan ve motive ederek her zaman yanımda olduklarını hissettiren annem Hatice KALAYCI, babam Ayhan KALAYCI, ablam Tuğba KALAYCI ve abim Hasan KALAYCI' ya teşekkürlerimi borç bilirim. Son olarak tez dönemi boyunca tüm sabrıyla yanımda olan ve beni sürekli destekleyen kız arkadaşım Ayşe Fulin FENER'e sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER.....	xiv
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Tezi Yararı.....	3
1.3. Hipotez	3
2. KAYNAK TARAMASI	4
2.1. Termal Stres	4
2.2. Termal Konfor.....	4
2.3. Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık.....	6
2.4. Gökyüzü Görünüş Faktörü	9
3. MATERYAL VE YÖNTEM	12
3.1. Problemin Tanımı.....	12
3.2. Çalışma Alanı ve Özellikleri	13
3.3. Veriler.....	16
3.4. Yöntem	18
3.5. Uygulama	20
3.5.1. Kullanılan cihazlar.....	20
3.5.2. Bisikletli mobil ölçümler	22
3.5.3. Uzaktan algılama çalışmaları.....	23
3.5.4 Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI).....	23
3.5.5. Yüzey sıcaklığı (Land Surface Temperature, LST) analizi	24
3.5.6. Veritabanının hazırlanması.....	28
3.5.7. Meteorolojik ölçümlerin veritabanına aktarılması ve FES hesaplamaları...29	
3.5.8. Gökyüzü görünüş faktörü (GGF, Sky View Factor)	30
3.5.9. Haritaların üretilmesi	34

3.5.10. Yol genişliği ve yol yönü.....	34
3.5.11. İstatistiksel analizler	35
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	37
4.1. NDVI Haritaları.....	37
4.2. Rüzgâr Hızı ve Nem Haritaları.....	40
4.3. Sıcaklık Haritaları ve Analizleri.....	44
4.4. Yol Genişliği ve Yol Yönü Analizleri.....	49
4.5. Gökyüzü Görünüş Faktörü (Sky View Factor, SVF) Analizleri.....	56
4.6. FES Haritaları ve Analizleri	60
5. SONUÇLAR	67
6. KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Mobil Ölçümler Kullanılarak, Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklıkların (FES) Kentsel Morfoloji ile İlişkilerinin İncelenmesi: Akdeniz Üniversitesi Kampüsü Örneği” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

22/05/2024

Öğrencinin Adı Soyadı

İmzası

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

Al	: İlave ölçeklendirme faktörü
b	: Boltzmann sabiti
c	: Işık hızı
$^{\circ}C$	: Derece birimi
C	: Sezgisel ısı
Csa	: Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Antalya ili iklim sınıfı
E_{res}	: Solunum sistemi aracılığı ile oluşan gizli ısı
E_{sk}	: Ciltte meydana gelen gizli ısı
E_{sw}	: Terleme yolu ile oluşan gizli ısı
h	: Planck sabiti
H	: 2 boyutta gökyüzü görünüş faktörü için engel yüksekliği
Ha	: Hektar uzunluk ölçüsü
Km	: Kilometre
$K_{1,2}$	: Termal dönüşüm için sabit değerler
$L\lambda$	: Landsat-8 uydusu için radyans değeri
m	: Metre
M	: Metabolik ısı üretimi
Mhz	: Megahertz
MI	: Radyans ölçüm değeri
$NDVI_{max}$	: Maksimum NDVI değeri
$NDVI_{min}$	: Minimum NDVI değeri
P_v	: Bitki örtüsü oranı

R	: FES için radyasyon akımları
r	: 3 boyutta gökyüzü görünüş faktörü için yarıçap
RH	: Bağıl nem
S	: Isı depolama değeri
T_a	: FES için hava sıcaklık değeri
T_b	: Radyans sıcaklık değeri
T_{cl}	: FES için giysi yolu ile elde edilen ısı değeri
T_{mrt}	: Ortalama radyan sıcaklık
T_s	: Landast-8 yüzey sıcaklık değeri
T_{sk}	: Deri yolu ile gerçekleşen ısı transfer değeri
v	: FES için rüzgâr hızı değeri
V_p	: Buhar basıncı
W	: 2 boyutta gökyüzü görünüş faktörü için engeller arası mesafe tanımlama birimi
W_o	: FES için bireyin yaptığı mekanik iş
Q	: Görüş alan açısı
Q_{cal}	: Landsat-8 verisi piksel değeri
ε	: Yeryüzü ışıınım değeri
λ	: Landsat-8 termal band dalga boyu
$\varepsilon\lambda$	: Landsat-8 uydu görüntüleri üzerindeki piksel değerlerine karşılık gelen yeryüzü ışıınım değeri
β	: 3 boyutta gökyüzü görünüş faktörü için merkez noktadan maksimum engel yüksekliğine olan en uzun mesafe

Kısaltmalar

AÜ : Akdeniz Üniversitesi

BG : Balık gözü lens

CSA : Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye iklim sınıfı kategorisi

FES : Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık

GGF : Gökyüzü görünüş faktörü

GPS : Global Positioning System

KIA : Kentsel Isı Adası

MGM : Meteoroloji Genel Müdürlüğü

SVF : Sky view factor

TÜİK : Türkiye İstatistik Kurumu

UA : Uzaktan Algılama

USGS : United States Geological Survey

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1. Tipik kışlık ev giysileri içinde ayakta duran bir birey için vücut ısı kaybı....	5
Şekil 2.2. Açık alanda insanların etrafındaki ısı akışının diyagramı	6
Şekil 2.3. İnsan vücut modelinde FES modelinin gösterimi.....	8
Şekil 2.4. Açık bir alandaki ve cadde kanyonunda radyasyon bileşenleri ve GGF hesaplamaları.....	10
Şekil 2.5. Gökyüzü görünüş faktörü arayüzü.....	11
Şekil 3.1. Çalışma alanı	13
Şekil 3.2. Akdeniz Üniversitesi kampüs yol ağı.....	14
Şekil 3.3. Log 200 Dijital Veri Kaydedici tuş dizilimi ve cihazın teknik özellikleri.	20
Şekil 3.4. Pce-007 Anemometre (sağda) ve cihazın teknik özellikleri (solda).	20
Şekil 3.5. Columbus P-10 Pro Datalogger cihazın çalışma prensibi.	21
Şekil 3.6. UNIT UTI 120 Termal kamera (sağda) ve teknik özellikleri (solda).	22
Şekil 3.7. USGS adresinden elde edilen Antalya verilerinin gösterimi.	23
Şekil 3.8. Çalışma alanı, 13 Mart 2024 tarihli NDVI bitki örtüsü gösterimi.....	24
Şekil 3.9. Landsat-8 uydu verisi yüzey sıcaklık dağılım haritası.	26
Şekil 3.10. Mobil ölçüm aracı.....	26
Şekil 3.11. Mobil ölçüm aracı ile verilerin alınması.....	27
Şekil 3.12. Çalışma alanı ve çevresinde oluşturulan grid ağı.	28
Şekil 3.13. Ölçüm rotalarına ait grid ağı.....	29
Şekil 3.14. Sky View Factor için kenar boşlukları kırılmış ham fotoğraf.	31
Şekil 3.15. Gökyüzü görünüş faktörü için belirlenen lokasyonlar.....	32
Şekil 3.16. Çalışma alanı Gökyüzü Görünüş Faktörü (GGF) oluşturmak için elde edilen monokromatik görüntüler.....	33
Şekil 3.17. Akdeniz üniversitesi yol genişliği haritası.....	34
Şekil 3.18. Akdeniz üniversitesi yol yönü haritası	35

Şekil 4.1. 17 Şubat-16 Mart tarihleri arasında Landsat-8 uydu verisine ait NDVI görüntüleri.....	38
Şekil 4.2. 17 Mart-14 Nisan tarihleri arasında Landsat-8 uydu verisine ait NDVI görüntüleri.....	39
Şekil 4.3. 17 Şubat-16 Mart tarihleri arasında anemometre ile alınmış rüzgâr verileri..	40
Şekil 4.4. 17 Mart-14 Nisan tarihleri arasında anemometre ile alınmış rüzgâr verileri..	41
Şekil 4.5. 17 Şubat-16 Mart tarihleri arasında termometre ile alınmış nem verileri.	42
Şekil 4.6. 17 Mart-14 Nisan tarihleri arasında termometre ile alınmış nem verileri.	43
Şekil 4.7. 17 Şubat-16 Mart mobil ölçümler ile alınmış hava sıcaklığı haritaları	45
Şekil 4.8. 17 Mart-14 Nisan mobil ölçümler ile alınmış hava sıcaklığı haritaları	46
Şekil 4.9. Çalışma alanı örnek FES değerleri	60
Şekil 4.10. 17 Şubat-16 Mart tarihleri arasında Rayman Pro programı ile elde edilen FES değerleri.....	62
Şekil 4.11. 17 Mart-14 Nisan tarihleri arasında Rayman Pro programı ile elde edilen FES değerleri.....	63
Şekil 4.12. FES sınıflandırması sonucunda toplam sınıf değerlerinin tek bir harita üzerinde gösterimi.....	66

ÇİZELGELER

Çizelge 2.1. Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık'ın (FES) farklı termal algı seviyelerine ve insanların fizyolojik stres durumlarına göre aralıkları	7
Çizelge 3.1. Akdeniz üniversitesi yol ağı çevresi morfolojik özellikleri.....	14
Çizelge 3.2. Rüzgâr yönü ve hızı çizelgesi.	16
Çizelge 3.3. İş akış şeması	18
Çizelge 3.4. Mobil ölçüm detayları.	27
Çizelge 3.5. Sıcaklık, FES, Rüzgâr Hızı ve Nem değerlerinin minimum maksimum ve $\Delta(x)$ aralıkları	30
Çizelge 3.6. GGF için lokasyon değerleri.....	32
Çizelge 4.1. NDVI görüntüsü tarihi ve ilişkilendirilen ölçüm tarihleri	37
Çizelge 4.2. Hava sıcaklığı ile NDVI, Rüzgâr Hızı, Nem korelasyonları	47
Çizelge 4.3. Yeryüzü sıcaklık verisinin NDVI, sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem ile olan korelasyon ilişkisi.	49
Çizelge 4.4. Yol yönüne bağlı olarak FES ile NDVI, Sıcaklık, Nem, Rüzgâr Hızı korelasyon değişimlerinin incelenmesi	49
Çizelge 4.5. Karar ağacı sınıflandırma yöntemi ile termal konfor, yol yönü ve yol genişliği ilişkilerinin incelenmesi	52
Çizelge 4.6. Kutu grafikleri üzerinden GGF ile Sıcaklık, Rüzgâr, FES ilişkilerinin incelenmesi.....	57
Çizelge 4.7. Gökyüzü görünüş faktörünün FES, sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem ile olan ilişkileri	60
Çizelge 4.8. FES verisinin NDVI, rüzgâr hızı, sıcaklık ve nem ile olan korelasyon ilişkileri.	64

1. GİRİŞ

Bir bölgedeki farklı hava koşullarının bir araya gelerek oluşturduğu uzun vadeli düzeni ifade eden (Dennis 2015) iklim, bir bölgenin hava olayları aracılığı ile niteliğini ve bitki örtüsünü tayin etmektedir. Bu nedenle iklim insanların coğrafi dağılımlarını, beslenme ve giyim tercihlerini, biyolojik gelişimlerini ve karakter gelişimini etkileme konusunda önemli bir rol oynamaktadır. İklim değişikliği ise “nedeni ne olursa olsun iklimin ortalama durumunda veya değişkenliğinde onlarca yıl ya da daha uzun süre boyunca gerçekleşen değişikliklerdir” biçiminde tanımlanmaktadır (Akçakaya vd. 2015; UNCCC 1994). Küresel ısınmaya bağlı olarak meydana gelen iklim değişikliği etkilerinin son yıllarda giderek artmasıyla birlikte, kuraklık, buzulların erimesi, su kaynaklarına ulaşmada zorluklar gibi insan yaşamını olumsuz yönde etkileyen sorunlar da artmaya başlamıştır (Şimşek 2012). İklim değişimini tetikleyen en önemli faktörlerden birisi kentsel alanlardır. Bu kentsel alanlar, insan faaliyetlerinden kaynaklanan etkiler sonucunda atmosfer tabakasında karmaşık etkilere neden olup küresel ısınma etkilerini hızlandırmaktadır. Orman alanlarının azalması ve geçirimsiz arazi örtüsünün artması bunun en önemli faktörlerindendir (Stone 2010). Özellikle kentsel alanların son yıllarda hızla kontrolsüz büyümesi ve bitki örtüsünün tahribatı sonucu küresel ısınmadan dolayı yaşanan olumsuzlukların artmasına neden olmaktadır. Dolayısıyla, bu sorunlardan en fazla etkilenen yerler yine, antropojenik etkilere bağlı olarak direnci kırılan kentler olmaktadır.

Kentsel yapıların yoğun olduğu alanlarda, yeşil alanların azalması ve yapılaşmanın artması, çevresel peyzajda değişikliklere neden olmaktadır. Bu durum, kentsel ısı adalarının (KIA) oluşumuna neden olmakla birlikte mikro iklimin bölgesel değişimlerine ve iklim konforuna olumsuz etki etmektedir. Örneğin, Hollanda’nın Rotterdam şehrinde yapılan bir çalışmada 6 Ağustos 2009 tarihinde Rotterdam, çevresindeki kırsal alan ve düşük yapı yoğunluğu olan bölgelerde bisikletle rota oluşturulup sıcaklık değerleri gözlemlenmiştir. Bulunan sonuçlara göre şehir merkezinde ortalama sıcaklık 31.3°C, kırsal kesimde 30.1°C, düşük yapı yoğunluğu olan bölgede 29.4°C olarak ölçülmüştür. Yapılan bu çalışmada en dikkat çeken unsur ise kent merkezinde bulunan yeşillendirilmiş bir park alanının ortalama sıcaklık değerinin 27.3°C olarak ölçülmesidir (Heusinkveld 2014). Bu nedenle, kentsel bölgelerde termal dinamikleri anlamak ve sürdürülebilirlik için etkili stratejiler geliştirmek günümüz kentleri için önemli hale gelmektedir (Vargo 2013). Aslında, insanın termal algısı ve konfor üzerine yapılan bilimsel araştırmalar, 1910’ların başına kadar uzanmaktadır (Benedict ve Carpenter 1910) ancak küresel iklim değişiminin etkilerine bağlı olarak önemi çok daha fazla artmış, yapılan bilimsel araştırmalar da buna bağlı olarak artmıştır. Kentsel alanın iklim konforunu doğrudan etkileyen kentsel alanın morfolojik özellikleri, aşırı sıcaklar karşısında meydana gelen sağlık problemleri ile de dolaylı olarak etkilidir.

Kentsel alanın iklimsel etkilerini inceleyen birçok çalışmada, düzensiz ve aşırı kentsel bölgelerin oluşması, insan sağlığı üzerinde riskleri artırma potansiyeli olduğunu ortaya koymaktadır (McCarthy 2010). 1-20 Ağustos 2003 tarihleri arasında Fransa’da aşırı sıcak hava dalgaları hâkim olmuş, bu dönemde ortalama hava sıcaklığı mevsim şartlarının yaklaşık 11°C üzerinde seyretmiş ve 15.000’e kadar aşırı ölüm meydana gelmiştir (Fouillet 2007). Kentsel ısı adalarının bitki örtüsü ve parkların serinletici etkilerini (Alcoforado vd. 2009) iklimsel streslere bağlı olarak ölüm ve hastalık

sıklıklarını incelemişlerdir (Arnfield 2003). Yapılan çalışma kentsel alanlarda bitki örtüsü azaldıkça ısı adaları artış oranı yükselmiş ve buna bağlı olarak çalışma alanının konfor alanları azalarak sıcaklık kaynaklı ölüm ve hastalık oranlarında artış gözlemlenmiştir. Bu sorunlara çözüm bulmak, kentsel alan ikliminin düzenli takip edilmesini ve değişimlerin izlenmesini gerektirmektedir. Bu bağlamda ölçüm teknikleri ve ölçüm noktaları, değişimin izlenebilmesi ve doğru değerlendirilebilmesi için önemlidir. Ancak, kentsel alanın karmaşık arazi yapısı, hava hareketleri ve çeşitli enerji transfer süreçleri arasındaki etkileşimler problemlerin çözümünü zorlaştırmaktadır, bu nedenle kentsel alanın yerel iklim etkisinin doğru değerlendirilebilmesi için birçok noktadan ölçüm yapılarak değerlendirilmesi gerekmektedir.

Bu bağlamda, özellikle bisiklet gibi mobil araçlar vasıtası ile yapılan çalışmalar, mikro iklim koşullarını detaylı bir şekilde belirlemede önemli rol oynayarak, yapıları kentsel alanların modellenmesine olanak tanımaktadır. Bunlara ek olarak çeşitli kentsel alanlarda şehirlerin dinamik morfolojisini dikkate aldığı için mobil ölçüm yöntemleri, sabit gözlem istasyonları ve uydu verilerine nazaran bölgelerde iklim farklılıklarını ayırt etme konusunda başarı göstermiştir (Žgela vd. 2024). Özellikle bisiklet gibi mobilitesi yüksek taşıma araçları ile yapılan çalışmalar uygulama kolaylığı ve düşük maliyet bakımından avantajlı sonuçlar sunmaktadır.

Yapılan çalışmalar (Kotharkar vd. 2024), kentsel yapılaşma ile iklim konforu arasında dengenin sağlanabileceği pek çok yol ve yöntemin olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, gelecekte çok daha büyük problemlerin oluşmaması için kentsel alanlar ile insan termal konforu arasındaki ilişkinin saptanması ve bu konularda daha fazla çalışmalar yapılması büyük önem arz etmektedir.

Yapılan başka bir çalışmada ise (Žgela vd. 2024) Hırvatistan'ın Zagreb kentinde mobil ölçüm aletleri ve uydu verileri yardımı ile yaptıkları şehir konfor endeksi çalışmalarında şehrin ağaçlandırılmış bölgesi ile beton yapılarının fazla olduğu bölgeler arasında yaklaşık olarak 1,5-3 °C sıcaklık farkı ölçülmüştür. Bu sonuçlara bakarak, betonlaşmanın yoğun olduğu kentsel alanlarında mikro ölçeğe iklim direnci yüksek şehirler inşa etmek son derece kritik hale gelmiştir.

1.1. Tezin Amacı

Günümüzde hızla artan kentleşme, kendisiyle birlikte getirdiği yapılaşma, enerji sarfıyatı, ulaşım araçları ve sanayileşme gibi antropojenik etkiler aracılığıyla sera gazı salınımındaki artışa önemli derecede etki etmektedir. Bu faktörler, sadece küresel iklim değişikliğinin ana itici güçleri olmanın ötesinde, aynı zamanda yerel düzeyde kent iklimi değişiminin belirleyici faktörleri olarak öne çıkmaktadır. Bu faktörlerin ve etkilerinin belirlenmesi ise kentsel alanın direncinin artırılmasında uygulanması gereken önemli bir adımdır. Bu bağlamda, kentleşmenin doğrudan etkilerini azaltmaya yönelik yapılan araştırmalar ve bu konudaki bilimsel çalışmalar, iklimsel değişimle mücadelede yol gösterici veriler olarak önemlidir.

Bu tez çalışmasının amacı, bisikletli mobil ölçümlerden faydalanılarak Akdeniz üniversitesinin FES (Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık) konfor haritalarının elde edilmesi, kampüs alanının morfolojik yapısı ile ilişkilendirilerek, konforu etkileyen faktörlerin ortaya konulmasıdır. Kampüs morfolojisi, gökyüzü görünüş faktörü, sokak genişliği,

sokak yönü, bitki örtüsü yoğunluğu verileri ile ele alınmıştır. Meteorolojik veriler olarak ise sıcaklık rüzgâr hızı ve nem ölçümleri yapılmıştır.

Bu tez çalışmasından elde edilmiş bulgular, ileride yapılacak peyzaj çalışmaları ve kentsel planlama uygulamalarına altlık sağlayarak kentsel ısı adalarının insan termal konforu üzerindeki olumsuz etkilerini azaltmaya ve Akdeniz Üniversitesi'nin iklimsel konforunu geliştirmeye katkıda bulunacaktır. Kentleşme süreçlerinin iklim değişikliğine olan etkilerini analiz etmek, sürdürülebilir kentsel planlama ve politika oluşturmak için bilimsel bir temel oluşturacaktır. Bu tez çalışması, bu konudaki bilgi birikimine katkıda bulunarak, daha büyük ölçekli çalışmalara ışık tutacak ve kentleşme pratiklerini optimize etme ve çevresel sürdürülebilirliği destekleme noktasında önemli katkılarda bulunacaktır.

1.2. Tezi Yararı

Kentlerin fiziksel formları ve bileşenleri, yüzey geçirimsiz yapılar ve arazi yapısına uygun olamayan yapılaşmalar gibi unsurlar, mikro ölçekte kentsel iklim ve insan termal konforu üzerinde önemli etkiler yaratmaktadır. Kentsel yapılaşma ve insan termal konforu arasındaki ilişki son yıllarda ele alınmaya başlamış olsa da bu bilgilerin kentsel planlamaya dahil edildiği somut örnekler oldukça azdır (Mills 2010). Özellikle ülkemizde termal konfor modellerinin kentleşmeyle ilişkisi oldukça yeni bir konudur ve yapılan çalışmalar henüz yeterli doygunluğa ulaşmamış, gerekli bilgi birikimi de henüz sağlanmamıştır. Dünyada ve ülkemizde değişen hava sıcaklıkları ve artan şehirleşme göz önüne alındığında, kentlerin bu problemle karşı hazırlıklı olması ve insan termal konforuna göre kentsel yapıların evrilmesi, sıra dışı sıcaklık artışlarına karşı dirençli ve yaşanabilir hale gelmesi hayati önem taşımaktadır.

Bu tez çalışmasında, üniversite kampüs alanının iklimsel konforunun, mobil ölçüm cihazları ile ölçülen veriler kullanılarak, hava sıcaklığı, bitki örtüsü, rüzgâr, gökyüzü görünüş faktörü verileri ile aralarındaki ilişkiler incelenmiştir. Elde edilecek veriler, Antalya kentsel alanında, iklimsel konforun sağlanmasında dikkat edilmesi gereken hususlara vurgu yapılmıştır. Sonuçlar, hem Antalya ilinde sağlıklı kent bölgeleri oluşturma açısından bir model oluşturacak hem de ülke genelinde gelecekte yapılacak çalışmalara ışık tutacaktır.

1.3. Hipotez

Bu tez, Akdeniz Üniversitesi ölçeğinde, üniversitenin morfolojik yapısını belirleyen bitki örtüsü yoğunluğunun, yol genişliklerinin, yol yönlerinin ve gökyüzü görünüş faktörünün iklim konforu üzerindeki etkilerini incelemeyi amaçlamaktadır. Bu bağlamda tez iki temel hipotezi araştırmak üzere kurgulanmıştır.

Tezin ana hipotezleri:

Kentsel morfoloji, iklimsel konforu etkilemektedir.

Bitkiörtüsü yoğunluğu iklimsel konforu etkilemektedir.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Termal Stres

Kentsel Isı Adaları (KIA) ve bunlarla ilişkili termal stres, günümüzde artan bir önem taşımaktadır. Yoğun kentsel alanlar, çevrelerindeki kırsal bölgelere kıyasla belirgin şekilde daha yüksek sıcaklıklara sahip olması ile karakterize edilir (Matzarakis 2008). Bu durum, kentsel iklimin ve termal stresin insan sağlığı, refah ve hatta ölüm üzerinde önemli bir etkiye sahip olmasına yol açar (Harlan 2012).

İklim değişikliği, termal stres üzerinde önemli bir etkiye sahiptir. Artan sıcaklıklar, değişen yağış düzeni ve ekstrem hava olayları gibi faktörler, ısı dalgalarının sıklığını ve şiddetini artırabilir. Bu durum, insanlar, hayvanlar ve bitkiler üzerinde artan bir termal stres oluşturur. Özellikle şehirleşmenin ve geçirimsiz yüzeylerin yoğun olduğu bölgelerde, daha yüksek sıcaklıklar KIA oluşumunu da tetikleyebilir.

Termal stresin insan sağlığı üzerindeki etkileri çeşitlidir. Gece sıcaklıklarının yeterince düşmemesi, uyku eksikliği, fiziksel ve zihinsel yorgunluk, öfke kontrolünde zorluk, gün içinde odaklanmada ve iş performansında azalmalar gibi problemlere yol açabilir. Tarım alanlarında ise aşırı sıcaklıklar, bitki verimliliğini düşürebilir ve su kaynakları üzerinde baskı oluşturabilir.

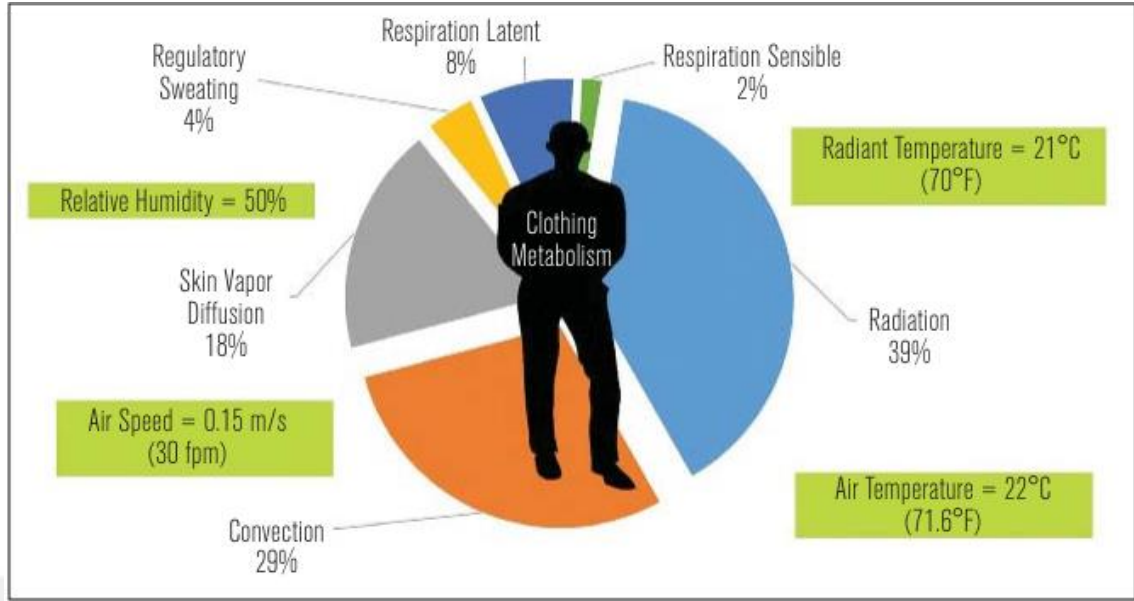
Isı dalgaları, insan sağlığı açısından büyük riskler taşır. Özellikle yaşlılar, çocuklar ve kronik sağlık sorunları olan bireyler için bu riskler daha da artar. Bu nedenle, iklim değişikliğinin ısı stresine etkisi, çeşitli sektörlerde ve toplum kesimlerinde dikkate alınması gereken önemli bir konudur. Adaptasyon ve sürdürülebilirlik önlemleri, bu etkilerle başa çıkmak için hayati önem taşımaktadır.

Termal stresle mücadele için uygulanabilecek en uygun somut yöntemler olarak; yeşil alanların artırılması, geçirimli yüzeylerin kullanımı, su kaynaklarının etkin kullanımı, binalarda enerji verimliliği sayılabilir. Kentlerde yeşil alanların artırılması, gölge oluşturarak ve evapotranspirasyon yoluyla havayı soğutarak termal stresi azaltmaya yardımcı olacaktır. Geçirimli yüzeylerin kullanımı, beton ve asfalt gibi geçirimsiz yüzeylerin yerini çim, ağaçlar ve diğer bitkiler gibi geçirgen yüzeylerle değiştirmek, güneş ışığının yansımaları ve ısı emilimini azaltacaktır. Su kaynaklarının etkin kullanımı, sulama ve çeşmeler gibi su kaynaklarının etkin kullanımı, evaporatif soğutma yoluyla havanın serinlemesine katkıda bulunacaktır.

Sonuç olarak, kentsel ısı adaları ve termal stres, iklim değişikliğinin önemli bir sonucudur. Bu sorunun çözümü için kentsel planlamada ve altyapı tasarımında sürdürülebilirlik ilkelerinin benimsenmesi ve çeşitli adaptasyon ve mitigasyon stratejilerinin uygulanması gerekmektedir.

2.2. Termal Konfor

Termal konfor, insanın çevresindeki ortamdan memnun olması, insan ile onu çevreleyen ortam arasındaki ısı denge durumudur. Bir birey için termal konfor, termal ortamdan memnuniyeti ifade eden zihin durumu olarak tanımlanmaktadır (Şekil 2.1) (ASHREA 2004).



Şekil 2.1. Tipik kışlık ev giysileri içinde ayakta duran, rahat bir birey için vücut ısısı kaybı (Mora ve Bean 2018)

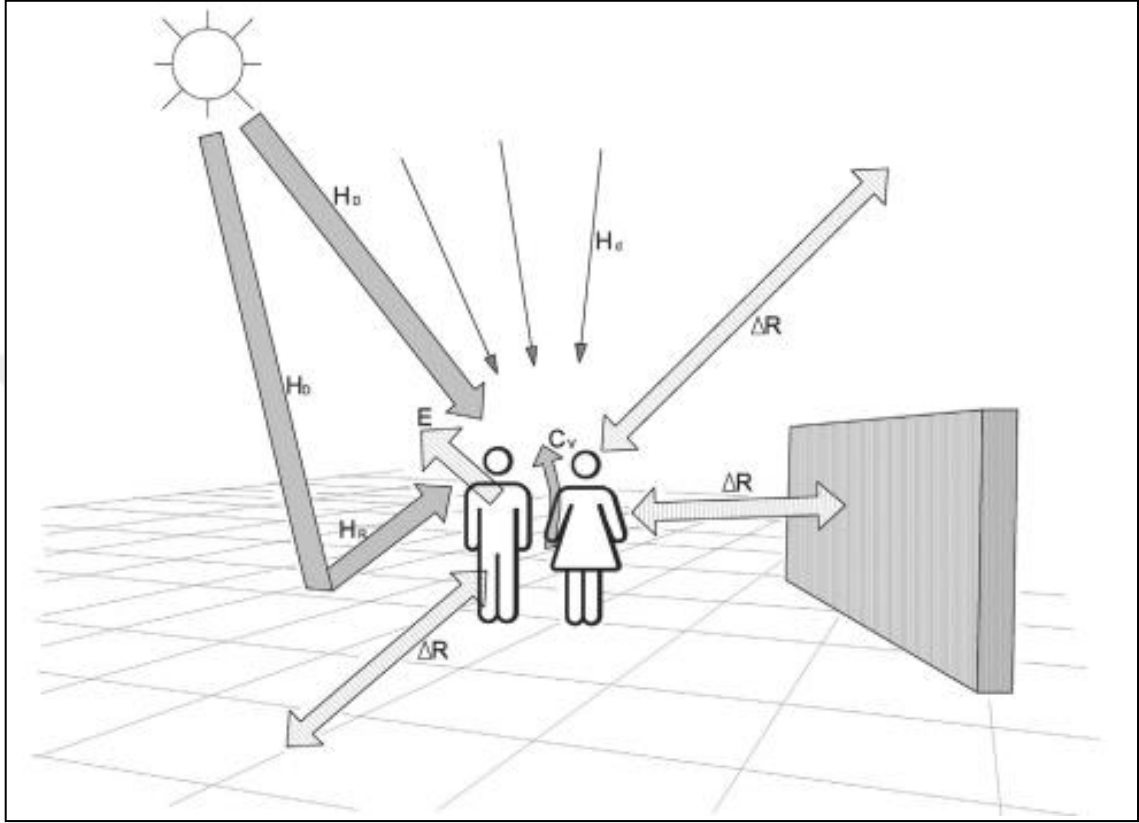
İnsan vücudu, sürekli ısı üreten ve bu ısıyı dengelemeye çalışan bir biyolojik sistemdir. Isı dengesi, vücuttaki ısı kazançlarının dış etkenler yoluyla oluşan ısı kayıplarına eşit olması anlamına gelmektedir (Gómez 2013). Bulunduğumuz ortamda dış etkenler termal konforu bozduğunda, derideki algılayıcılar devreye girerek vücut sıcaklığını dengelemeye çalışmaktadır (Höppe 1993). Isı transferi, büyük ölçüde deriden terleme ve buharlaşma yoluyla gerçekleşmektedir. Solunum, taşınım ve temas da ısı transferinde rol oynamaktadır. Vücudumuzun çekirdek sıcaklığı 37 °C'dir ve bu değer, ısı düzenleme mekanizması tarafından ± 0.1 °C sınırları içinde sabit tutulmaktadır. Bu, insan anatomisinin en sıkı kontrol edilen parametrelerinden biridir.

İnsan, büyük çoğunlukla terleme yoluyla kendi ısı dengesini sağlayabilmektedir. Ancak aşırı terleme (Şekil 2.2), cildi ve giysileri ıslatarak istenmeyen bir duruma yol açabilmektedir (Alvarez vd. 1991). Termal konforun sağlanamadığı durumlarda zihinsel ve fiziksel performansta azalma, sıcak çarpması, kas krampları, hipotermi ve soğuk ısırtığı gibi sağlık sorunları ortaya çıkmaktadır (Şensoy vd. 2020).

Bu bağlamda termal konforu etkileyen faktörler şunlardır (ASHREA 2004; ISO 2002):

- *Hava şartlarına bağlı giysiler:* Giysilerin termal geçirgenliği ve yalıtım özellikleri konforu doğrudan etkiler.
- *Fiziksel aktivite:* Aktivite sırasında ısınan vücut, terleme yoluyla ısıyı dışarı atarak dengeyi korumaya çalışır.
- *İklim:* Sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı gibi iklimsel faktörler termal konforu önemli ölçüde etkiler.
- *Yüzeylerin ısı özellikleri:* Duvarlar, zeminler ve tavanlar gibi yüzeylerin ısı tutma ve yayma kapasitesi termal konforu etkiler.

- *Atmosferin ısı tutma kapasitesi*: Havanın ısı tutma yeteneği de termal konforda rol oynar.
- *Güneş radyasyonu*: Güneş ışınlarının yoğunluğu ve doğrudan güneş alma durumu termal konforu etkileyebilir.



Şekil 2.2. Açık alanda insanların etrafındaki ısı akışının diyagramı. Burada H_D = Güneş ışınlı, H_d = Dağınık Güneş ışınlı, H_R = Yansıyan Güneş ışınlı, ΔR = Çevresel yüzey ile uzun dalga radyasyon değişimi, C_v = Hava ile konverksiyon, E = Buharlaşma (Alvarez 1991)

Kış aylarında, ideal termal konfor, dış etkenler yoluyla ısı kaybının ihmal edilebileceği durumlarda sağlanır. Isı kazanç kaynaklarından herhangi bir parametre arttığında ise terleme yoluyla termal konfor şartları sağlanır. Bu ısı dengesini ve bir kişi özelinde, tüm parametreleri hesaplamak ve farklı muhtemel kazanç ve kayıpları irdelemek mümkündür (Şekil 2.2).

2.3. Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık

Fizyolojik eşdeğer sıcaklık (Physiologically Equivalent Temperature, PET), ilk olarak 1987'de Höppe ve Mayer tarafından tanıtilen bir parametre olup (Jendritzky vd. 1990), dış mekân termal ortamların analiz edilmesinde kullanılan bir yöntem, insan termal algı ve rahatlık indeksidir (Höppe 1999). FES, mevcut meteorolojik durumun insanlar üzerindeki termal etkisini değerlendirmek için kullanılan bir biyometeorolojik

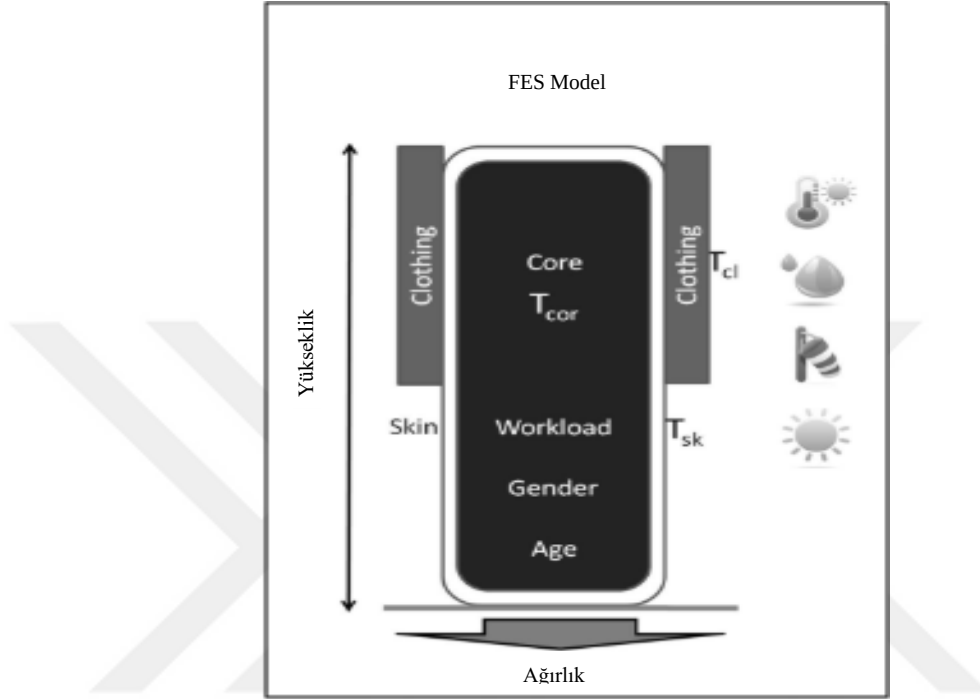
endekstir. Bu parametre, insan enerji dengesine dayanır ve dış ortamdaki termal etkileri tahmin etmek için oldukça uygundur (Matzarakis 2008). FES tipik bir kapalı ortamda insan vücudunun ısı dengesinin (çalışma metabolizması 80 W hafif aktivite, temel metabolizmaya eklenen; giysi ısı direnci 0.9 clo) değerlendirilen koşullar altında çekirdek ve cilt sıcaklıklarını koruyan hava sıcaklığına eşdeğerdir (Höppe 1999). FES, genellikle kullanılan Tahmini Ortalama Değer (Predicted Mean Vote, PMV) indeksiyle benzerlik gösterir. Tahmini ortalama değer gibi, FES de termal iklimi tanımlamak için evrensel bir indeks sağlar ve termal koşulları fizyolojik olarak anlamlı bir şekilde değerlendirmeye olanak tanır. Bu bağlamda, (Matzarakis ve Mayer 1996), termal algı için tahmini ortalama değer aralıkları ile insanlar üzerindeki fizyolojik stres derecesini (Fanger 1972; Mayer 1993) ve buna karşılık gelen FES aralıklarını (Çizelge 2.1) ilişkilendirmiştir. Bu FES aralıklarının, çekirdek ısı üretimi ve giysi ısı direnci için varsayılan değerler için geçerli olduğu unutulmamalıdır.

Çizelge 2.1. Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık'ın (FES) farklı termal algı seviyelerine ve insanların fizyolojik stres durumlarına göre aralıkları; içsel ısı üretimi: 80 W, giyim ısı transfer direnci: 0.9 clo (Matzarakis ve Mayer 1996)

FES	Termal Algı	Fizyolojik Stres Derecesi
4°C 8°C 13°C 18°C 23°C 29°C 35°C 41°C	Çok soğuk	Aşırı soğuk stresi
	Soğuk	Güçlü soğuk stresi
	Serin	Ortalama soğuk stresi
	Biraz serin	Biraz soğuk stresi
	Rahat iklim	Stressiz ortam
	Biraz sıcak	Biraz ısı stresi
	Ilık	Ortalama ısı stresi
	Sıcak	Güçlü ısı stresi
	Çok sıcak	Aşırı ısı stresi

FES değerinin doğru bir şekilde hesaplanabilmesi için, insan enerji dengesini etkileyen temel meteorolojik parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Bu parametreler, biyometeorolojik açıdan anlamlı bir referans noktasında ölçülmelidir; örneğin, yerden 1.1 m yükseklikteki bir nokta (Ayakta duran bir kişinin ortalama ağırlık merkezini temsil eder). Hava sıcaklığı, buhar basıncı, rüzgâr hızı ve çevrenin ortalama

sıcaklığı gibi belirleyici meteorolojik faktörler, FES hesaplamalarında öne çıkan parametrelerdir (Şekil 3). Değerlendirmenin amaçlarına bağlı olarak, bu meteorolojik parametreler ya deneysel olarak ölçülebilir ya da sayısal modeller aracılığıyla bir hesaplanabilir (Matzarakis 1999). Yapılacak olan tez çalışmasında bu parametreler sıcaklık, rüzgâr hızı, rüzgâr sıcaklığı, nem ve gps verileri parametre olarak seçilmiştir.



Şekil 2.3. İnsan vücut modelinde FES modelinin gösterimi. T_{cl} = Giysi yoluyla elde edilen ısı, T_{sk} = Deri yoluyla gerçekleşen ısı transferi (Chen 2018)

FES'in en önemli belirleyici faktörlerinden biri, ortalama radyan sıcaklık (Mean Radiant Temperature, T_{mrt}) ($^{\circ}\text{C}$) olarak adlandırılır (Herrmann ve Matzarakis 2012; Charalampopoulos vd. 2013; Chen ve Matzarakis 2014). Ortalama radyant sıcaklık, insan-biyometeorolojide uygulanan tüm termal indeksler için en önemli giriş parametrelerinden biridir. Bu değer, kısa ve uzun dalga radyasyon akımlarının etkisini özetleyen bir eşdeğer yüzey sıcaklığı olarak ifade edilir (Kantor ve Unger 2011). T_{mrt} , siyah bir yüzeyin ve eşit bir çevre ortamının yüzey sıcaklığı olarak tanımlanır ve bu durum, mevcut çevre ile aynı enerji dengesine yol açar (Helbig vd. 1999). FES için diğer önemli meteorolojik giriş parametreleri rüzgâr hızı (v , birimi m/s) ve hava sıcaklığı (T_a , birimi $^{\circ}\text{C}$)'dır. Hava neminin buhar basıncı (VP , birimi hPa) ve bağıl nem (RH , birimi %) FES üzerinde çok zayıf bir etkisi olduğu gözlemlenmiştir (Fröhlich ve Matzarakis 2016). Doğal çevrenin FES üzerindeki termal etkisi, insan enerji dengesi denklemi kullanılarak değerlendirilir (Denklem 1).

$$M + W_o + R + C + E_{sk} + E_{res} + E_{sw} + S = 0$$

Denklem 1

Burada metabolik ısı üretimi M , bireyin yaptığı mekanik iş W_o , radyasyon akımları R , sezgisel ısı C , ciltte olan gizli ısı E_{sk} , solunum sistemi aracılığı ile olan gizli ısı E_{res} , terleme yoluyla oluşan gizli ısı E_{sw} , ısı depolama S (herhangi bir durum için sıfır olarak kabul edilir) ile ifade edilir. Sayısal veriler, başlangıç değerleri $T_{mrt} = T_a$, $v = 0.1$ m/s ve $VP = 12$ hPa (Höppe 1999) olarak belirlenen bir sanal ortama aktarılır. T_a değeri sanal ortam içinde gerçek çevre ile aynı olana kadar iteratif olarak değiştirilir. Sonuçta elde edilen sanal ortam T_a değeri, FES değerine eşit olur (Höppe 1999).

2.4. Gökyüzü Görünüş Faktörü

Gökyüzü görünüm faktörü (GGF, Sky View Factor, SVF), görünür gökyüzünün kesit alanı olarak tanımlanır. GGF, yüzey radyasyon dengesini belirlemede önemli bir parametredir (Theeuwes 2017). Aynı zamanda GGF, balıkgözü lens (BG, Fisheye) ile alınan fotoğraflar vasıtasıyla günlük güneşlenme süresini tahmin etmek, görüntüleri analiz etmek, belirli bir konumdan görülen gökyüzü miktarını ve gün boyunca güneşlenme süresini hesaplamak için kullanılan bir metodolojidir. GGF, 0 ile 1 arasında değerler ile ifade edilir (Şekil 2.4). Arazide yapısal etmenlerin az olduğu ortamda GGF 1 birime çok yakın bir değer alır. Yüzey morfolojisinin karmaşık olduğu yerlerde ise bu değer 0 birimine daha yakındır (Hämmerle 2011). Şehir alanlarında karmaşık 3 boyutlu yüzeyler, daha fazla yayılma (Şekil 2.4b) ve absorpsiyon fırsatına olanak sunar. Karmaşık yüzey yapılarının az olduğu bir alandaki uzun dalga radyasyonu her yönde yansırken, diğer durumda binalar sınırlayıcı bir rol oynar (Helbig ve Löwe 2014).

Şekil 2.3f, bir cadde kanyonundaki GGF'yi ifade eder. Burada binalar nedeniyle gündüzleri açığa çıkan ısı miktarı sınırlıdır (Hoeven ve Wandl 2015). 2 boyutlu perspektifinden, cadde kanyonundaki bir noktadaki GGF (Şekil 2.4f), şu şekilde hesaplanır (Wolff 2008):

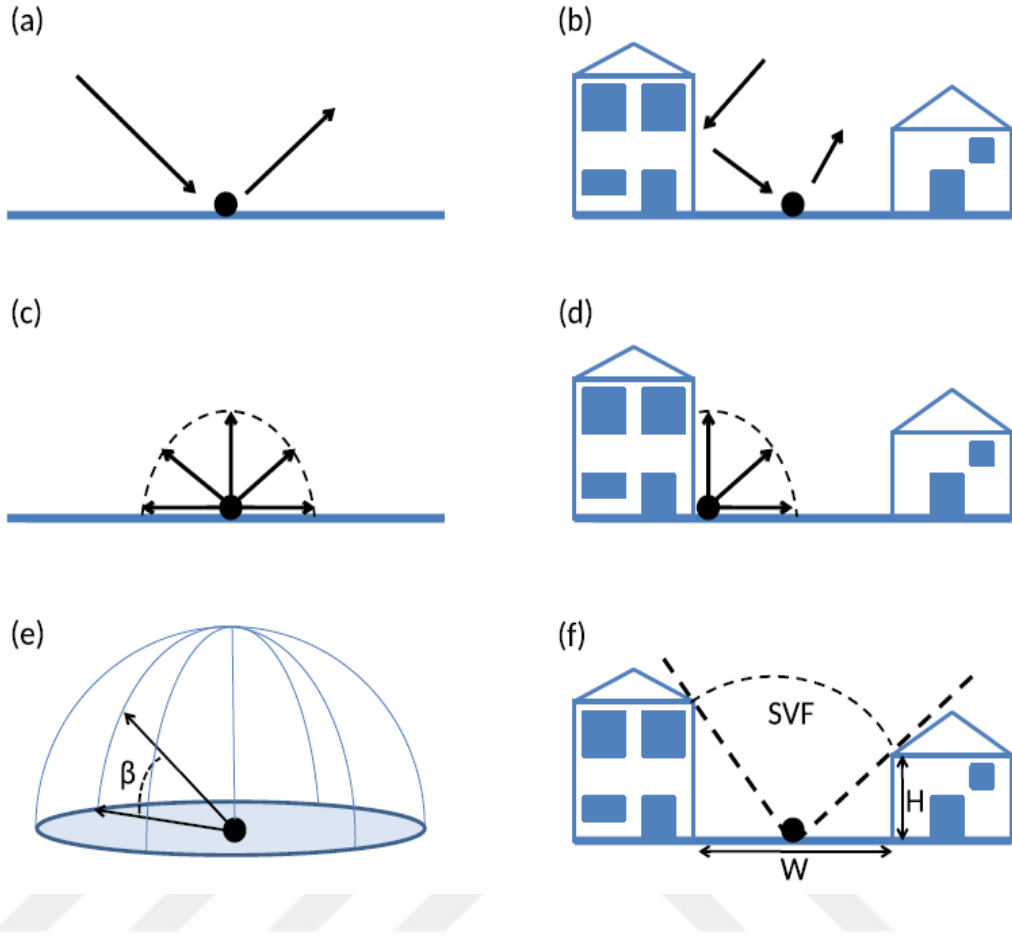
$$SVF_{2D} = \cos \left(\arctan \left[\frac{H}{0.5W} \right] \right) \quad \text{Denklem 2}$$

Burada H engel yüksekliğini, W ise engeller arasındaki mesafeyi tanımlar. 3 boyutlu bir alanda bakış açısındaki (Şekil 2.4e) parametrelere göre, bir nokta için GGF şu şekilde hesaplanır:

$$SVF = \int_{\theta=0}^{2\pi} \cos^2(\beta(R, \theta)) d\theta \quad \text{Denklem 3}$$

Burada β , merkez noktadan maksimum engel yüksekliğine olan en uzun mesafe, R , yarıçapı ifade eder. Bu formül, tüm yönlerde ($d\theta$) 0 ile 2π arasında entegre edildiğinde, tam yarımküre için gökyüzü görünüş faktörü elde edilir.

Genel olarak GGF hesaplamak için 16 adet farklı engelin karkaterize edilmesi ve GGF'yi sınırlayan engelleri tespit etmek için 100m'lik bir arama yarıçapının kullanılması yeterlidir (Doizer ve Frew 1990). Düşük miktardaki engel sayısı, hesaplama sonucu tüm yapıların tespitini zorlaştırabileceği söylenebilir, aynı durum arama yarıçapı için de geçerlidir.



Şekil 2.4. Açık bir alandaki ve cadde kanyonunda radyasyon bileşenleri ve GGF hesaplamaları. (a) açık alanda kısa dalga radyasyonu (b) cadde kanyonunda kısa dalga radyasyonu (c) açık alanda uzun dalga radyasyonu (d) cadde kanyonundaki uzun dalga radyasyonu yayılımı (e) 3 boyutlu hesaplanan GGF; burada β , merkez noktadan en yüksek engele olan açıdır (denklem 3) (f) 2 boyutlu caddede GGF; burada W cadde genişliğini ve H bina yüksekliğini temsil eder (denklem 2) (De wolff 2008; Hämmerle vd. 2011).

Balıkgözü ile çekilmiş fotoğrafı RayMan modelinde kullanmaya hazır hale getirmeden önce, başlangıçta dikdörtgen şekilli bir görüntü olan BG fotoğrafını, merkezde bir daire içine yerleştirilmiş, dört kenara temas eden kare bir bit eşlem dosyasına dönüştürmek için bazı görüntü işleme adımları yapılır (Şekil 2.5).

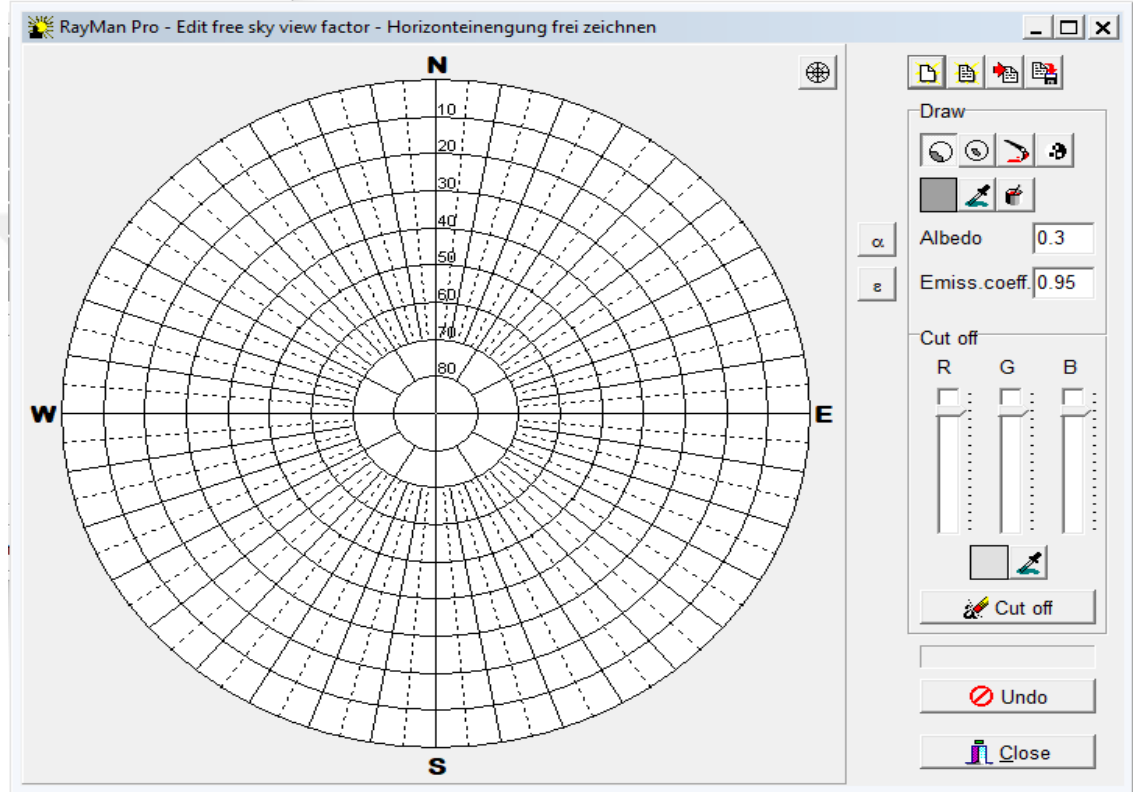
Bu işlem adımları sırası ile;

Görüntü Kırpılması: Dikdörtgen BG görüntüsü tanımlanır ve gereksiz alanlar kaldırılmak için kırpılır. BG dairenin, kırpılmış görüntüde yaklaşık olarak merkezde olması gerekmektedir.

Kare Olarak Yeniden Boyutlandırılma: Kırpılmış görüntü kare yapmak için boyutu yeniden ayarlanır. Bu işlem, orijinal görüntünün en-boy oranına bağlı olarak üst ve alt veya sol ve sağ taraflara boş alan ekleyerek veya alanı genişleterek yapılabilir.

BG Görüntünün Merkezlenme İşlemi: BG, dairenin kare görüntü içinde tam ortada olduğundan emin olunur. Bu işlem yapılırken, daha fazla kırpmaya veya orijinal alan boyutunda yeniden ayarlama gerektirebilir. Bu işlemlerden sonra BG fotoğraf dairenin kare görüntü etrafında dört köşesine de temas ettirilir. Boyut ve konumu buna göre ayarlanır.

Bit (BMP) İşlem Dosyasına Dönüştürme: Görüntü, dışa aktarılacak bir bit eşlem formatına dönüştürülür. Bu işlem, görüntüyü BMP (Bit işlem) gibi Rayman programının desteklediği uygun bir formata kaydetmeyi içerebilir.



Şekil 2.5. Gökyüzü görünüş faktörü arayüzü.

3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Problemin Tanımı

Hızla artan kontrolsüz kentleşme, iklim değişikliğinin olumsuz etkileri karşısında kentsel alanların direncini düşürmektedir. Bir kentin iklim direncinin sağlanabilmesi için gerekli en önemli parametrelerden birisi de kentsel alanın termal konforunun sağlanmasıdır. İklim değişiminin olumsuz etkilerinin daha çok konfor dışı termal ortamlarda meydana gelmesi konunun bir planlama anlayışı çerçevesinde ele alınmasını gerekli kılmaktadır. Ancak, hızla ve kontrolsüz büyüyen kentlerde, bu konunun planlama çerçevesinde ele alınmıyor oluşu, problemin çözümünü zorlaştırmaktadır. Özellikle, yeni gelişen bölgelerde yapılan planlama çalışmalarında göz önünde bulundurulması gereken öncelikli konulardan birisi de kentsel alanın termal konforu olmalıdır.

Bu bağlamda, bu tez çalışmasının yapıldığı Antalya kenti, Türkiye'nin en fazla göç alan ve kontrolsüz büyüyen kentlerinden biridir. Ne yazık ki, Antalya kenti coğrafi olarak küresel iklim değişiminin etkilerinin daha fazla hissedilmesi beklenen Akdeniz havzasında yer almaktadır. Antalya ili nüfus yoğunluğu olarak 2.688.004 kişi ile (Türkiye istatistik kurumu, TÜİK 2022) Türkiye'nin 5. Büyük kenti konumundadır. Yapılan çalışmalar (TÜİK) nüfus artış oranının 2012 yılında bir önceki yıllara göre %30,9 iken 2022 yılında bu oranın pandemi, küresel iklim değişimi, savaşlar, kontrolsüz göçmen girişi gibi sebeplerinin etkisi ile bir önceki yıllara göre artış %130 olarak gerçekleşmiştir (Tüik 2022). Bu oranın önümüzdeki yıllarda da artması beklenmektedir.

Bu tez çalışmasında, kentsel alanın iklim direncinin sağlanabilmesi için, kampüs alanının morfolojik özellikleri ile termal konforu arasındaki ilişkiler incelenmiştir. Çalışmanın temel hipotezleri: “kentsel morfoloji, iklimsel konforu etkilemektedir; bitki örtüsü yoğunluğu iklimsel konforu etkilemektedir” olarak belirlenmiştir. Üniversite kampüsünün morfolojisi, ölçümlerin yapıldığı yol ağı ve yakın çevresinde ele alınmıştır. Morfolojik faktörler olarak bitki örtüsü yoğunluğu, gökyüzü görünüş faktörü, yol yönü ve yol genişliği ele alınmıştır. Binalar ölçüm ağına girmedikleri için değerlendirme dışında kalmışlardır. Konforu belirleyen meteorolojik faktörler olarak hava sıcaklığı, rüzgâr ve nem ele alınmıştır.

Sonuç olarak, kontrolsüz kentleşme ve artan nüfus yoğunluğu, Antalya gibi kentlerin termal konforunu ve dolayısıyla iklim direncini olumsuz etkilemektedir. Bu durum, kentlerin iklim değişikliğine karşı daha kırılgan hale gelmesine neden olmaktadır. Bu nedenle, kentsel planlama süreçlerinde şehirlerin termal konforunun sağlanması ve korunması öncelikli bir konu olarak ele alınmalıdır.

3.2. Çalışma Alanı ve Özellikleri



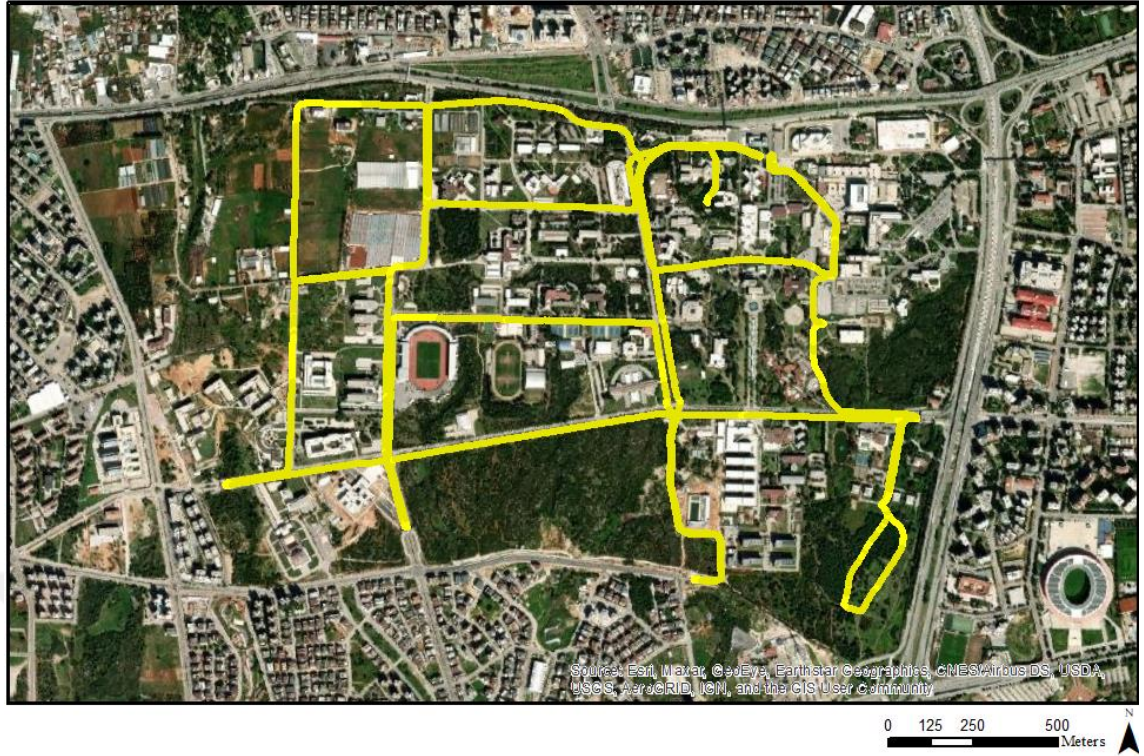
Şekil 3.1. Çalışma alanı

Antalya ilinde genel olarak sıcak ve ılıman bir iklim hâkim olmaktadır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2023). Şehirde kış aylarında yaz aylarından daha fazla yağış olmaktadır. Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre (Köppen 1900) kışları ılık, yazları çok sıcak (Csa) iklim tipinde yer almaktadır (Öztürk vd. 2017). İlin ortalama sıcaklığı 17,8 °C ve yıllık ortalama yağış miktarı 1081 mm kadardır (Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2023).

Antalya şehir merkezi, yaklaşık 20.908 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Bölgenin 2023 ocak ayı ortalama sıcaklığı 9.7 °C iken, 2023 ocak ayı uzun yıllar ortalama sıcaklığı 7.4 °C olarak kaydedilmiştir (Meteoroloji Genel Müdürlüğü 2023). Bu veriler, bölgenin kış aylarının nispeten ılıman geçtiğini göstermektedir.

Çalışma alanı olarak seçilen Akdeniz Üniversitesi yerleşkesi, 36°54' N ve 30°43' E koordinatlarında yer almaktadır. Merkez yerleşke 3.483.589m² arazi yüzölçümü ve 615.105m² yapı alanına sahiptir. Tüm yerleşkelerin toplamında 681.598 m² kapalı alan bulunmaktadır (Şekil 3.1). Ölçüm süresinin minimize edilebilmesi için, en hızlı şekilde kampüs yol ağını tamamlayacak şekilde ölçüm rotası belirlenmiştir (Şekil 3.2).

Antalya'nın coğrafi ve iklimsel özellikleri, bölgenin tarım, turizm ve eğitim gibi çeşitli sektörlerde önemli bir rol oynamasını sağlamaktadır. Özellikle yaz aylarında artan ekstrem sıcaklıklar, termal konforu olumsuz yönde etkilemektedir (Su vd. 2024). Akdeniz Üniversitesi'nin geniş kampüs alanı ve modern altyapısı, bilimsel araştırmalar ve eğitim faaliyetleri için elverişli bir ortam sunmaktadır.



Şekil 3.2. Akdeniz Üniversitesi kampüs yol ağı

Akdeniz üniversitesi yol ağı morfolojik olarak 5 sınıfta toplanmaktadır; kavşaklar, ağaçlı yollar, açık alan, bitki örtüsüyle karışık yüzey, açık alan düşük bitki örtüsü olarak sınıflanmaktadır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Akdeniz üniversitesi yol ağı çevresi morfolojik özellikleri

Yol-Arazi Yapısı	Açıklama	Yol-Arazi görünümü
Kavşaklar	- Açık alan - Kısa boylu bitki örtüsü - İnce uzun yapraklı ağaçlar - Asfalt yol - Kaldırım beton yüzey	

Çizelge 3.1'in devamı

Ağaçlı yollar	- Gölgeleme etkisi yüksek geniş yapraklı ağaçlar - Kısa boylu bitki örtüsü - Orta refüj bölümü maki - Asfalt yol - Kaldırım beton yüzey	
Açık alan, Bitki örtüsü karışık yüzey	- Yol çevresi bir kısım beton bir kısım yeşil alan - Gölgeleme etkisi yüksek geniş yapraklı ağaçlar - Asfalt yol - Kaldırım beton yüzey	
Açık alan, Düşük bitki örtüsü	- Yol çevresi beton yapılar - Gölgelendirme etkisi çok düşük bitki veya kısa ince yapraklı ağaç ve maki - Asfalt yol - Kaldırım beton yüzey	
Botanik bahçe	- Yol çevresi yoğun bitki örtüsü - Gölgelendirme etkisi değişken ince ve geniş yapraklı yüksek ağaçlar. - Toprak yol	

3.3. Veriler

Bu tez çalışmasında Akdeniz üniversitesi kampüs içinde sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı mobil ölçüm cihazları ile alınmıştır. Yapılan çalışmada, FES standartları olarak 35 yaşında erkek bir birey baz alınmıştır. Birey ayakta, enerji harcama durumu 80W ve kıyafet ısı alışverişi 0.90clo standartları kabul edilmiştir. Mobil ölçümler birbirini takip eden günlerde yapılmaya çalışılmıştır fakat Antalya'nın ilkbahar mevsimindeki hızlı ve değişken hava şartları nedeniyle aralıklı olarak yapılabilmektedir. Ölçüm yapılan saatler arasındaki değişken rüzgâr yönünü belirlemek için Antalya hava limanında bulunan sabit meteorolojik istasyon verileri kullanılmıştır (Çizelge 3.2).

Çizelge 3.2. Rüzgâr yönü ve hızı çizelgesi

Tarih	Zaman Aralığı	Sıcaklık	Çiğ noktası	Nem	Rüzgâr yönü	Rüzgâr hızı	Basınç	Durum
17.02.2024	11:50	63 °F	41 °F	45 %	N	9 mph	29.88 in	Fair
17.02.2024	12:20	64 °F	41 °F	42 %	N	8 mph	29.85 in	Fair
17.02.2024	12:50	64 °F	41 °F	42 %	N	7 mph	29.85 in	Fair
17.02.2024	13:20	66 °F	43 °F	43 %	N	7 mph	29.85 in	Fair
17.02.2024	13:50	66 °F	41 °F	40 %	NNW	3 mph	29.85 in	Fair
9.03.2024	11:50	61 °F	36 °F	39 %	NNW	17 mph	29.80 in	Fair
9.03.2024	12:20	63 °F	36 °F	37 %	N	18 mph	29.80 in	Fair
9.03.2024	12:50	63 °F	36 °F	37 %	NNW	16 mph	29.80 in	Fair
9.03.2024	13:20	63 °F	37 °F	39 %	N	16 mph	29.80 in	Fair
9.03.2024	13:50	63 °F	36 °F	37 %	N	15 mph	29.77 in	Fair
10.03.2024	11:50	61 °F	30 °F	31 %	N	7 mph	29.85 in	Partly Cloudy
10.03.2024	12:20	64 °F	30 °F	28 %	N	10 mph	29.85 in	Partly Cloudy
10.03.2024	12:50	64 °F	30 °F	28 %	NNE	12 mph	29.85 in	Partly Cloudy
10.03.2024	13:20	64 °F	30 °F	28 %	NE	9 mph	29.82 in	Partly Cloudy
10.03.2024	13:50	64 °F	30 °F	28 %	ENE	8 mph	29.82 in	Partly Cloudy
14.03.2024	11:50	64 °F	45 °F	49 %	S	5 mph	29.77 in	Mostly Cloudy
14.03.2024	12:20	63 °F	45 °F	52 %	S	9 mph	29.77 in	Mostly Cloudy
14.03.2024	12:50	64 °F	48 °F	56 %	SSW	7 mph	29.77 in	Mostly Cloudy
14.03.2024	13:20	64 °F	46 °F	52 %	SSW	12 mph	29.77 in	Mostly Cloudy
14.03.2024	13:50	64 °F	48 °F	56 %	S	12 mph	29.77 in	Mostly Cloudy
15.03.2024	11:50	63 °F	45 °F	52 %	NNE	5 mph	29.77 in	Partly Cloudy
15.03.2024	12:20	64 °F	43 °F	45 %	VAR	1 mph	29.77 in	Partly Cloudy
15.03.2024	12:50	64 °F	45 °F	49 %	ESE	5 mph	29.77 in	Partly Cloudy
15.03.2024	13:20	63 °F	50 °F	63 %	S	13 mph	29.77 in	Partly Cloudy
15.03.2024	13:50	63 °F	52 °F	68 %	S	14 mph	29.77 in	Partly Cloudy
16.03.2024	11:50	64 °F	41 °F	42 %	N	7 mph	29.85 in	Partly Cloudy
16.03.2024	12:20	66 °F	39 °F	37 %	N	6 mph	29.82 in	Partly Cloudy
16.03.2024	12:50	66 °F	41 °F	40 %	E	5 mph	29.82 in	Partly Cloudy
16.03.2024	13:20	66 °F	41 °F	40 %	VAR	3 mph	29.82 in	Partly Cloudy
16.03.2024	13:50	68 °F	41 °F	37 %	VAR	2 mph	29.82 in	Partly Cloudy
17.03.2024	11:50	57 °F	52 °F	82 %	VAR	2 mph	29.85 in	Light Rain Shower

Çizelge 3.2'nin devamı

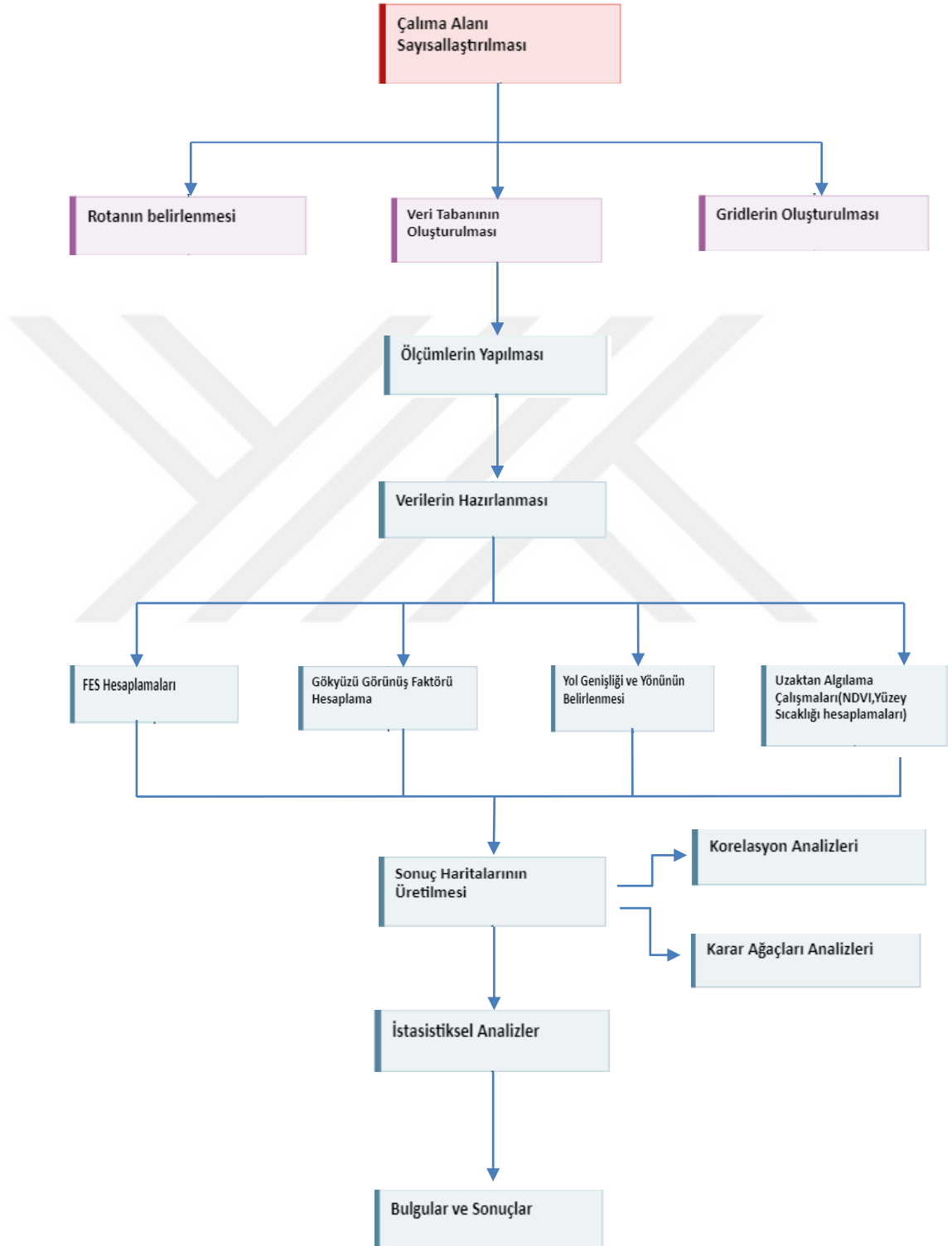
17.03.2024	12:20	57 °F	50 °F	77 %	ENE	5 mph	29.85 in	Light Rain Shower
17.03.2024	12:50	57 °F	52 °F	82 %	SSW	5 mph	29.82 in	Light Rain Shower
17.03.2024	13:20	59 °F	50 °F	72 %	VAR	1 mph	29.82 in	Mostly Cloudy
17.03.2024	13:50	61 °F	50 °F	68 %	W	5 mph	29.82 in	Mostly Cloudy
21.03.2024	11:50	63 °F	36 °F	37 %	NW	21 mph	29.71 in	Partly Cloud /Windy
21.03.2024	12:20	64 °F	37 °F	37 %	NNW	17 mph	29.71 in	Partly Cloudy
21.03.2024	12:50	64 °F	36 °F	34 %	NW	17 mph	29.71 in	Fair
21.03.2024	13:20	64 °F	36 °F	34 %	NW	20 mph	29.71 in	Fair
21.03.2024	13:50	66 °F	36 °F	32 %	NNW	17 mph	29.71 in	Fair
22.03.2024	11:50	61 °F	28 °F	29 %	NNW	16 mph	29.71 in	Partly Cloudy
22.03.2024	12:20	61 °F	28 °F	29 %	NNW	18 mph	29.71 in	Partly Cloudy
22.03.2024	12:50	63 °F	30 °F	30 %	N	22 mph	29.71 in	Partly Cloud /Windy
22.03.2024	13:01	63 °F	32 °F	32 %	NNW	22 mph	29.68 in	Partly Cloud /Windy
22.03.2024	13:20	61 °F	32 °F	34 %	NNW	28 mph	29.71 in	Partly Cloud /Windy
23.03.2024	1:50	59 °F	30 °F	34 %	NNW	23 mph	29.71 in	Partly Cloud /Windy
23.03.2024	11:50	61 °F	28 °F	29 %	N	10 mph	29.77 in	Fair
23.03.2024	12:20	63 °F	28 °F	27 %	N	13 mph	29.77 in	Fair
23.03.2024	12:50	63 °F	23 °F	22 %	NNE	8 mph	29.77 in	Fair
23.03.2024	13:20	63 °F	25 °F	24 %	NE	13 mph	29.74 in	Fair
14.04.2024	1:50	63 °F	27 °F	26 %	ENE	7 mph	29.74 in	Fair
14.04.2024	11:50	81 °F	43 °F	26 %	N	16 mph	29.74 in	Fair
14.04.2024	12:20	81 °F	43 °F	26 %	N	14 mph	29.74 in	Fair
14.04.2024	12:50	82 °F	45 °F	26 %	N	10 mph	29.74 in	Fair
14.04.2024	13:50	82 °F	41 °F	23 %	NNE	9 mph	29.74 in	Fair

Verilerin alındığı zaman aralığında oluşabilecek ani sıcaklık farklılıklarının önüne geçmek için, günün öğlen saatleri seçilmiş ve böylece güneşin daha dik açıyla geldiği ve mevsimsel koşulların daha stabil olduğu zaman diliminde veriler alınmıştır. Mobil ölçüm tarihleri Şubat 2024 ile Nisan 2024 arasındadır. Ana rota üzerinde veri alınmaya başlanmadan önce cihazların her biri kalibre edilmiş ve kısa mesafelerde veri alınarak doğru veri aldığı test edilmiştir. Ocak ve şubat ayı içerisinde test verileri alınmış ve 17 şubatta tüm eksiklikler giderilerek ilk veri alınımına başlanmıştır. Bu süreçte hava koşullarına bağlı olarak 25 kez ölçüm yapılmıştır. Ancak, veri kontrolleri yapılırken ölçüm başlangıcı ile bitiş arasında değişmiş olan meteorolojik koşullar nedeniyle ölçümlerin 14 tanesi iptal edilmiş, 11 tanesi analizlerde kullanmak üzere alınmıştır.

Yüzey Sıcaklığı verileri 16.03.2024 tarihli Landsat-8 uydu görüntülerinden elde edilmiştir. NDVI verileri, ölçümlerin kış sonu ile ilkbahar mevsimi arasında yapılması nedeniyle kampüs içerisindeki ağaçların, yapraklanma ve çiçeklenme dönemini kapsamaktadır. Bu nedenle bu kısa süreç içerisinde kampüsün uydu görüntülerinden elde edilen bitki örtüsü yoğunluğu verileri değişime uğramıştır. Analizlerin bu değişimden etkilenmemesi için mobil ölçüm tarihlerini temsil edecek 29.02.2024, 16.03.2024, 24.03.2024 ve 01.04.2024 tarihlerinde alınan NDVI değerleri kullanılmıştır.

3.4. Yöntem

Çizelge 3.3. İş akış şeması



Karmaşık bir yapıya sahip olan insan bedeni ile çevresel faktörlerin etkilediği termal konfor parametrelerini irdelemek, son derece karmaşıktır. FES üzerine çalışmalar incelendiğinde, konunun mikro ölçekte insan bedeni ile dış dünya arasında termal bağlantının ele alındığı görülmektedir. FES analizine göre insan termal konforunu etkileyen faktörler; hava sıcaklığı, bağıl nem, rüzgâr hızı, güneş radyasyonu, çevre ve yüzey özellikleri, giysiler ve metabolik ısı üretimidir.

Mobil ölçümler ile toplanan veriler her bir gün için ayrı veri tabanında toplanmış, toplanan bu veriler gerekli işlemler yapılarak haritalandırılmış; daha sonra istatistiksel olarak analiz edilmek üzere SPSS programına aktarılmıştır. Uydu görüntülerinden hazırlanacak verilerin elde edilmesi için ham uydu görüntülerinin ön işleminden geçirilmesi ve görüntü düzeltmelerinin yapılması gerekmektedir. Görüntü işleme çalışmalarına başlamadan önce tüm veriler Landsat-8 radyometrik kalibrasyon parametrelerine (USGS 2018) uygun olarak düzeltilmiştir. NDVI (Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi) verileri Landsat-8 uydusundan gerekli band dönüşümleri yapılarak elde edilmiştir.

Analiz kısmında ise elde edilen her bir veri seti için ayrı korelasyon değerleri incelenmiş ve olası farklı kombinasyonlar denenmiştir. Veriler birden fazla değişken içerdiği için, korelasyon yöntemi olarak Spearman Korelasyon Analizi seçilmiştir. İki farklı değişken arasındaki ilişkinin lineer olmadığı senaryolarda tercih edilen istatistiksel bir analiz yöntemi olması dolayısıyla bu yöntem seçilmiştir. Spearman analizi, sıralı verilere dayandığı için veri setindeki ölçek türleri (örneğin, ordinal veya interval) arasında fark gözetmez. Bu nedenle, ölçek türlerinin fark etmemesi, Spearman analizinin seçilmesinde önemli bir rol oynamıştır.

Son aşamada ise, mobil termal istasyon ile elde edilmiş olan sıcaklık, nem, rüzgâr hızı, bu veriler kullanılarak elde edilmiş olan FES değerleri; uydu görüntülerinden elde edilmiş olan NDVI, balıkgözü lens ile yapılan çekimler sonucunda elde edilen gökyüzü görünüş faktörü ve CBS ortamında hesaplanmış olan yol genişliği ve yol yönü verileri birleştirilerek veritabanı oluşturulmuştur. Hazırlanan veritabanı üzerinden, meteorolojik koşullar ile kampüs alanının morfolojisi arasındaki ilişkiler istatistiksel olarak analiz edilmiş, literatürde yer alan sonuçlarla karşılaştırmalı olarak tartışılmıştır.

Yapılan çalışmada veriler alındıktan sonra detaylı bir şekilde veri tabanına aktarıldı ve burada gerekli parametrelere dönüştürüldü. Hesaplamalar yapılırken ilk olarak Antalya bölgesinin ArcGIS programı kullanılarak normalize edilmiş bitki örtüsü (NDVI) modeli oluşturuldu. NDVI hesaplaması sonucunda Antalya ili ve Akdeniz üniversitesi yerleşkesinde bitki örtüsü ve sıcaklık değerleri arasında ilişkiler irdelendi. Daha sonra, alınan sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem değerleri kullanılarak Rayman Pro programında FES değerleri hesaplanmıştır. FES bulgularının çalışma alanı üzerindeki konfor endeksleri incelenmiştir. Bu işlemlerden sonra yine Rayman Pro programı kullanılarak gökyüzü görünüş faktörü hesaplandı. Hesaplanan bu değer sonucunda gökyüzü görünüş faktörü ile yüzey yansıma sıcaklıkları arasında ilişkiler araştırılmıştır.

3.5. Uygulama

3.5.1. Kullanılan cihazlar

3.5.1.1. Log 200 dijital termometre

LOG200 veri kaydedici cihaz, sıcaklık, nem ve buzu çözme noktası sıcaklığı(dewpoint) ölçümlerinin kaydedilmesi için uygundur (Şekil 3.3). Veri kaydedici, dahili bir USB bağlantı noktasına sahiptir ve tüm Windows bilgisayarlarına kablolar olmadan bağlanabilir. USB bağlantı noktası, bir plastik kapakla korunmaktadır. Gerçek ölçüm sonuçlarına ek olarak, ekranda gösterir (Şekil 7). Termometre üzerinde USB koruyucu (1), USB bağlantı aracı (2), gösterge paneli (3), LED ekran yeşil/kırmızı (4), sensör bölmesi (5), batarya yuvası (6), mod tuşu (7), başla/dur tuşu (8) ve kilitlenebilir duvar tutucusu (9) bulunmaktadır.

Sıcaklık Ölçüm Aralığı	-40 ... +70 °C
Sıcaklık Çözünürlük	0.1°C
Sıcaklık Ölçüm Hassasiyeti	±0.5°C (-10 ... 40°C), geri kalandaki ±1°C
Hafıza	150.000
Pil	3.6 V 1/2 AA (dahildir)
Ebatlar	91,5 x 42 x 20 mm
Ağırlık	60 gr.



Şekil 3.3. Log 200 Dijital Veri Kaydedici tuş dizilimi (sağda) ve cihazın teknik özellikleri (solda)

3.5.1.2. PCE-007 anemometre

Anemometre PCE-007 ile hava hızı ve hava sıcaklık ölçümleri gerçekleştirilebilir. Anemometre, kesit alanı girildiğinde doğrudan debiyi de görüntüler. Ölçüm değerleri, anemometrede kaydedilebileceği gibi bilgisayara da aktarılabilir ve istenildiğinde değerlendirilebilir (Şekil 3.4).

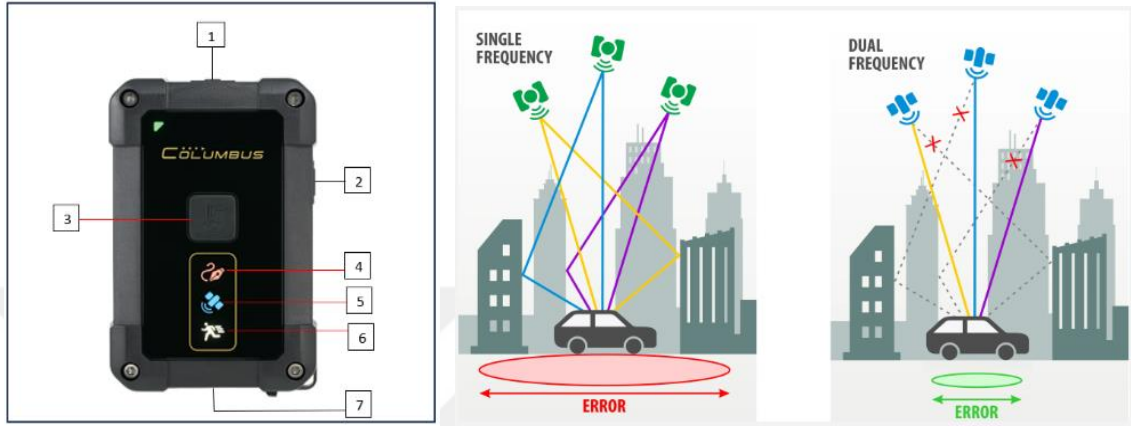
Ölçüm aralığı	0.3-45 m/s
	0.0-45.0°C
	0.0-999900m ³ /min
Çözünürlük	0.01 m/s (tüm ölçüm birimleri için aynı)
	0.2°C
	0.001-100 (tüm ölçüm birimleri için aynı)
Hassasiyet	±3 % ± 0.1 (tüm ölçüm birimleri için aynı)
	±1°C



Şekil 3.4. Pce-007 Anemometre (sağda) ve cihazın teknik özellikleri (solda)

3.5.1.3. Columbus P-10 pro hd gnss data logger

Columbus P-10 Pro (Şekil 3.5), klasik GPS sinyalinin yanı sıra GLONASS uydu sinyallerini alabilen bir veri kaydedicisidir. Cihaz modern yüksek tanımlı GNSS teknolojisi ve iki farklı frekansta aynı anda sinyal işleme, 1 metrenin altındaki son derece yüksek konum doğruluklarına izin vermektedir. Bu özellik, yapılan çalışmada hareketli veriler alınacağı için konum hassasiyeti belirlemek açısından önemlidir.



Şekil 3.5. Columbus P-10 Pro Datalogger (solda). Açma/Kapama tuşu (1), Fonksiyon tuşu (2), Yer kontrol noktası atma tuşu (3), Veri kayıt simgesi (4), Uydu arama/bulma simgesi (5), yürüme modu simgesi (6), Micro SD kart yuvası/Şarj yuvası bölümü (7) ve cihazın çalışma prensibi (sağda) (Tomaščík vd. 2021)

Cihazın aynı zamanda dahili L1+L5 çift anten içermesinden dolayı, uydulardan L1+L5 bandından aynı anda veri alımına olanak sağlar. L1 bandı frekansı 1575 Mhz, L5 bandı frekansı ise 1176 Mhz'dir. L5 bandının dalga boyu daha uzundur bu sayede iletim sırasında meydana gelebilecek olan sinyal zayıflıklarının ve konumdaki sapmaların önüne geçilir (Şekil 9). L5'in chip hızı 10.23Mhz olduğundan L1 bandına oranla 10 kat hızlıdır. Bunun neticesinde mesafe ölçüm hızı da L1 bandına oranla 10 kat hızlıdır (Tomaščík vd. 2021). Cihaz diğer tek frekanslı ölçüm aletleri ile kıyaslandığında konumlandırma hassasiyeti tek frekanslı aletlerde ortalama 2.5 m iken tezde kullanılan cihazda bu oran 0.5m olarak ölçülmüştür. Bu da yapılan çalışmanın veri hassasiyetini son derece güvenilir kılmaktadır.

3.5.1.4. UNIT UTI120 mobil termal kamera

UNI-T Nano (Şekil 3.6), çok küçük boyutlu bir termal görüntüleyici, akıllı telefonlar için takılabilir bir termal kameradır. Cihaz, -20°C ile +400°C'ye kadar olan sıcaklıkları algılayabilmesi sayesinde yapılan çalışmada veri alırken değişken hava sıcaklıklarını tespitini son derece kolaylaştırmıştır.

Özellikler	UTI120 Mobil
Kızılötesi Çözünürlük	120*90 piksel
Görüş Alanı (FOV)	50°×38°
Termal Hassasiyet	< 60mk
Sıcaklık Aralığı	-20~400°C
Kare Hızı	25Hz
Ölçüm Doğruluğu	±2°C veya ±2% hangisi daha büyükse



Şekil 3.6. UNIT UTI 120 Termal kamera (sağda) ve teknik özellikleri (solda)

3.5.2. Bisikletli mobil ölçümler

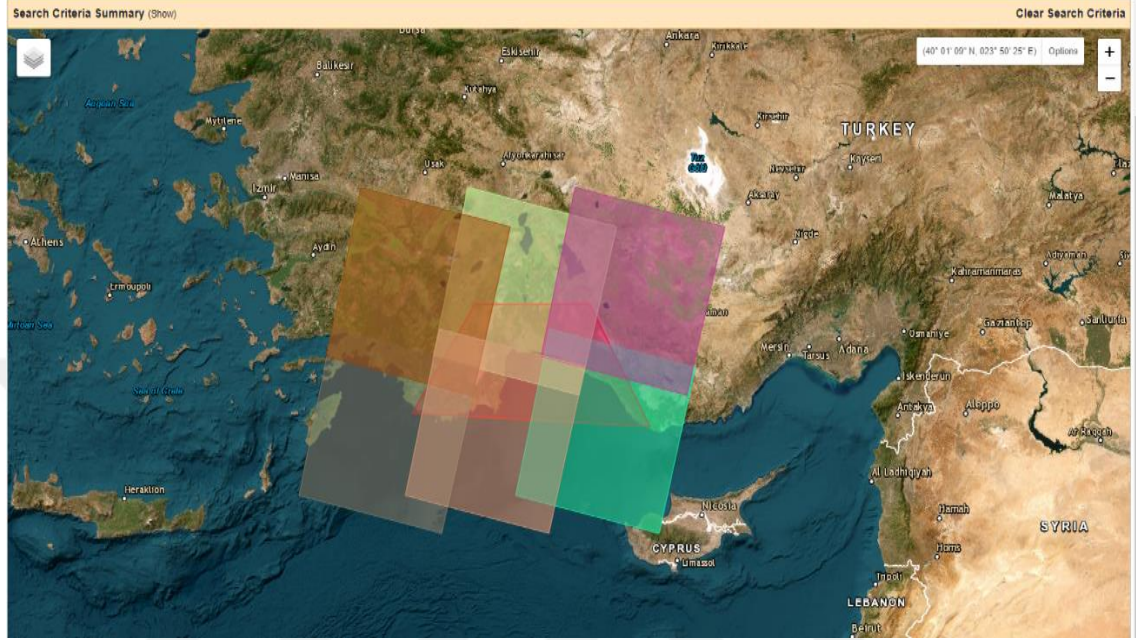
Özellikle son yıllarda daha çok kullanılmaya başlanan, meteorolojik ölçüm yöntemlerinden birisi de mobil ölçüm tekniklerinin kullanımıdır (Zaki vd. 2020; Tsin vd. 2016; Krecl vd. 2019; Žgela vd. 2024). Otomobiller, motosikletler ya da bisikletlerle yapılan ölçümler, belli bir zaman aralığında çok fazla sayıda veri alınmasına olanak tanıdığı için, küçük alanların yerel ikliminin modellenmesinde avantaj yaratmaktadır.

Yapılan bu tez çalışmasında sabit bir hızda gidilmesi gerektiğinden ve arazi yapısının eğimli olmasından dolayı elektrikli bir bisiklet tercih edilmiştir (Şekil 3.10). Mobil ölçüm cihazında yapılan hız sabitlemesi, gridler içine en az iki ölçüm yapılabilmesine olanak tanımıştır. Ayrıca, elektrikli bisikleti kullanılarak, yorulmaya bağlı aksaklıkların yaşanmasının da önüne geçmiştir.

Sıcaklık, nem ve rüzgâr hızı parametreleri, mobil ölçüm cihazı üzerine entegre edilen termometre ve anemometre cihazları vasıtası ile elde edilmiştir. Ölçümler yapılmadan önce bu iki cihazın her 10 s’de bir veri alacak şekilde kalibre edilmiş ve böylece birbirleri ile eşzamanlı veri almaları sağlanmıştır. Aynı zamanda olası veri kaymalarının da önüne geçilmiştir. Burada dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise bisikletin hızıdır. Oluşturulan grid ağı 50*50m genişliğinde olduğu için verilerin her bir grid içinde kontrolünü sağlamak amacıyla en az iki veri alınması gerekmektedir. Bunun için bisikletin ortalama hızı ortalama olarak 9km/h olarak sabitlenmiş ve bu hızda tüm rotada ölçümler yapılmıştır. Bazı ekstrem durumlarda (yoğun trafik durumları, yaya yoğunluğu, yapılan inşaat çalışmaları nedeniyle yollarda biriken moloz yığınları gibi) bisikletin hızı artmış veya azalmıştır. Bu tarz durumlarda veri kaybının önüne geçilmesi adına sabit hat boyunca tekrar veri alınmış ve bu sayede verilerin doğruluğu korunmuştur.

3.5.3. Uzaktan algılama çalışmaları

Landsat uydu verileri United States Geological Survey (USGS, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu) adresinden (Şekil 3.7) temin edilmiştir. Çalışmada uzaktan algılama teknikleri ile yüzey sıcaklıkları ve NDVI değerleri elde edilmiştir.



Şekil 3.7. USGS adresinden elde edilen Antalya verilerinin gösterimi

3.5.4 Normalize edilmiş fark bitki örtüsü indeksi (NDVI)

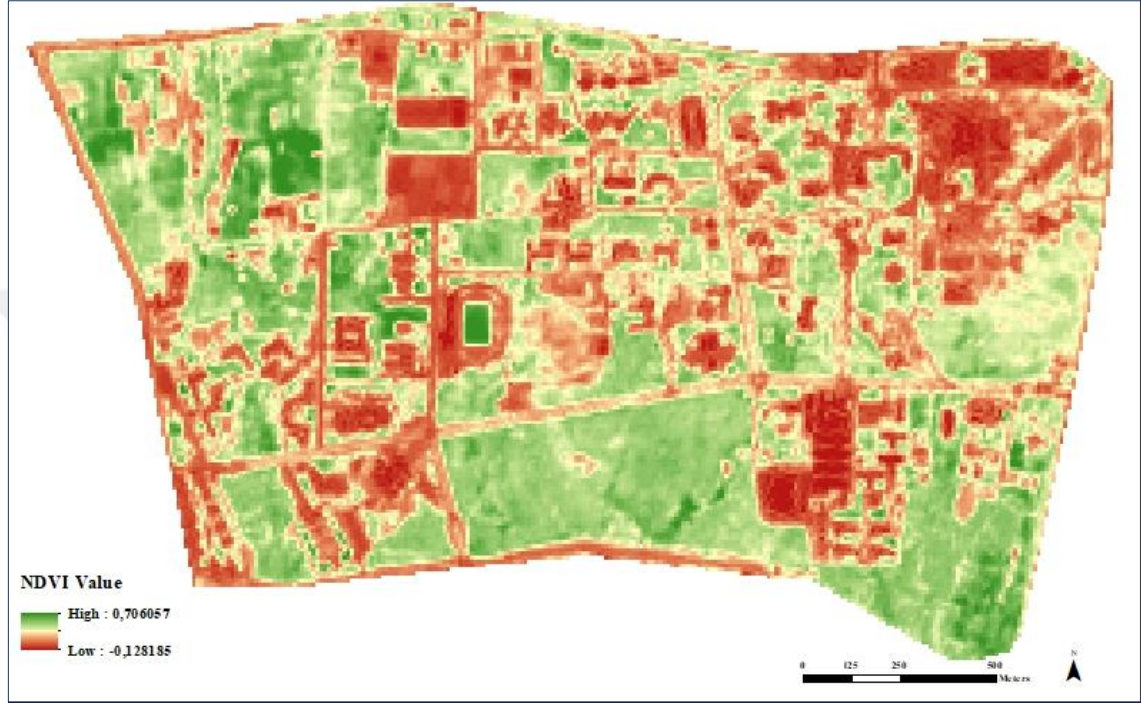
Uzaktan algılama (UA) görüntüleri, farklı bant kombinasyonları kullanılarak belirli nesneleri veya doğal bitki örtüsünü öne çıkarmak amacıyla işlenir ve analiz edilmektedir. Bu süreç, farklı dalga boylarındaki görüntülerden çeşitli bilgiler elde etmek için yaygın olarak kullanılmaktadır. Çok bantlı görüntülerden elde edilmiş yüzden fazla bitki örtüsü indeksi bulunmaktadır (Xue ve Su 2017). Kriegler ve diğerleri (1969) tarafından tanıtilen Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), hızlı ve etkili bir yöntemdir. NDVI, yakın kızılötesi bant (NIR) ile kırmızı bant kombinasyonlarının farkının, bu iki bandın toplamına bölünmesiyle elde edilmektedir (Denklem 4).

$$NDVI = \frac{NIR - Red}{NIR + Red} \quad \text{Denklem 4}$$

NDVI'nın amacı, uzaktan algılama verilerinden bitki örtüsü bilgilerini analiz etmek ve iyileştirmektir. Çalışmalar, NDVI'nın kırsal ve ormanlık alanlar, düşük yoğunluklu bitki örtüsü ve tarım alanları arasında ayrım yapmada etkili olduğunu göstermiştir (Festorelli vd. 2005). Ayrıca, yaprak alan indeksi (LAI) (Tian vd. 2017), biyokütle (Zhu ve Liu 2015), yapraklardaki klorofil konsantrasyonu (Pastor-Guzman vd. 2015), bitki üretkenliği (Vicente-Serrano vd. 2016), fraksiyonel bitki örtüsü (Dutrieux vd. 2015) ve bitki stresi (Chavez vd. 2016) gibi özellikleri tahmin etmekte de etkilidir.

Farklı platformlardan elde edilen uzaktan algılama verileri sayesinde kullanıcılar için veri, giderek daha kolay erişilebilir bir kaynak haline gelmiştir. Yapılan bu çalışmada veri işleme kolaylığı ve erişim kolaylığı açısından Landsat uydu verileri kullanılmıştır.

Oluşturulan NDVI haritaları için seçilen tarih aralıkları araziye çıkılan tarihlerle yakın olmasına dikkat edildi. Bu sayede alınan her verinin bitki örtüsü ile ilişkisi daha detaylı bir şekilde irdelendi (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Çalışma alanı, 13 Mart 2024 tarihli NDVI bitki örtüsü gösterimi

3.5.5. Yüzey sıcaklığı (Land Surface Temperature, LST) analizi

Çalışma ArcGIS uygulaması kullanılarak yapılmıştır. Bu çalışmadaki amaç mobil ölçüm cihazı ile alınan sıcaklık verisi ile uydu verisi arasındaki ilişkiyi anlamak ve verilerin tutarlılığını kontrol etmektir. İlk olarak uydu verileri, Amerika Birleşik Devletleri Jeolojik Araştırma Kurumu (USGS) sitesinden indirildi. Araştırmada veri alınan günlerle Landsat uydusunun zamansal çözünürlüğü birbirleri ile uyuşmaması ve veri alınan bazı günler mevsimler etkileri nedeniyle çalışma alanının bulutlu olmasından dolayı sadece 16 Mart 2024 tarihi için uygun veri alınabilmektedir.

LST analizi yapılması için öncelikle Landsat-8 uydu görüntülerinin termal görüntü band değerlerinin radyans değerlerine dönüştürülmesi gerekmektedir. Radyans değer dönüşümü için denklem formülü kullanılmıştır (Yuan ve Bauer 2006; Zhang vd. 2006; Barsi vd. 2014; Yılmaz 2015; Şener 2016; Akyürek 2020; Roy vd. 2020).

$$L\lambda = Ml * Q_{cal} + Al$$

Denklem 5

Burada $L\lambda$ hesaplanan radyans değerini ($W/(m^2 \cdot sr \cdot \mu m)$), Ml radyans ölçüm değerini, Q_{cal} uydu görüntüsünün piksel değerini ve Al ise ilave ölçeklendirme faktörünü ifade eder. Ml, Al değerlerine USGS sitesinden indirilen görüntüler içindeki meta dosyasından ulaşılmıştır. Bu işlemden sonra elde edilen radyans değerlerini sıcaklık değerlerine dönüştürdük. Bu işlem için denklem kullanılmıştır (Chander ve Markham 2003; Yuan ve Bauer 2006; Coll vd. 2010; Orhan vd. 2014; Giannini vd. 2015; Yılmaz 2015; Avdan ve Jovanovska 2016; Şener 2016; Akyürek 2020; Polat 2020; Roy vd. 2020).

$$T_b = \frac{K_2}{\ln \left(\frac{K_1}{L\lambda} \right)} - 273.15 \quad \text{Denklem 6}$$

Burada T_b radyans sıcaklık değeri ($^{\circ}C$), $L\lambda$ denklem de hesaplanan radyans değerini, K_1 ve K_2 ise uydu meta verisinden elde edilen termal dönüşüm sabitlerini ifade etmektedir. Denklem bir sıcaklık değeri vermiş olsa da bu değerler yüzey sıcaklığı ifadesi için doğru değerler değildir.

Bu işlemlerden sonra LST analizi yapılabilmesi için öncelikle NDVI bitki örtüsü hesaplaması yapılması gerekmektedir. Landsat-8 için yakın kızıl ötesi band değeri band 5, kırmızı band değeri ise band 4 içinde mevcuttur. NDVI analizi için denklem 4 kullanılarak analiz gerçekleştirilmiştir. NDVI'nın bitki örtüsü ve toprak değerleri kullanılarak çalışma alanını bitki örtüsü oranı hesaplanmıştır (Denklem 7). Bu hesaplama yeryüzünün ışıınım değerinin (ε) hesaplanmasında kullanılmıştır (Sobrino vd. 2004; 2008; Giannini vd. 2015; Akürek 2020).

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad \text{Denklem 7}$$

Burada P_v bitki örtüsü oranı, $NDVI_{min}$ NDVI piksel değerleri içindeki minimum değeri, $NDVI_{max}$ ise NDVI piksel değerleri içindeki maksimum değeri göstermektedir. Bu işlemden sonra yeryüzü ışıınım değeri (ε) hesaplanmıştır. Bu çalışmada yeryüzü ışıınım değeri hesaplaması için NDVI değerlerine bağlı yöntem kullanılmıştır. Landsat-8 uydu verisi yeryüzü ışıınım değerleri su için 0.991, bina için 0.962, toprak için 0.966 ve bitki için 0.973 değerlerinin kullanılması önerilmiştir ve bu çalışmada da bu öneriler dikkate alınarak ε değeri (Denklem 8) hesaplanmıştır (Wang vd. 2015).

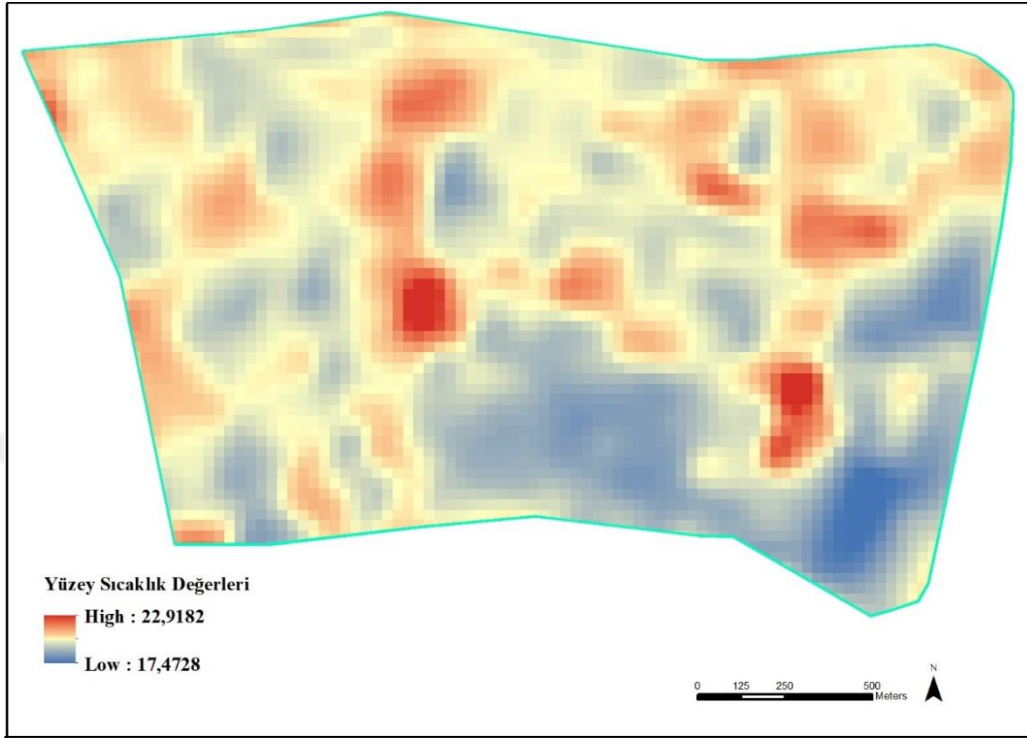
$$\varepsilon = 0.986 + 0.004 * P_v \quad \text{Denklem 8}$$

Burada P_v değeri denklem de bulduğumuz bitki örtüsü oranıdır. Bu işlemlerden sonra LST analizi yapmak için denklemini kullanarak yüzey sıcaklığı analizi yapılmıştır.

$$T_s = \frac{T_b}{1 + \left(\lambda * \frac{T_b}{h * c} \right) * \ln \varepsilon \lambda} \quad \text{Denklem 9}$$

Formüldeki, T_b : Sensör parlaklık sıcaklık değerini ($^{\circ}C$), λ : Gelen termal bant dalga boyunu (Landsat-8 için $10.895 \mu m$), h : Planck sabitini ($6.626 * 10^{-34} J_s$), b : Boltzmann sabitini ($1.38 * 10^{-23} J/K^{-1}$), c : Işık hızını ($2.998 * 10^8 m/s$) ve $\varepsilon \lambda$: Piksele karşılık gelen yeryüzü ışıınım değerini ifade etmektedir.

Yapılan bu işlemler sonucunda Landsat-8 uydu verisinden 16 Mart 2024 tarihli verilerin yüzey sıcaklık değerleri elde edilmiş ve sonuçları yersel ölçüm aletleri ile alınan veriler ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Landsat-8 uydu verisi kullanılarak elde edilen yüzey sıcaklık dağılım haritası



Şekil 3.10. Mobil ölçüm aracı. Arka kısmına anemometre, GPS cihazı ve termometre yerleştirilmiştir

Çizelge 3.4. Mobil ölçüm detayları

	Açıklama
Tarih	17.02.2024-14.04.2024
Zaman Aralığı	12:00-14:00
Araç	RKS XS35 PRO 350W
Araç hızı	9km/sa
Cihazlar	Columbus P-10 Pro PCE-007 Anemometre LOG210 Termometre
Ölçüm Aralığı	1.30 saat
Cihaz yüksekliği	Termometre 1.10m GPS 80cm Anemometre 2.20m

Mobil ölçüm detayları Çizelge 3.4'te verilmiştir. Ölçümler Şubat-Nisan 2024 tarihleri arasında gerçekleştirilmiştir. Ana rota üzerinde veri alınmaya başlanmadan önce cihazların her biri kalibre edilmiş ve kısa mesafelerde veri alınarak doğru veri aldığı test edilmiştir. Ocak ve şubat ayı içerisinde test verileri alınmış ve 17 Şubat'ta tüm eksiklikler giderilerek ilk veri alınımına başlanmıştır.

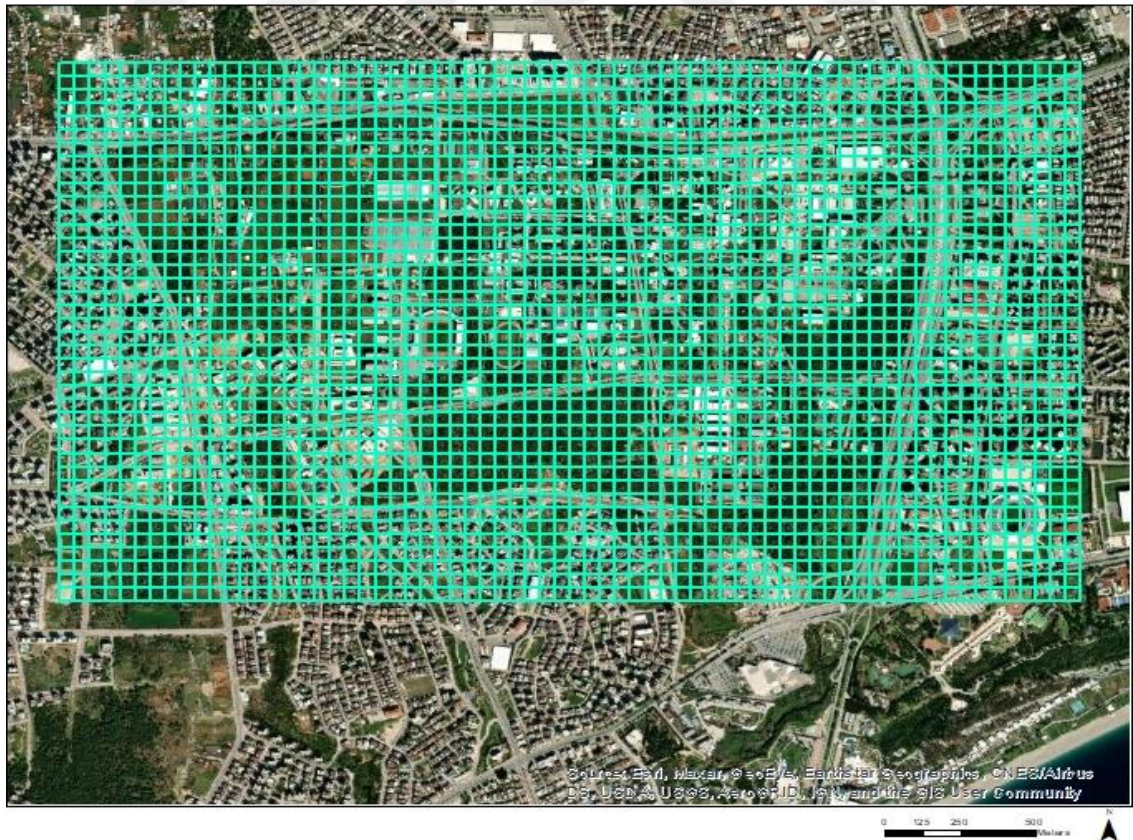
**Şekil 3.11.** Mobil ölçüm aracı ile verilerin alınması

Ölçümlere başlanılan Şubat-Nisan ayı içinde ve şubat ayından önce deneme verilerinin alındığı süreçte toplam 25 adet veri alınmıştır. Veri alımı sırasında cihazların kalibrasyonu her gün yeniden yapılmasına rağmen cihazların bazı günler farklı sürelerde veri almalarından dolayı verilerde kaymalar olmuştur. Ölçüm yaparken farklı saat aralıklarında araziye çıkmış ve özellikle hava durumunun stabil olmadığı dönemlerde başlangıç ve bitiş verileri arasında ortalama 2°C ye yakın sıcaklık farklılıkları oluşmuştur.

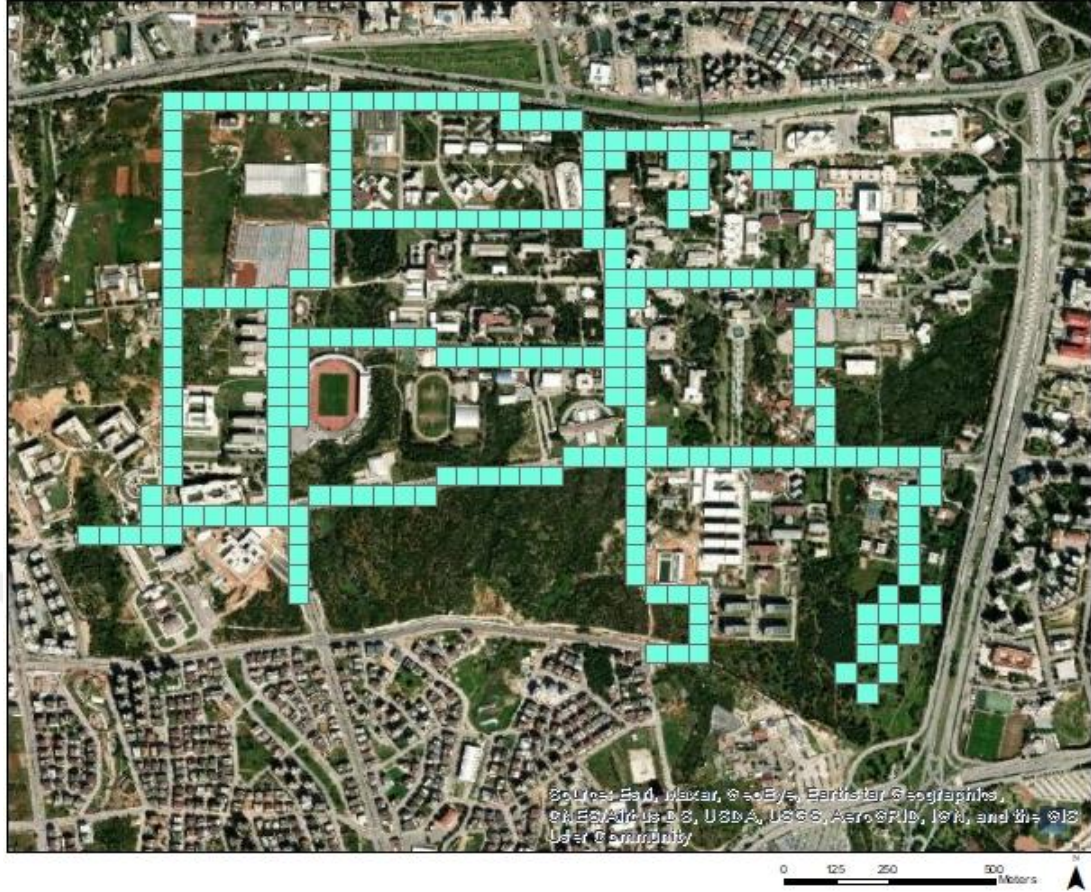
Özellikle Antalya'nın ölçüm alınan zaman diliminde kararsız hava şartları veri alımını zorlaştırmıştır. Yine aynı şekilde hava şartlarının tutarsızlığı neticesinde (ani soğumalar ve ani rüzgâr artışları) sonuç verilerinde normal değerlerin çok üzerinde veya çok aşağısında veriler gözlemlenmiş ve uygun olmayan 14 adet veri seti değerlendirmeden çıkarılmıştır. Süreç sonunda uygunluğu doğrulanmış 11 adet veri seti ile ölçümler tamamlanmıştır.

3.5.6. Veritabanının hazırlanması

Veritabanı hazırlanırken öncelikle Akdeniz üniversitesi kampüsünü kapsayan grid ağı oluşturulmuştur (Şekil 3.12). Grid boyutu, planlanan ölçüm aralığı ve araç hızı da göz önünde bulundurularak 50m * 50m olarak belirlenmiştir. Yapılan tüm ölçümler, uydu görüntülerinden elde edilen veriler ve CBS ortamında temin edilen gerekli parametreler, bu grid tablosunda toplanmıştır. Bu işlemden sonra ölçüm alınacak rota belirlenmiştir (Şekil 3.13). Rota belirlenirken birçok farklı parametre göz önünde bulundurulmuştur. Bu parametrelerden en önemlisi, gidilecek olan rotanın etrafında bulunan bitki örtüsü ve ağaç yapısı olarak görülmüştür. Dolayısıyla rota belirlenirken genel olarak üniversite içindeki populasyonun yürüme güzergahları ve bu rotalar üzerinde bulunan farklı yapıda bitkiler ve ağaçların olmasına dikkat edilmiştir. Rota belirlenmesi için deneme sürüşleri yapılmış ve arazi yapısı gözlemlenmiştir. Rota seçilirken rüzgâr etkisinin daha iyi anlaşılabilmesi için Kuzey-Güney ve Doğu-Batı yönünde yol hatları seçilmiştir. Sonuç olarak çalışma alanında termal konforu etkileyebilecek tüm parametreler göz önünde bulundurularak rota oluşturulmuştur.



Şekil 3.12. Çalışma alanı ve çevresinde oluşturulan grid ağı



Şekil 3.13. Ölçüm rotalarına ait grid ağı

3.5.7. Meteorolojik ölçümlerin veritabanına aktarılması ve FES hesaplamaları

Veriler, 17 Şubat ile 14 Nisan 2024 tarihleri arasında alınmıştır. Veri alım saati belirlenirken Antalya ilinin bu mevsimler arasındaki değişken hava durumu saat belirlenmesini oldukça güç hale getirmiş, yapılan denemeler neticesinde hava durumunun en stabil olduğu aralık olan saat 12:00 ile 14:00 arasında veri alımı yapılmıştır. Ölçümler, güneşli günlerde yapılmıştır.

Bisikletli mobil ölçümler sonucunda alınan veriler dışa aktarılarak, tarihlere göre ayrı tablolar haline getirilmiştir. Bu tablolarda her bir tarihe ait veriler, zaman bilgileri referans alınarak eşleştirilmiş, tek bir tabloda sıcaklık, nem, rüzgâr ve koordinat bilgisi olacak şekilde birleştirilmiştir. Daha sonra alınan bu veriler, koordinat bilgilerinden faydalanılarak CBS ortamında nokta verilere dönüştürülmüştür. Bu nokta veriler gridlerle mekânsal ilişkilendirilerek, grid id bilgileri tüm verilere yazdırılmıştır. Her bir grid içerisine düşen sıcaklık, nem, rüzgâr hızı verileri ortalamaları alınarak, grid veri tabanı oluşturulmuştur.

Elde edilen bu her bir noktanın FES değeri, basit, hızlı ve anlaşılır bir arayüze sahip olan Rayman-Pro yazılımı kullanılarak hesaplatılmıştır. FES analizi, 1.75m boy, 80kg ağırlık, 35 yaş, clo aktivitesi 0.90 ve vücut aktivitesi 80W olan erkek bir birey için yapılmıştır. Hesaplamalar sırasında gerekli olan parametrelerden biri olan global

radasyon (W/m^2) değeri için, piranometre cihazının alınamamış olması nedeniyle, Enerji İşleri Genel Müdürlüğü (2023) tarafından yayınlanmış olan mevsim ortalama değeri sabit olarak kullanılmıştır. Meteorolojik ölçümler sırasında ilkbahar mevsiminin değişken yapısına bağlı olarak ölçüm günlerinde çok farklı hava şartları ile karşılaşmıştır. Bu farklılıkların daha net görülebilmesi ve sonuçların daha sağlıklı değerlendirilebilmesi için, her bir güne ait ölçülen hava sıcaklıkları, FES, nem, rüzgâr verilerine ait max, min ve $\Delta_{(max-min)}$ değerleri çizelge 3.5'te verilmiştir.

Çizelge 3.5. Sıcaklık, FES, Rüzgâr Hızı ve Nem değerlerinin minimum maksimum ve $\Delta(x)$ aralıkları

Tarih	FES (°C)			Hava Sıcaklığı (°C)			Rüzgâr Hızı (m/s)			Nem (% rH)		
	FES _{max}	FES _{min}	Δ_{FES}	T _{max}	T _{min}	ΔT	W _{max}	W _{min}	ΔW	H _{max}	H _{min}	ΔH
17.02.2024	16.90	12.80	4.1	22.6	20.70	1.9	7.49	0.34	7.15	40.80	31.70	9.1
09.03.2024	15.60	11.70	3.9	21.60	20.40	1.2	8.91	0.33	8.58	32.80	24.10	8.7
10.03.2024	15.50	12.20	3.3	22.30	20.70	1.6	8.55	0.35	8.2	25.80	16.20	9.6
14.03.2024	16.90	12.00	4.9	21.60	20.10	1.5	9.58	0.33	9.25	53.20	40.60	12.6
15.03.2024	16.80	11.40	5.4	21.40	20.20	1.2	14.50	0.35	14.15	51.10	38.30	12.8
16.03.2024	17.70	12.20	5.5	23.30	22.20	1.1	9.23	0.34	8.89	41.30	26.70	14.6
17.03.2024	11.90	7.30	4.6	17.30	16.30	1	17.06	0.43	16.63	67.70	53.00	14.7
21.03.2024	16.60	12.70	3.9	22.00	20.60	1.4	15.50	0.33	15.17	41.70	23.60	18.1
22.03.2024	14.40	9.80	4.6	20.40	17.50	2.9	13.90	0.34	13.56	33.80	20.30	13.5
23.03.2024	15.40	10.60	4.8	22.2	19.70	2.5	16.99	0.41	16.58	28.10	15.11	12.9
14.04.2024	28.80	15.20	13.6	32.70	23.70	9	7.68	0.32	7.36	34.50	14.80	19.7

3.5.8. Gökyüzü görünüş faktörü (GGF, Sky View Factor)

Bölüm 2.4'te belirtildiği üzere gökyüzü görünüş faktörü, yapay veya doğal bir engel olmadan gökyüzünde gözlemlenen toplam açık alanı temsil etmektedir (Song 2024). Gökyüzü görünüş faktörü analizi, gözlemlenen toplam alanda termal konfor ve NDVI parametreleri arasındaki bağlantıyı saptamak için önemli bir parametredir. GGF için alınan görüntüler ışığında, geçirimsiz yüzey yapılarının ve doğal bitki örtüsünün fazla olduğu bölgelerde (Şekil 2.4f) gökyüzü görünüş faktörünün 0'a daha yakın bir değer alması, geçirimsiz yüzey yapılarının ve doğal bitki örtüsünün az olduğu bölgelerde ise 1'e daha yakın bir değer alması beklenmektedir.

Gökyüzü Görünüş faktörünü hesaplamak için fotoğraf makinesine balıkgözü lens takılarak daha önceden belirlenen güzergâh noktalarından (Şekil 3.15) yerden yaklaşık olarak 1m yükseklikte ve kamera baş kısmı kuzeyi gösterecek şekilde sabitlenip gökyüzünün 360° fotoğrafları çekilmiştir. Gökyüzü görünüş faktörünün hesaplanılmasında Rayman Pro programı kullanılmıştır.

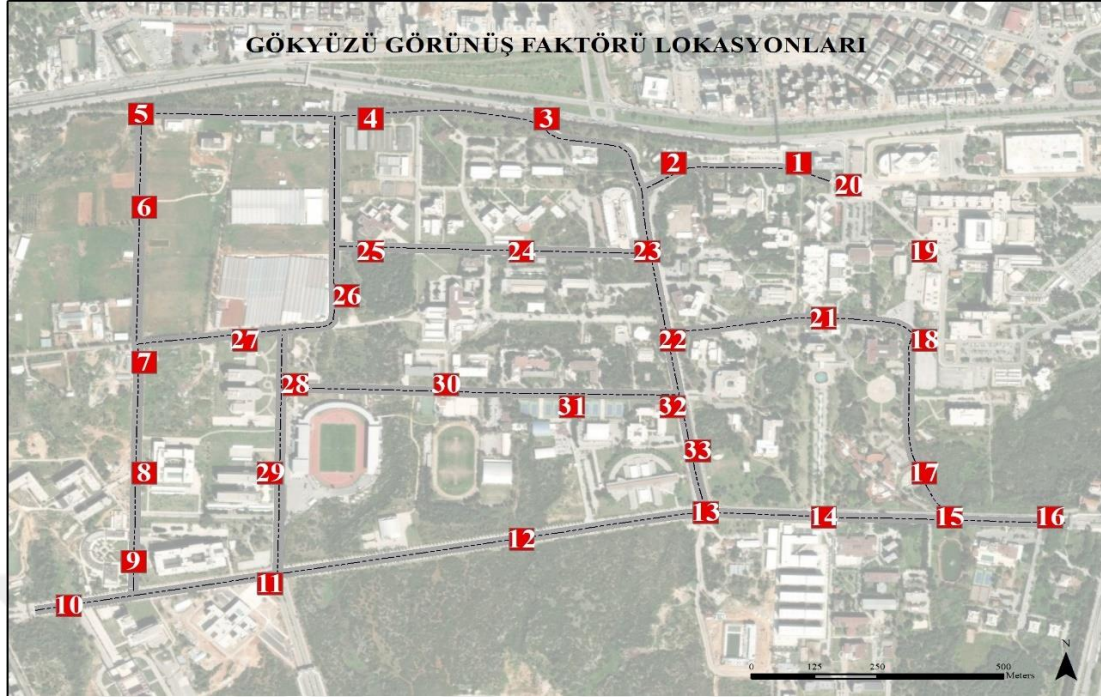
Elde edilen görüntüler, Rayman Pro uygulamasında işlenebilmesi için fotoğraflar .bmp uzantısına dönüştürülmüştür ve kenar siyahlıkları kırpılmıştır. Kırpılmış görüntü Rayman Pro uygulamasında maskelenerek gökyüzü ve diğer unsurlar fotoğraftan silinerek monokromatik bir görüntü elde edilmiştir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Gökyüzü görünüş faktörü için kenar boşlukları kırpılmış ham fotoğraf (solda) ve monokromatik görüntü (sağda). GGF değeri: 0,755

Gökyüzü görünüş faktörü hesaplaması için, rota dikkate alınarak, aynı hatta denk gelen yollardan en az iki fotoğraflama yapılmıştır. İlk olarak rota üzerinde 33 farklı nokta belirlenmiş, tüm noktaların GGF değerleri incelenmiş ve birbirine komşu noktaların değerlerinde farklılık gözlemlenmemiştir (Şekil 3.15).

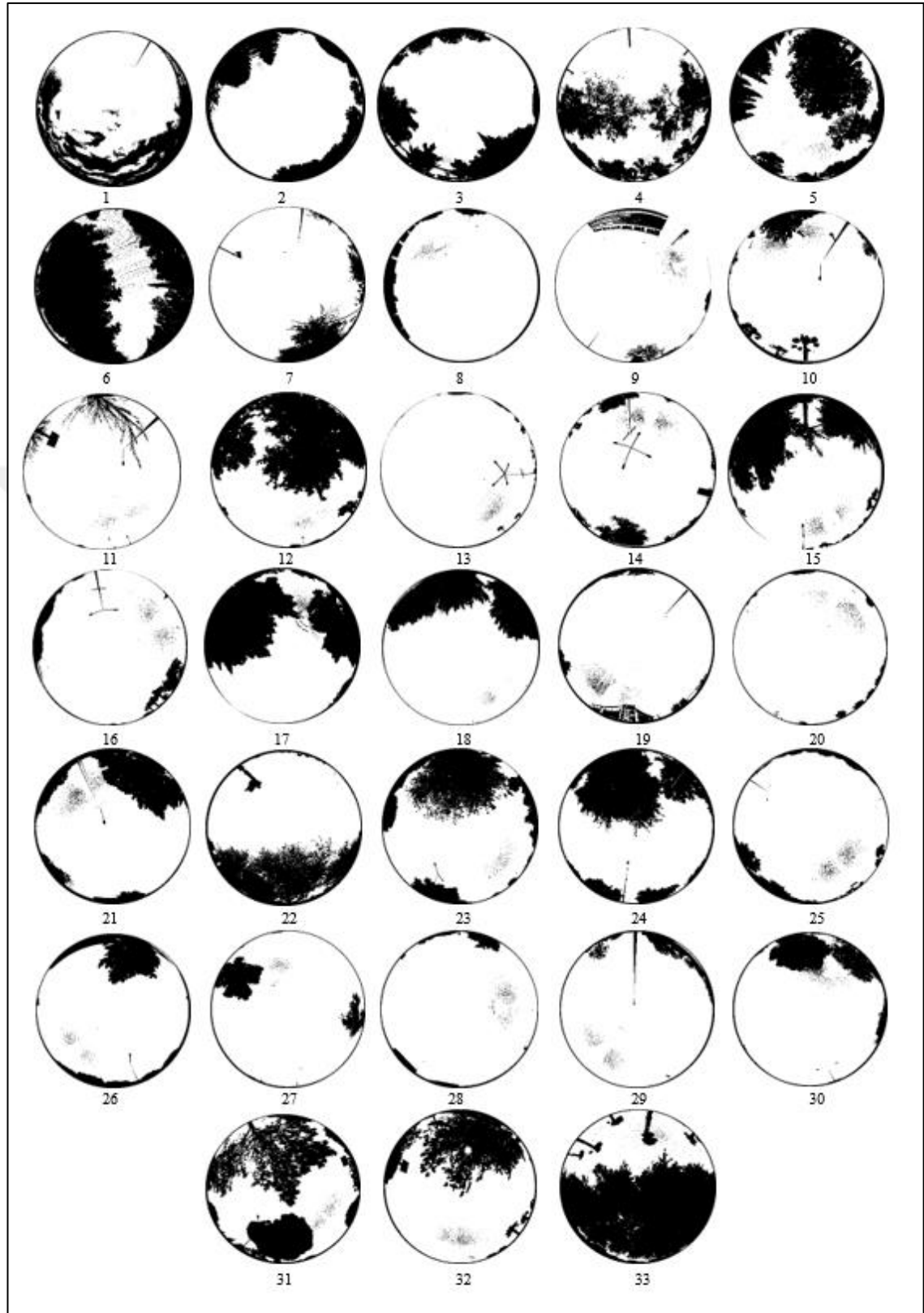
Görüntü almak için lokasyonlar belirlenirken (Çizelge 3.6), veri alınacak olacak noktaların gökyüzü görünümü kompozisyonlarına sahip olmasına özen gösterilmiştir. Veri alınan noktalar arasında Akdeniz Üniversitesi hastahanesi G blok önü (Lokasyon 20), Ziraat fakültesi mevkiinde bulunan seraların olduğu bölüm (Lokasyon 26), Spor bilimleri fakültesi tenis kortlarının olduğu bölüm (Lokasyon 31) ve Ceypark önü (Lokasyon 29) gibi farklı arazi yapılarının olduğu alanlar tercih edilmiştir. Bu sayede farklı yüzey yapılarının gökyüzü görünüş faktörüne etkisi detaylı bir şekilde incelenmiştir (Şekil 3.16). Fakülte binalarının yollara olan mesafesi nedeniyle, şehir kanyonları oluşturmadığı ve gökyüzü görünümüne etkilerinin olmadığı tespit edilmiştir. Elde edilen gökyüzü görünüş faktörü fotoğrafları sonucu görüşün en az olduğu yer 0.330 değeri ile lokasyon 6 olduğu saptanmıştır. Bu bölgenin arazi yapısı incelendiğinde dar bir yol ve etrafı yüksek çam ağaçları ile kaplı olduğu görülmüştür. Gökyüzü görünüş faktörünün en yüksek olduğu yer ise 0.969 değeri ile lokasyon 13 olduğu gözlemlenmiştir. Bu bölgenin arazi yapısına bakıldığında ise geniş bir kavşak ve etrafında çok az bitki örtüsü olduğu görülmüştür. Dolayısıyla yol ağları üzerinde, gökyüzü görünümünü etkileyen en önemli faktörün ağaçlar olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 3.15. Göküzü görünüş faktörü için belirlenen lokasyonlar

Çizelge 3.6: GGF için lokasyon değerleri. 0 değerine yakınlık gökyüzü görünüşünün az olduğunu 1'e yakınlık gökyüzü görünüşünün yüksek olduğunu temsil eder.

	GGF Değeri		GGF Değeri		GGF Değeri
Lokasyon 1	0.741	Lokasyon 12	0.458	Lokasyon 23	0.650
Lokasyon 2	0.755	Lokasyon 13	0.969	Lokasyon 24	0.592
Lokasyon 3	0.707	Lokasyon 14	0.884	Lokasyon 25	0.904
Lokasyon 4	0.647	Lokasyon 15	0.639	Lokasyon 26	0.818
Lokasyon 5	0.483	Lokasyon 16	0.914	Lokasyon 27	0.888
Lokasyon 6	0.330	Lokasyon 17	0.541	Lokasyon 28	0.942
Lokasyon 7	0.844	Lokasyon 18	0.737	Lokasyon 29	0.917
Lokasyon 8	0.920	Lokasyon 19	0.907	Lokasyon 30	0.821
Lokasyon 9	0.919	Lokasyon 20	0.956	Lokasyon 31	0.512
Lokasyon 10	0.875	Lokasyon 21	0.740	Lokasyon 32	0.663
Lokasyon 11	0.916	Lokasyon 22	0.688	Lokasyon 33	0.324



Şekil 3.16. Çalışma alanı Gökyüzü Görünüş Faktörü (GGF) oluşturmak için elde edilen fotoğrafların, Rayman Pro programında maskeleme uygulanarak oluşturulan monokromatik görüntüleri

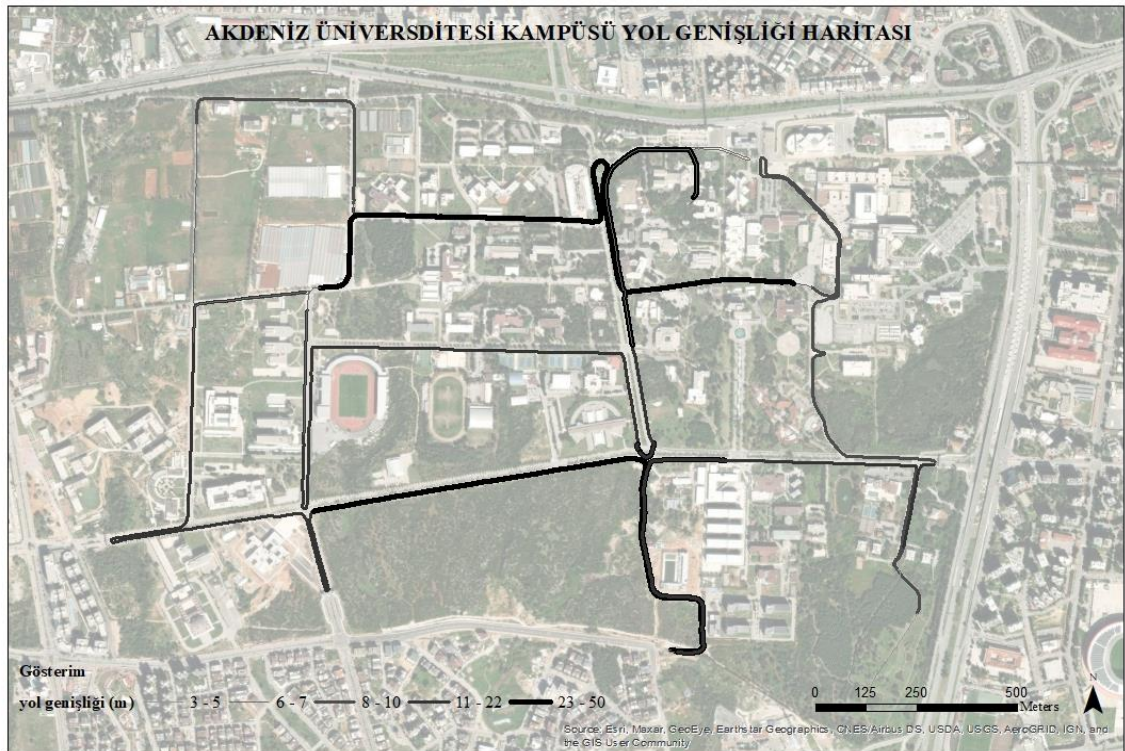
3.5.9. Haritaların üretilmesi

Her bir gün için ölçülmüş olan veriler için ayrı ayrı, hava sıcaklığı, rüzgâr, nem, FES haritaları üretilmiştir (Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7, Şekil 4.8, Şekil 4.10, Şekil 4.11). Ayrıca, her bir güne ait üretilmiş olan grid bazlı FES değerleri çok düşük konfor düzeyi, düşük konfor düzeyi, orta konfor düzeyi, iyi konfor düzeyi, çok iyi konfor düzeyi olmak üzere 5 sınıfa ayrılarak tanımlanmış; en kötü konfor düzeyi 1, en iyi konfor düzeyi 5 puan olacak şekilde puanlanmış ve en son her bir güne ait grid konfor değerleri toplanarak her bir gride ait ilkbahar dönemi genel konfor durumu elde edilmiş ve haritalandırılmıştır (Şekil 4.12).

Meteorolojik verilere ait haritaların üretilmesinden başka, uydu görüntülerinden elde edilmiş olan NDVI ve yüzey sıcaklığı haritaları üretilmiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.2). Ayrıca, CBS ortamında, sokak yönleri ve sokak genişlikleri tanımlanarak veri tabanına yazdırılmış, haritaları üretilmiştir (Şekil 3.17, Şekil 3.18).

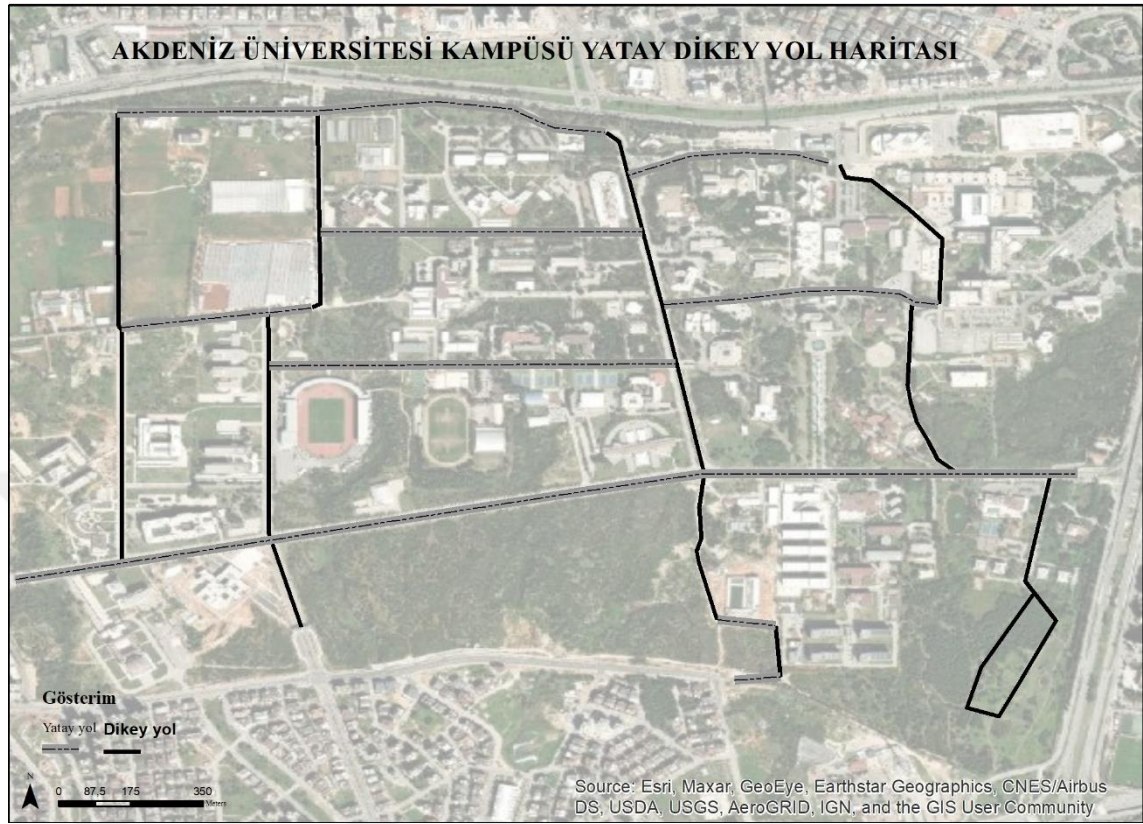
3.5.10. Yol genişliği ve yol yönü

Google earth verileri kullanılarak, her bir yolun genişliği ölçülülerek veri tabanına sütun olarak eklenmiştir. Akdeniz üniversitesi kampüsünde 3, 5, 6, 7, 8, 10, 15, 22 m yol genişlikleri tespit edilmiştir (Şekil 3.17). Bunlar da kendi içlerinde dar ve geniş olarak 2 gruba ayrılmıştır. 10 m'ye kadar olanlar dar, 10 m ve üstü geniş yol kapsamında değerlendirilmiştir. Kavşak genişlikleri 50 m olarak tespit edilmiştir. Kavşaklar, geniş yol kategorisine alınarak hesaplamalara dahil edilmiştir.



Şekil 3.17. Akdeniz üniversitesi yol genişliği haritası

Yol yönleri doğu-batı (1), kuzey-güney (2) olmak üzere sınıflandırılarak veri tabanında tanımlanmıştır (Şekil 3.18).



Şekil 3.18. Akdeniz üniversitesi yol yönü haritası

3.5.11. İstatistiksel analizler

Tezin son aşamasında hipotez testleri, 0.05 güven aralığında korelasyon testleri ile yapılmıştır. Hipotez testleri, herhangi bir hipotezin doğruluğunu istatistiksel olarak belirlemek için kullanılan yöntemlerdir. Hipotez testlerinde, elde edilen ilişkinin veya farkın istatistiksel olarak anlamlı olup olmadığını belirlemek için p (probability) değeri kullanılır. İstatistiksel analizlerde p değeri, sadece ilişkinin veya farkın anlamlılığını değil, aynı zamanda bu ilişkinin veya farkın derecesini belirlemede de rol oynamaktadır. p değerinin 0.05'ten küçük olması, istatistiksel olarak anlamlı bir farkın veya ilişkinin varlığını göstermektedir. Eğer bu değer 0.01'den daha düşük ise, çok yüksek düzeyde istatistiksel olarak anlamlı kabul edilmektedir. Ancak p değeri ne kadar küçükse, yapılacak olası hata miktarı da o kadar az olmaktadır. SPSS yazılımında, p değeri genellikle "sig." (significance, anlamlılık) kısaltması ile gösterilmektedir.

Bu tez çalışmasında, bağımlı ve bağımsız faktörler arasındaki ilişkiler Spearman korelasyon testleri ile incelenmiştir. Ayrıca, etkili faktörlerin korelasyon testleri dışında değişkenler arası ilişkileri daha rahat yorumlayabilmek için karar ağacı sınıflandırmalarından faydalanılmıştır. Sınıflandırma ve Regresyon (C&R) Ağaç düğümü, gelecekteki gözlemleri tahmin etmeyi veya sınıflandırmayı sağlayan bir karar ağacı oluşturur. Bu yöntem, her adımda saflığı en üst düzeye çıkararak eğitim verilerini alt gruplara ayırmak için tekrarlı bölümlleme kullanır. Bir düğümdeki vakaların %100'ü

hedef alanın belirli bir kategorisine aitse, bu düğüm "saf" olarak kabul edilir. Hedef ve giriş değişkenleri sayısal veya kategorik (nominal, sıralı veya işaretli) olabilir; tüm bölmeler ikili olacak şekilde yapılır (sadece iki alt grup) (IBM, 2024).

Bu tez çalışmasında karar ağacı modeli olarak kullanılmış olan CHAID düğümü, Chi-kare istatistikleriyle en iyi bölmeleri belirleyerek karar ağaçlarını oluşturmaktadır. C&R Ağacı ve QUEST düğümlerinden farklı olarak, CHAID yöntemi ile ikili olmayan ağaçlar oluşturabilmektedir; yani, bazı bölmeler iki daldan daha fazla dal içerebilmektedir. Hedef ve giriş değişkenleri, sayısal (sürekli) veya kategorik olarak ayrılabilir (IBM, 2024). Ayrıca, bu yöntemin avantajı, veri setindeki karmaşıklığı azaltarak modelin yorumlanabilirliğinin artırılmasıdır. Bu sayede, farklı kategoriler arasındaki ilişkiler daha net bir şekilde ortaya çıkmakta ve modelin genelleme kabiliyeti yükselmektedir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu tez çalışmasında hem termal konforu etkileyen hem de kampüs alanda sıcaklık, rüzgâr ve nemi etkileyen faktörler tespit edilmeye çalışılmıştır. Bağımlı değişkeni etkileyen bağımsız değişkenler olarak, kampüs alanının morfolojik özellikleri alınmıştır.

4.1. NDVI Haritaları

Akdeniz Üniversitesi kampüsü bitki örtüsü yoğunluğunun tespiti için NDVI haritaları üretilmiştir (Şekil 4.1), (Şekil 4.2). Tez çalışması sürecinde mevsim değişimine bağlı olarak kampüsün bitki örtüsü yapısı değişmiştir. Bu nedenle, analizlerde hassasiyeti sağlayabilmek için dört ayrı tarihte (02.29.2024, 16.03.2024, 24.03.2024 ve 04.01.2024) alınan uydu görüntülerden NDVI görüntüleri oluşturulmuş, ölçüm tarihleriyle uyumlu olacak şekilde ilişkilendirilmiştir (Çizelge 4.1).

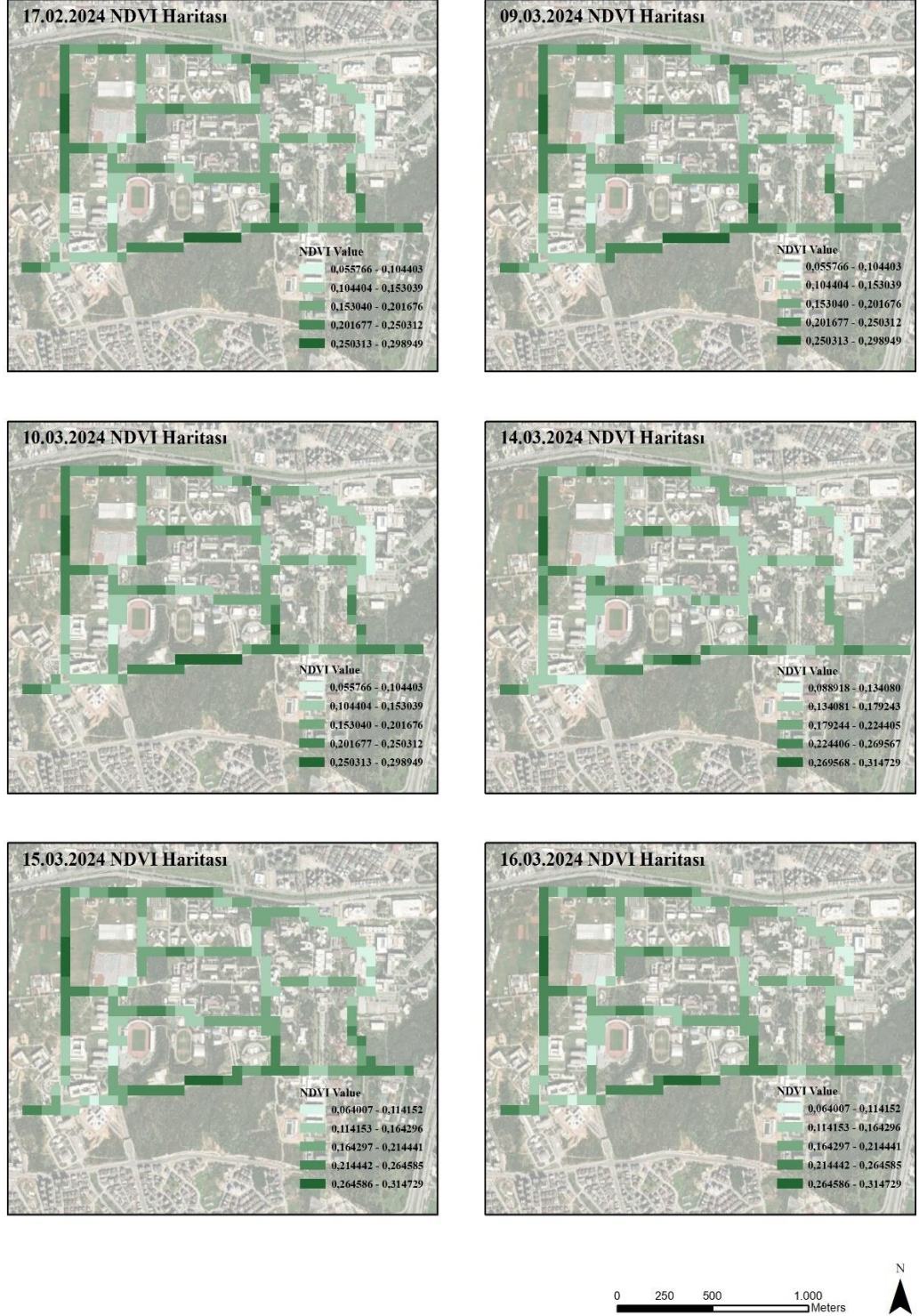
Çizelge 4.1: NDVI görüntüsü tarihi ve ilişkilendirilen ölçüm tarihleri

NDVI görüntü tarihi	Ölçüm tarihleri
02.29.2024	17 Şubat – 10 Mart arası
16.03.2024	14 Mart – 17 Mart arası
24.03.2024	21 Mart – 23 Mart arası
04.01.2024	14 Nisan görüntüsü

NDVI verileri için alınan Landsat-8 uydu görüntüleri incelendiğinde (Şekil 4.1, Şekil 4.2); Bitki örtüsü yoğunluğunun en düşük olduğu dönemin şubat ayı olduğu, en yüksek olduğu dönemin ise Nisan ayı olduğu görülmüştür. Bu durum, mevsimsel şartlar ve bitki gelişimleri ile uyumludur. Nitekim, (Yıldız vd. 2012) yapmış oldukları çalışmada bunu ortaya koymuşlardır.

Haritalar incelendiğinde bitki örüsünün yoğun olduğu kısımların genellikle çalışma alanının merkez bölgesinde kalan Spor Bilimleri Fakültesi ve Hukuk Fakültesi çevresi, güneybatı yönünde kalan Botanik Bahçe, güneybatı-güneydoğu hattı boyunca uzanan Meltem Kapısı ile Uncalı Kapısı arasındaki ana yol üzeri olduğu tespit edilmiştir. NDVI değerleri ile toplam konfor haritası incelendiğinde (Şekil 4.12) iki veri arasında haritalar üzerinde anlamlı bir sonuç görünüyor gibi olsa da birbirleri ile olan korelasyonlar incelendiğinde alınan 11 veri arasından 3 tanesinde doğrusal bir korelasyon ilişkisi tespit edilebilmiştir. Harita üzerinde çalışma alanı her ne kadar yoğun bitki örtüsü gibi görünsede verilerin alındığı tarih olan ilkbahar mevsiminde bitkilerin yaprak boyu istenilen genişliğe ulaşmadığı ve mobil ölçüm aleti ile alınan yol hatları boyunca yeterli gölgelendirme etkisi yapamadığı gözlemlenmiştir. Dolayısıyla ilkbahar mevsiminde NDVI ile FES arasında doğrudan bir ilişki tespit edilememiştir.

İLKBAHAR MEVSİMİ GÜNLÜK NDVI HARİTALARI



Şekil 4.1. 17 Şubat-16 Mart tarihleri arasında Landsat-8 uydu verisine ait NDVI görüntüleri

İLKBAHAR MEVSİMİ GÜNLÜK NDVI HARİTALARI

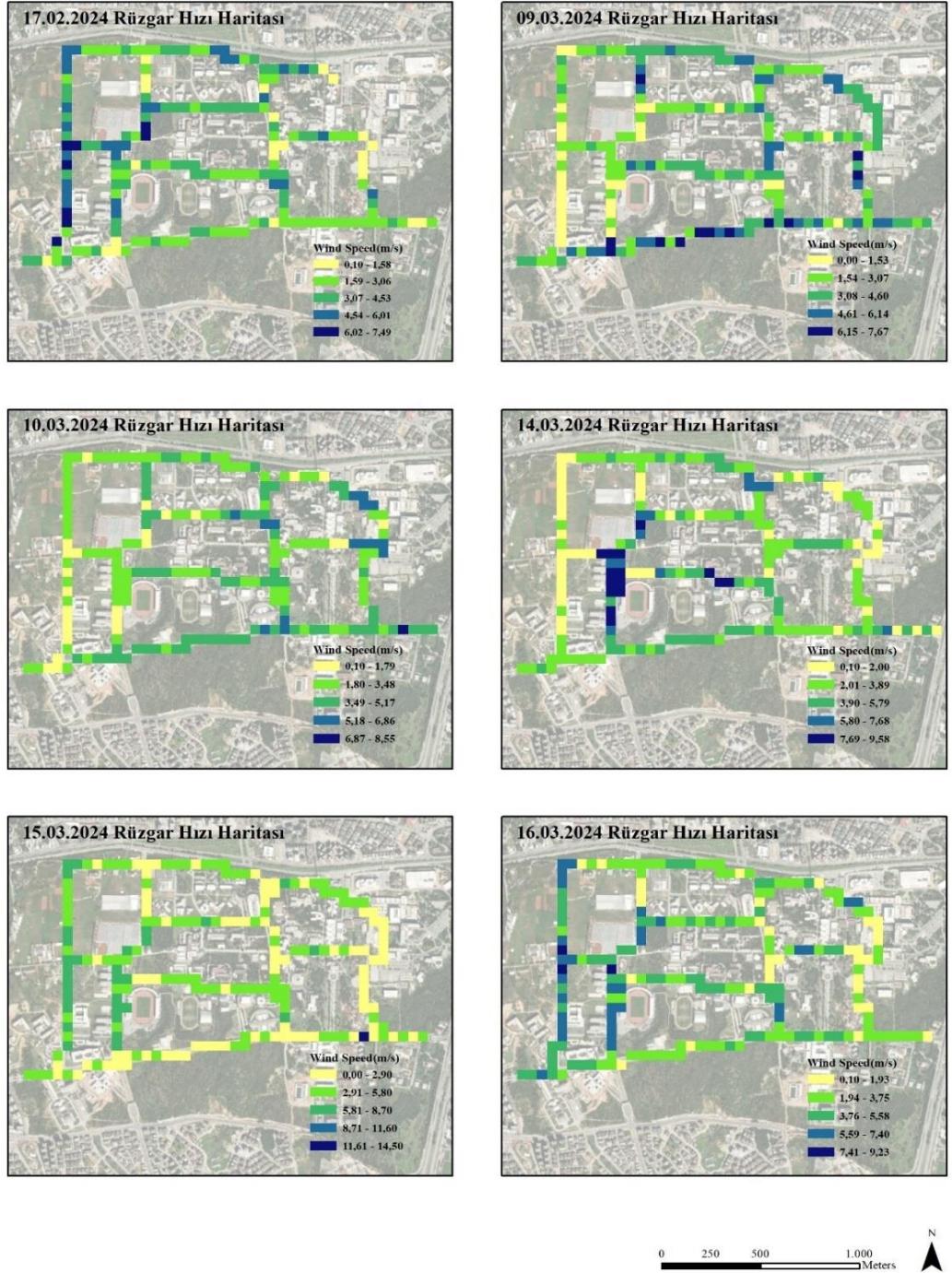


Şekil 4.2. 17 Mart-14 Nisan tarihleri arasında Landsat-8 uydu verisine ait NDVI görüntüleri

4.2. Rüzgâr Hızı ve Nem Haritaları

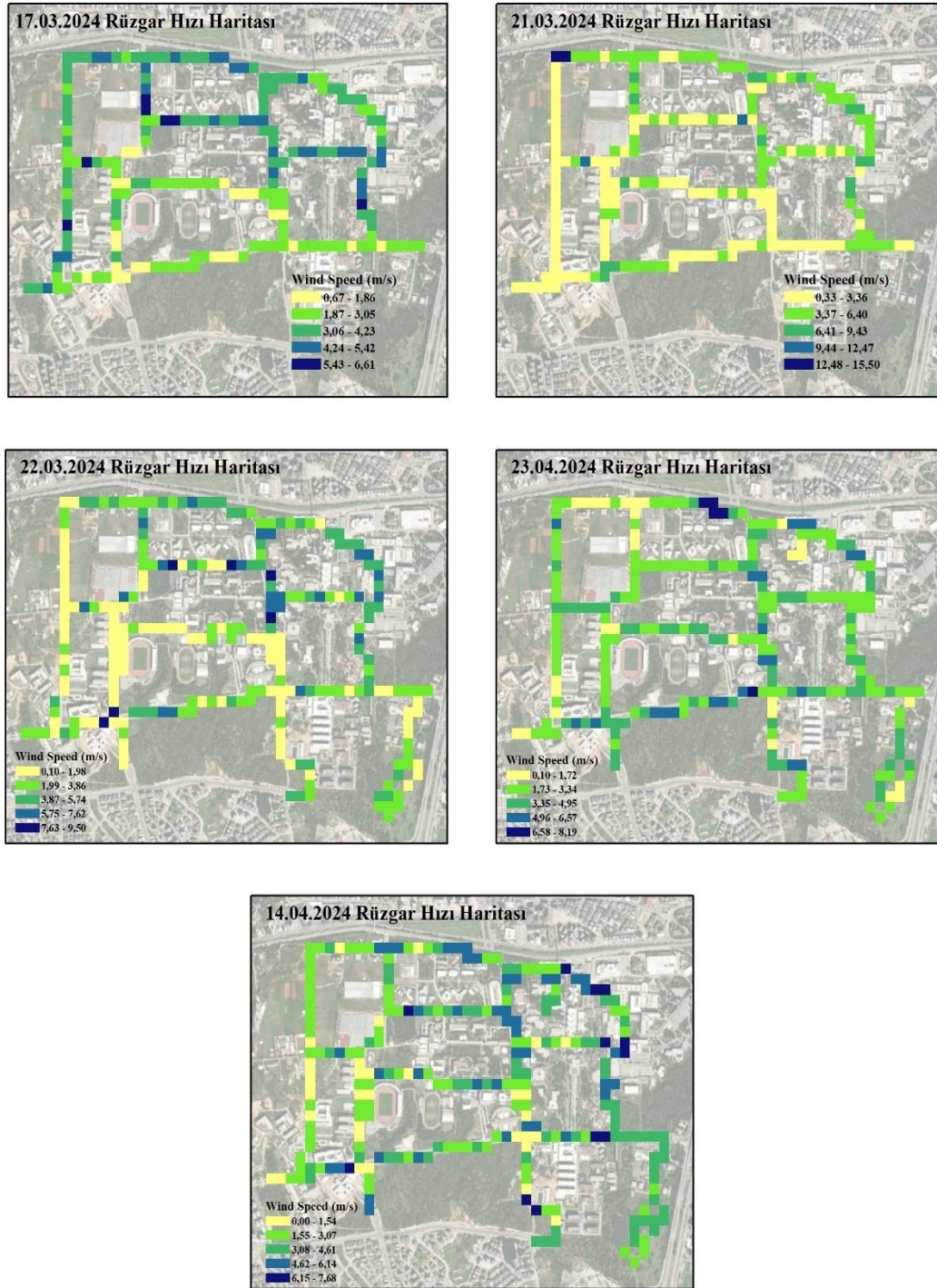
Rüzgâr hızı mobil ölçüm cihazı üzerine entegre edilmiş anemometre vasıtası ile ölçülmüştür (Şekil 4.3, Şekil 4.4).

İLKBAHAR MEVSİMİ GÜNLÜK RÜZGAR HIZI HARİTALARI



Şekil 4.3. 17 Şubat-16 Mart tarihleri arasında anemometre ile alınmış rüzgâr verileri

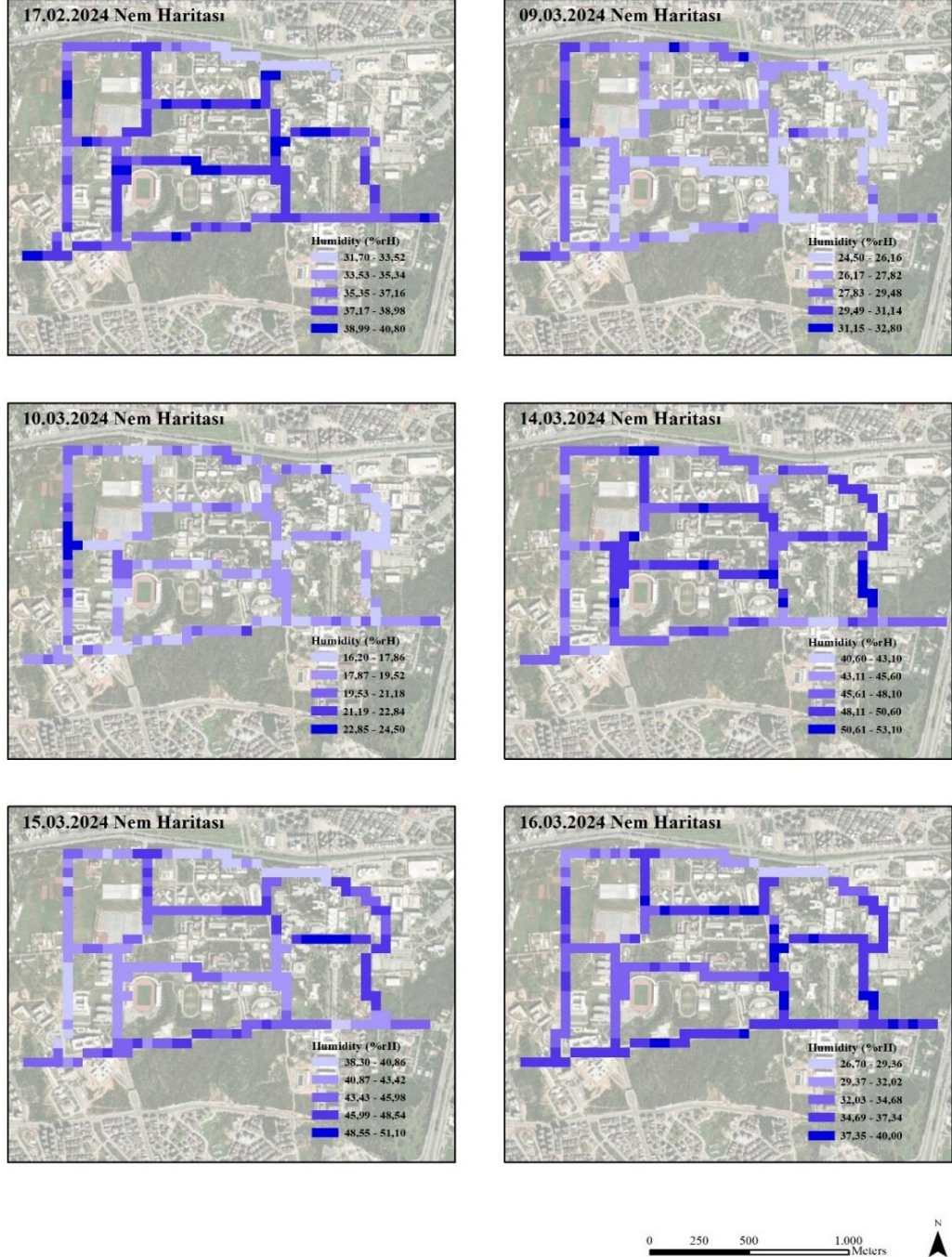
İLKBAHAR MEVSİMİ GÜNLÜK RÜZGAR HIZI HARİTALARI



Şekil 4.4. 17 Mart-14 Nisan tarihleri arasında anemometre ile alınmış rüzgâr verileri

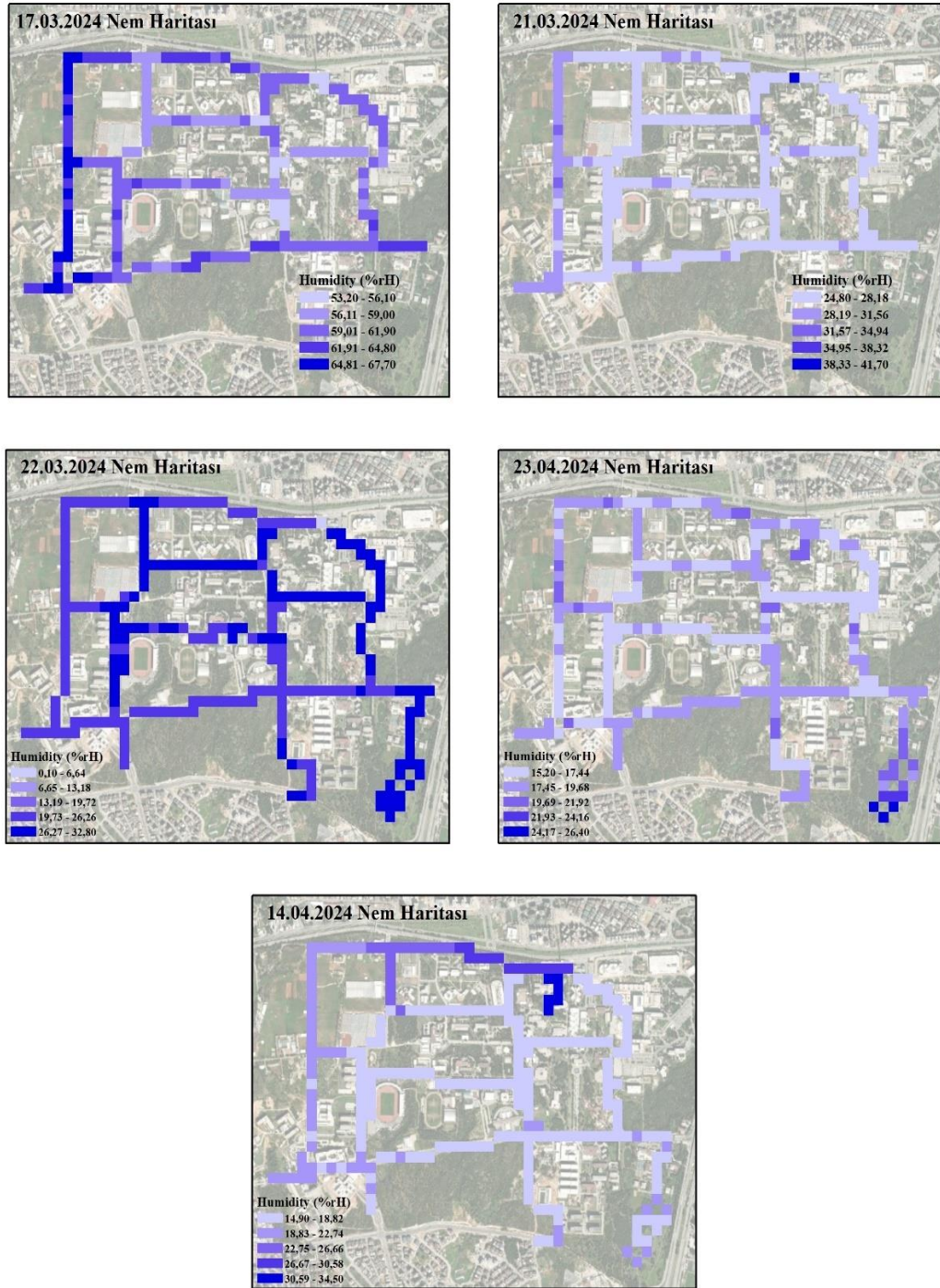
Yine aynı şekilde nem verisi mobil ölçüm cihaz üzerindeki termometre cihazından alınmıştır. Alınan veriler grid_id'ler ile ilişkilendirilerek veri tabanına aktarılmış ve haritaları üretilmiştir (Şekil 4.5, Şekil 4.6).

İLKBAHAR MEVSİMİ GÜNLÜK NEM HARİTALARI



Şekil 4.5. 17 Şubat-16 Mart tarihleri arasında termometre ile alınmış nem verileri

İLKBAHAR MEVSİMİ GÜNLÜK NEM HARİTALARI



Şekil 4.6. 17 Mart-14 Nisan tarihleri arasında termometre ile alınmış nem verileri

4.3. Sıcaklık Haritaları ve Analizleri

Çalışma alanında belirlenen bağımlı değişkenlerden olan sıcaklık verileri mobil ölçüm aleti üzerine entegre edilen termometre ile ölçülmüştür. Termometre için ölçüm yüksekliği yapılan çalışmalar göz önüne alındığında (Rajkovich 2016, Davtala vd. 2020) yerden yaklaşık olarak 1.20 m olarak belirlenmiştir. Bu sayede ölçüm alınan alanda, yüzeyden yansıyan ısıнын cihazın ölçüm hassasiyetini olumsuz yönde etkilemesinin önüne geçilmesi amaçlanmıştır. Yapılan ölçümler sonrasında sıcaklık verileri ArcGIS uygulamasında işlenmiştir. Sıcaklık verileri, ArcGIS programında oluşturulan gridlere yükendirilip ölçüm yapılan her bir güne ait sıcaklık haritaları oluşturulmuştur (Şekil 4.7, Şekil 4.8).

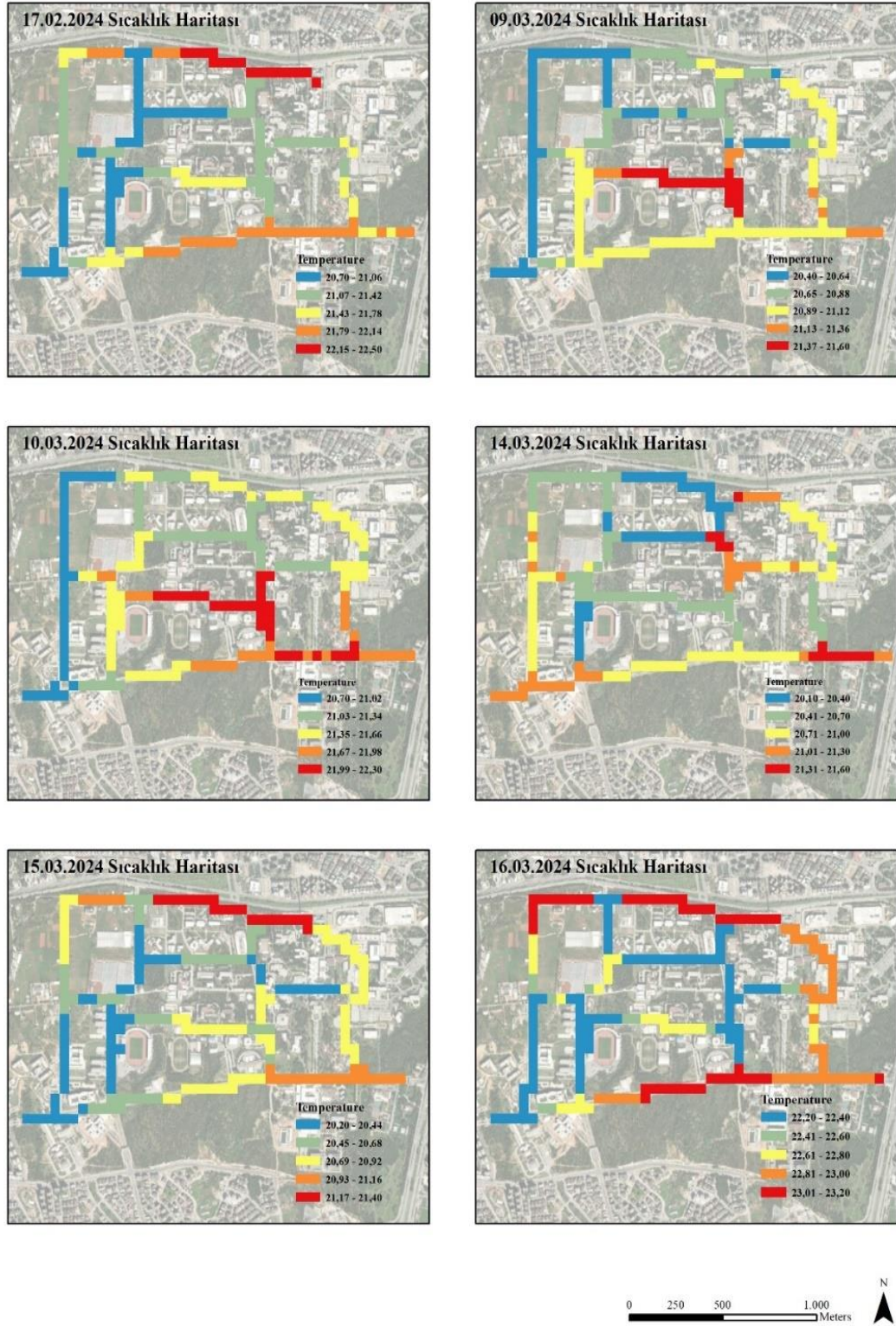
Elde edilen sıcaklık haritası incelendiğinde çalışma alanının değişken morfolojik yapısı ve mevsimler dinamiklerin de etkisiyle, sıcaklık verilerinde dalgalanmalar olduğu tespit edilmiştir. Ölçümlere başlama tarihi olan 17 Şubat tarihli sıcaklık verisinde en yüksek sıcaklık 22.6°C olurken en düşük sıcaklık 20.70°C olarak ölçülmüştür. Hava sıcaklığının en yüksek olduğu ve ölçüm yapılan en son gün olan 14 Nisan'da ise en yüksek sıcaklık 32.70°C, olurken en düşük sıcaklık 23.70°C olarak; hava sıcaklığının en düşük olduğu gün olan 17 Mart'ta ise en yüksek sıcaklık 17.30°C, en düşük sıcaklık ise 16.30°C olarak ölçülmüştür.

Oluşturulan haritalar, çalışma alanındaki sıcaklık değişimlerinin günlere bağlı olarak nasıl farklılık gösterdiğini açıkça ortaya koymaktadır. İlkbahar mevsiminde gözlemlenen bu değişiklikler, bölgenin iklimsel özelliklerini, sıcaklık artış trendini anlamak ve termal konforu etkileyen unsurların belirlenmesi için oldukça faydalı bilgiler sunmuştur. Haritalar incelendiğinde, sıcaklığın genel olarak mart ayının ortasından nisan ayının ortasına kadar olan süreçte arttığı gözlemlenmektedir. Bu durum, ilkbaharın başlarından itibaren havaların ısındığını ve termal konforun olumsuz yönde etkileneceğini göstermektedir. FES haritaları incelendiğinde (Şekil 4.10, Şekil 4.11) ise sıcaklık artışı ile FES değerlerinin arttığı bunun sonucunda ise termal konforun azaldığı gözlemlenmiştir.

Çalışma alanının bölgesel olarak sıcaklık dağılımı incelendiğinde ise her bir haritada farklı bölgelerde sıcaklık dağılımlarının değiştiği görülmektedir. Bu, mikroklima etkileri, bölgenin coğrafi özellikleri ve kampüs içi ısı adası etkisi gibi faktörlerle açıklanabilir. Örneğin, 21 Mart tarihli haritada bazı bölgeler 22°C'ye kadar çıkarken, 17 Mart'ta maksimum sıcaklık 17°C civarındadır. Bu durumun en önemli sebebi (Çizelge 3.2) 17 Mart tarihinde sabah saatlerinde çalışma alanı ve çevresinde yağmur geçişi olduktan sonra verilerin alınacağı zaman aralığında (12:00-14:00 arası) havanın güneşli olmasından dolayı, bölgesel farklılıkların ve belirli alanlarda daha yüksek sıcaklıkların olabileceğini göstermektedir.

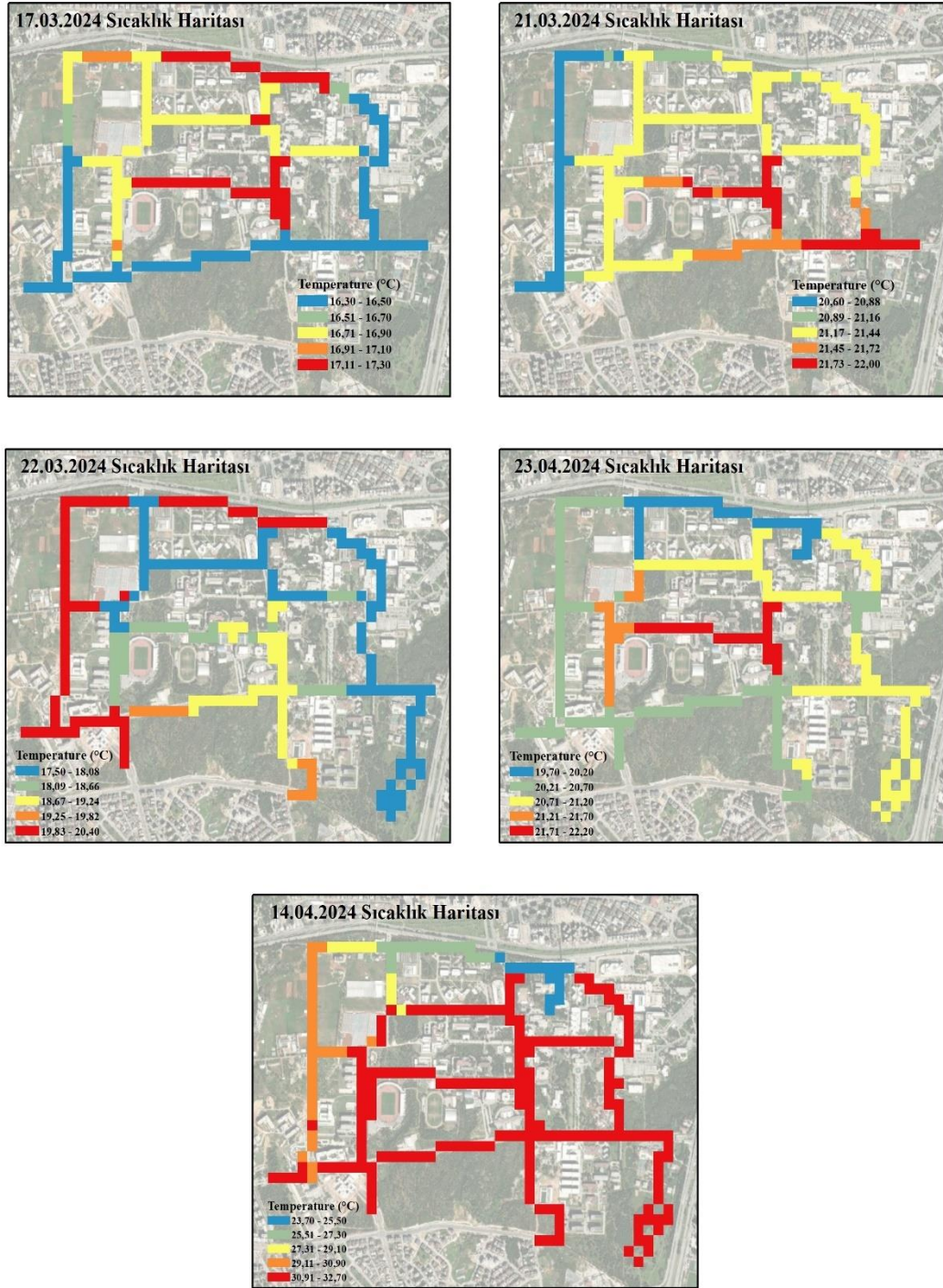
Mart ayının sonuna doğru bir miktar sıcaklık düşüşü gözlemlense de genel trend artış yönündedir. Bu durum, bazı günlerde soğuk hava dalgalarının veya hava koşullarındaki ani değişimlerin etkili olabileceğini göstermektedir.

İLKBAHAR MEVSİMİ GÜNLÜK SICAKLIK HARİTALARI



Şekil 4.7. 17 Şubat-16 Mart mobil ölçümler ile alınmış hava sıcaklığı haritaları

İLKBAHAR MEVSİMİ GÜNLÜK SICAKLIK HARİTALARI



Şekil 4.8. 17 Mart-14 Nisan mobil ölçümler ile alınmış hava sıcaklığı haritaları

Sıcaklık verilerinin diğer değişkenler ile korelasyonları üzerinden değişkenler arasındaki ilişkiler incelenmiştir (Çizelge 4.2)

Çizelge 4.2. Hava sıcaklığı ile NDVI, Rüzgâr Hızı, Nem korelasyonları. * sıcaklık verisi istatistiksel olarak anlamlı, ** sıcaklık verisi istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı

Korelasyon			NDVI	Rüzgâr Hızı	Nem
Hava Sıcaklığı	17.02.2024	Korelasyon	0,401**	0,001	-0,239**
		<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,000	0,985	0,001
	09.03.2024	Korelasyon	-0,054	0,431**	-0,632**
		<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,455	0,000	0,000
	10.03.2024	Korelasyon	0,006	0,401**	-0,305**
		<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,930	0,000	0,000
	14.03.2024	Korelasyon	0,032	-0,243**	-0,296**
		<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,660	0,001	0,000
	15.03.2024	Korelasyon	0,240**	-0,229**	-0,205**
		<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,001	0,001	0,004
	16.03.2024	Korelasyon	0,296**	-0,285**	-0,267**
		<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,000	0,000	0,000
	17.03.2024	Korelasyon	-0,102	0,235**	-0,438**
		<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,156	0,001	0,000
	21.03.2024	Korelasyon	-0,010	0,097	-0,497**
		<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,886	0,174	0,000
	22.03.2024	Korelasyon	0,183**	-0,168**	-0,844**
		<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,004	0,009	0,000
	23.03.2024	Korelasyon	-0,113	0,140*	-0,231**
		<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,078	0,029	0,000
	14.04.2024	Korelasyon	-0,021	0,010	-0,809**
		<i>Sig. (2-tailed)</i>	0,738	0,875	0,000

Çizelge incelendiğinde sıcaklık verisinin, en fazla nem ile korelasyon bakımından anlamlı ilişki içinde olduğu, daha sonra sırasıyla rüzgâr hızı ve NDVI ile ilişkili olduğu tespit edilmiştir. Korelasyonlara bakıldığında sıcaklık verisinin nem ile ters korelasyon içinde olduğu görülmektedir (Çizelge 4.2).

Bu da nem arttığında sıcaklık verisinin azaldığını, nem azaldığında ise sıcaklık verisinin arttığı anlamına gelmektedir. Sıcaklık verisi ile rüzgâr verisi karşılaştırıldığında ise bazı günler iki veri arasında doğrusal bir ilişki, bazı günlerde ise ters bir ilişki içinde oldukları tespit edilmiştir. Rüzgâr hızı ile sıcaklık verisinin ters korelasyon ilişkisi içinde olduğu günlerde, nem değerinin diğer günlere göre daha yoğun olduğu, rüzgâr hızı ile sıcaklık verisinin lineer korelasyon içinde olduğu günlerde ise nem değerinin daha düşük olduğu saptanmıştır. Bunun nedeni, evapotranspirasyon etkisi sonucunda (Şarlak 2020) nemli havanın rüzgâr etkisiyle sıcaklığı düşürmesidir. Yüksek nemli hava, rüzgârla birleştiğinde genellikle soğutucu bir etki yaratmaktadır. Xie vd. (2018) yapmış oldukları çalışmada dış mekân termal konforunun rüzgâr hızına duyarlılığını araştırmışlardır. Elde ettikleri sonuçlar, çalışma sıcaklığı 34°C'nin altında olduğunda rüzgâr hızının "esintiden" "hafif rüzgâra" yükselmesinin bile önemli bir soğutma etkisi yaratabileceğini göstermiştir. Bu bulgular, bu tez çalışmasının bulgularını desteklemektedir.

Sıcaklık değerleri ile NDVI değerleri arasında genel olarak anlamlı bir korelasyon ilişkisi bulunamamıştır. NDVI değerlerinin etkisinin yeterince görülmemesinde ilkbahar mevsiminin değişken yapısı ile, diğer değişkenlerin baskın etkisinin NDVI etkisini baskılaması olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, ölçümler yol hatları üzerinde yapılmıştır. Üniversite içerisinde yol ağaçlandırmaları yoğun bir bitki örtüsü dokusu oluşturmamaktadır. Çalışmada elde edilen bitkiörtüsü yoğunluğu değerleri ağırlıklı olarak yol kenarlarında yer alan makilik bölgelerden elde edilmiştir (Şekil 4.1, Şekil 4.2). Oysa, makilik alanların çevrelerine olan serinletici etkisi düşüktür (Güldü ve Kuşçu Şimşek 2021) ve yol üzerinde yeşil alan etkisinin hissedilebilmesini de kısıtlamaktadır. Ayrıca, NDVI değerlerinin uydu görüntülerinden elde ediliyor oluşu ve yolun görüntü çözünürlüğüne bağlı olarak makilik alanların baskısı altında kalması, analizlerin hassasiyetini etkilemektedir.

Termometre ile alınan sıcaklık verilerini, Landsat-8 uydusundan alınan sıcaklık verileri ile karşılaştırmak için uydunun verilerin alındığı günlerde çalışma alanı üzerinden geçip geçmediği kontrol edilmiş fakat uydunun zamansal çözünürlüğünden dolayı ve veri alınan günlerin mevsim şartları dolayısıyla gökyüzünün bulutluluk oranının yüksek olmasından dolayı sadece 16 Mart 2024 tarihli veri ile çalışma yapılmıştır. Veri seti tek gün ile sınırlı olduğu için yüzey sıcaklığı ile diğer parametrelerin ilişkisi genele yayılamamıştır. Yüzey sıcaklığı verisi, alınan gün için verilen denklemlerde hesaplanmış (Bölüm 3.5.5) ve oluşan yüzey sıcaklık değerleri 16 Mart tarihli veri setine ID numaraları eşleştirilerek veri tabanına eklenmiştir. Daha sonra, uydu görüntülerinden elde edilen yüzey sıcaklık verilerinin yersel ölçüm aletleri ile alınan sıcaklık, rüzgâr hızı, nem ve yine Landsat-8 uydu görüntüleri ile elde edilen NDVI verisi ile korelasyon ilişkilerine bakılmıştır. Korelasyon ilişkileri incelendiğinde (Çizelge 4.3) yüzey sıcaklık değerinin NDVI, sıcaklık ve nem ile ters bir korelasyon ilişkisi içinde olduğu tespit edilmiştir. Literatür incelenildiğinde benzer sonuçlarla karşılaşılabildiği, Naserikia M., vd.'nin (2023) yapmış oldukları çalışmada yüzey sıcaklığı ile ölçülen sıcaklık arasında ters bir ilişki bulunduğu görülmüştür. Ancak, mevsimsel sebepler nedeniyle bulutsuz uydu

görüntüsü temin edilememesi nedeniyle yeterli sayıda yüzey sıcaklığı verisi elde edilmemiştir ve bu bilgi doğrulanamamıştır.

Çizelge 4.3. Yeryüzü sıcaklık verisinin NDVI, sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem ile olan korelasyon ilişkisi. ** sıcaklık verisi istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı.

Korelasyon			NDVI	Sıcaklık	Rüzgâr Hızı	Nem
Yüzey Sıcaklığı	16.03.2024	Korelasyon	-,493**	-,224**	-,026	-,240**
		Sig. (2-tailed)	,000	,002	,720	,001

4.4. Yol Genişliği ve Yol Yönü Analizleri

Bu aşamada öncelikle, yol yönünün etkisinin görülebilmesi için, yolun doğu-batı ve kuzey-güney doğrultulu olma şartına göre FES ile NDVI, Sıcaklık, Nem, Rüzgâr hızı korelasyonları incelenmiştir (Çizelge 4.4). Ayrıca, termal konforda kentsel morfolojide önemli olan yol genişliği ve yol yönünün birleşik etkisinin anlaşılabilmesi için karar ağacı sınıflandırması kullanılarak termal konfor değişimleri incelenmiştir (Çizelge 4.5).

Korelasyonlar incelendiğinde FES değerini etkileyen en önemli parametre olan sıcaklık verisi ile doğrusal bir ilişki içinde olduğu gözlemlenmiştir. Al-Ramahy'nin (2024) yapmış olduğu çalışmada FES ile meteorolojik parametreler arasındaki ilişkiler değerlendirilmiş ve sıcaklık ile FES arasında korelasyon %99 olarak hesaplanmıştır. Yapılan bu tez çalışmasında ise FES ile sıcaklık değerleri arasında yol yönleri dikkate alınarak yapılan analizler sonucunda doğu-batı ve kuzey-güney yönleri arasındaki yollarda iki değer arasında %99 anlamlı bir ilişki tespit edilmiştir. FES ile diğer parametreler olan nem ve rüzgâr hızı arasındaki ilişki yine yol yönleri dikkate alınarak incelenmiştir.

Çizelge 4.4. Yol yönüne bağlı olarak FES ile NDVI, Sıcaklık, Nem, Rüzgâr Hızı korelasyon değişimlerinin incelenmesi. * FES verisi istatistiksel olarak anlamlı ** FES verisi istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı

FES			NDVI	Sıcaklık	Nem	Rüzgâr Hızı
17.02.2024	Doğu- Batı	Korelasyon	0,244*	0,844*	-0,496**	-0,341**
		Sig. (2-tailed)	0,011	0,000	0,000	0,000
	Kuzey- Güney	Korelasyon	0,450**	0,817**	0,468**	-0,108
		Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,315
09.03.2024	Doğu- Batı	Korelasyon	-0,121	0,704**	-0,303**	-0,199**
		Sig. (2-tailed)	0,206	0,000	0,001	0,037
	Kuzey- Güney	Korelasyon	0,047	0,438**	-0,213*	-0,589**
		Sig. (2-tailed)	0,669	0,000	0,047	0,000

Çizelge 4.4'ün devamı

10.03.2024	Doğu- Batı	Korelasyon	0,056	0,948**	0,012	0,223**
		Sig. (2-tailed)	0,562	0,000	0,905	0,020
	Kuzey- Güney	Korelasyon	-0,103	0,929**	-0,379**	0,93
		Sig. (2-tailed)	0,333	0,000	0,000	0,384
14.03.2024	Doğu- Batı	Korelasyon	-0,004	0,812**	-0,290**	-0,560**
		Sig. (2-tailed)	0,966	0,000	0,003	0,000
	Kuzey- Güney	Korelasyon	0,066	0,712**	-0,254*	-0,891**
		Sig. (2-tailed)	0,534	0,000	0,015	0,000
15.03.2024	Doğu- Batı	Korelasyon	0,215*	0,727**	-0,283**	-0,615**
		Sig. (2-tailed)	0,026	0,000	0,003	0,000
	Kuzey- Güney	Korelasyon	-0,093	0,708**	0,544**	-0,921**
		Sig. (2-tailed)	0,382	0,000	0,000	0,000
16.03.2024	Doğu- Batı	Korelasyon	0,332**	0,778**	-0,143	-0,689**
		Sig. (2-tailed)	0,001	0,000	0,147	0,000
	Kuzey- Güney	Korelasyon	-0,047	0,744**	0,271**	-0,809**
		Sig. (2-tailed)	0,651	0,000	0,008	0,000
17.03.2024	Doğu- Batı	Korelasyon	-0,031	0,550**	-0,220*	-0,440**
		Sig. (2-tailed)	0,755	0,000	0,025	0,000
	Kuzey- Güney	Korelasyon	0,087	0,603**	-0,262**	-0,557**
		Sig. (2-tailed)	0,224	0,000	0,000	0,000
21.03.2024	Doğu- Batı	Korelasyon	0,018	0,828**	-0,225*	-0,577**
		Sig. (2-tailed)	0,857	0,000	0,021	0,000
	Kuzey- Güney	Korelasyon	0,049	0,599**	-0,188**	-0,602**
		Sig. (2-tailed)	0,648	0,000	0,075	0,000
22.03.2024	Doğu- Batı	Korelasyon	0,121	0,939**	-0,790**	-0,105
		Sig. (2-tailed)	0,201	0,000	0,000	0,265
	Kuzey- Güney	Korelasyon	0,323**	0,935**	-0,690**	-0,707**
		Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,000

Çizelge 4.4'ün devamı

23.03.2024	Doğu- Batı	Korelasyon	-0,114	0,957**	-0,388**	-0,254**
		Sig. (2-tailed)	0,224	0,000	0,000	0,006
	Kuzey- Güney	Korelasyon	0,041	0,948**	0,112	0,077
		Sig. (2-tailed)	0,645	0,000	0,212	0,391
14.04.2024	Doğu- Batı	Korelasyon	-0,208	0,972**	-0,806**	0,184
		Sig. (2-tailed)	0,777	0,000	0,000	0,058
	Kuzey- Güney	Korelasyon	0,160	0,915**	-0,558**	0,186**
		Sig. (2-tailed)	0,061	0,000	0,000	0,029

Çizelge 4.4'te elde edilmiş olan korelasyon katsayılarının çoğunun istatistiksel olarak anlamlı ($p < 0,05$) olması, gözlemlenen ilişkilerin rastlantısal olmadığını ve gerçek bir etkiyi yansıttığını göstermektedir. İstatistiksel anlamlılık, bu sonuçların genel olarak genelleştirilebileceği ve rüzgâr hızının FES üzerindeki etkisinin güvenilir olduğunu göstermektedir.

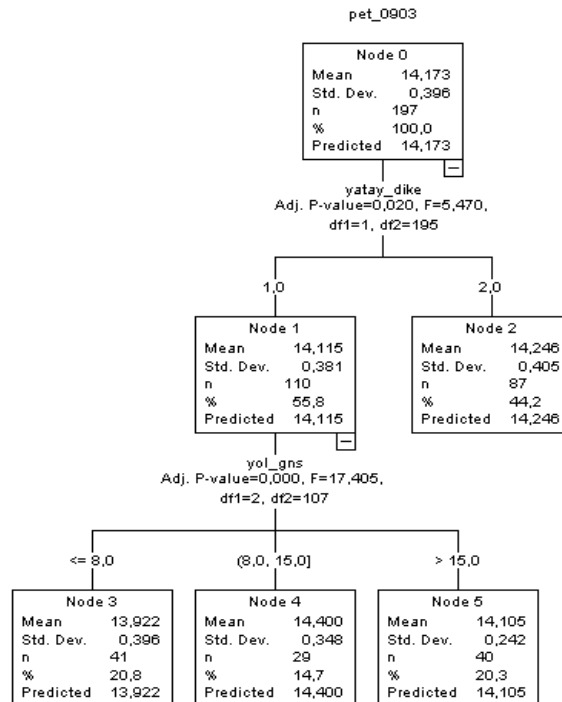
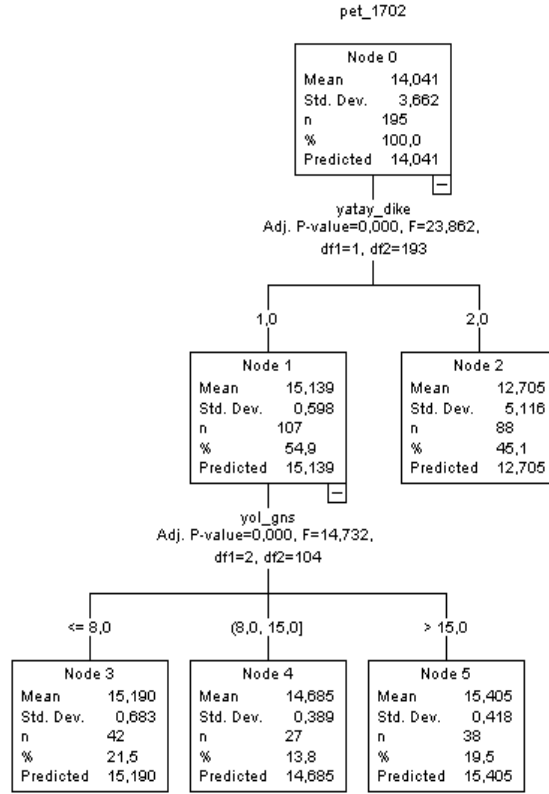
Yapılan koresalyon analizleri sonucunda doğu-batı yönünde uzanan yol hatları boyunca nemin FES üzerinde ağırlıklı olarak (%81) negatif yönlü bir etki gösterdiği gözlemlenmiştir. Doğu-Batı hattı boyunca uzanan yollarda nem değerinin negatif etki gösterdiği yerlerde ise rüzgâr değerleri, nem değerleri ile genellikle doğrusal bir ilişki (%75) göstermiş ve FES üzerinde yine negatif yönlü bir etkiye sahip olmuştur. Elde edilen veriler doğrultusunda Doğu-Batı yönündeki yollarda, nem ve rüzgâr arttıkça konforun düştüğü tespit edilmiştir.

Diğer taraftan FES ile nem ve rüzgâr hızının Kuzey-Güney hatları boyunca uzanan yollar için korelasyon ilişkilerine bakıldığında ise nem değerinin genel olarak FES değerlerini düşürdüğü (%70) gözlemlenmiştir. Aynı şekilde nem değerleri ile FES değerleri arasında negatif yönlü korelasyon olan günlerde rüzgâr etkisine bakıldığında ise yine nem değerinde olduğu gibi rüzgârında genel olarak (%71) FES üzerinde düşürücü etkisi olduğu gözlemlenmiştir. Kuzey-Güney yol hatları boyunca nemin ve rüzgârın serinletici etkisi, Doğu-Batı yol hatları boyunca serinletici etkisinden daha az olduğu gözlemlenmiştir.

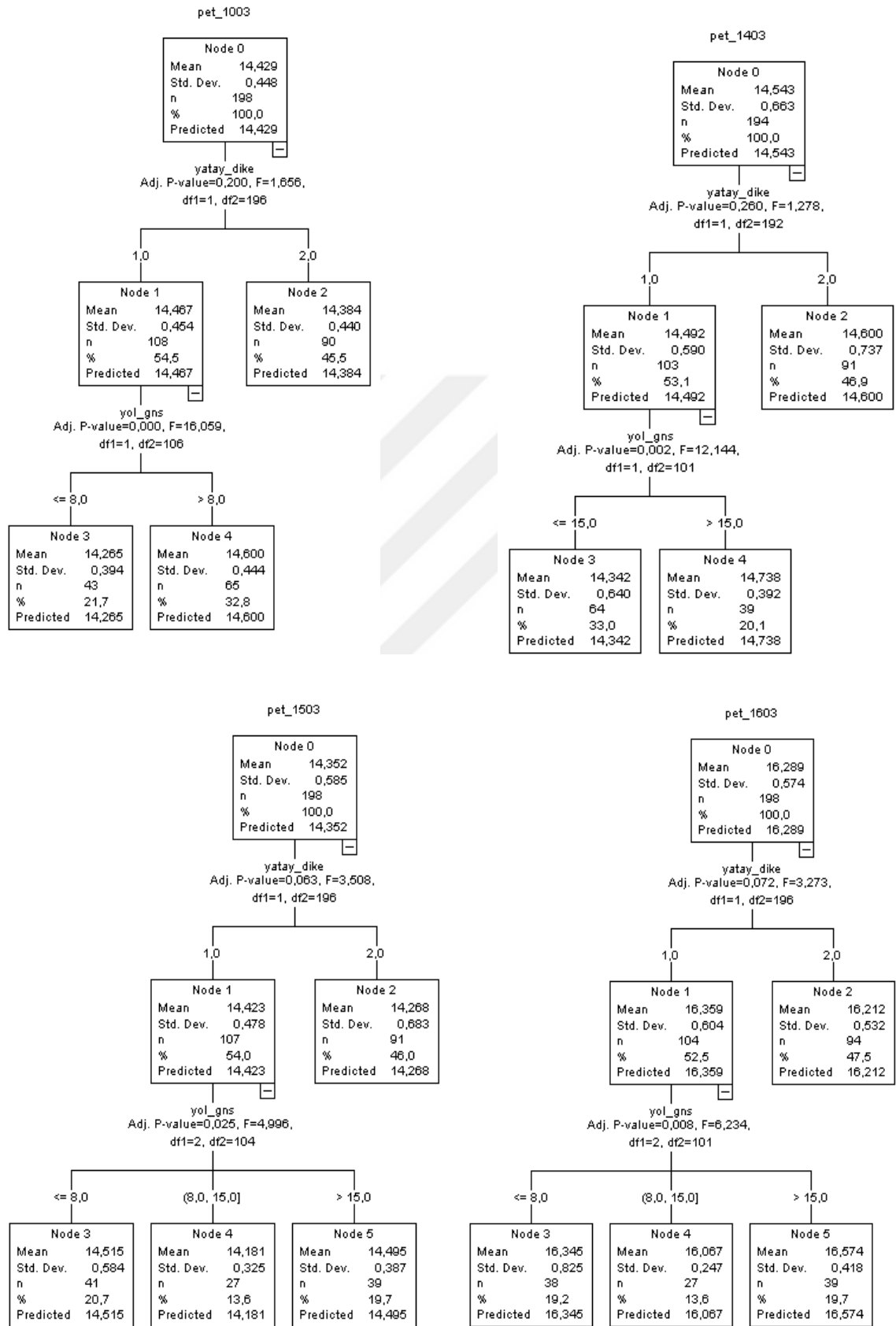
FES ile NDVI arasındaki korelasyon ilişkileri incelendiğinde, Doğu-Batı yönünde 4 günde, Kuzey-Güney yönünde ise 2 günde anlamlı ancak düşük korelasyon tespit edilmiştir. Çizelge 4.2 ile Çizelge 4.4 birlikte değerlendirildiğinde, NDVI ile FES arasındaki korelasyonlarda yol yönünün etkili olduğu, buna bağlı olarak korelasyonların az da olsa arttığı tespit edilmiştir. Ancak tüm veri, bütünlük içerisinde değerlendirildiğinde, NDVI ile FES arasındaki ilişkinin çok net tespit edilemediği görülmüştür. Bunun üzerine ayrımları daha rahat gözlemleyebilmek için SPSS programı ile Karar Ağacı sınıflandırması uygulanmıştır.

Sınıflandırma sonuçları incelendiğinde yol yönü bir ayırım oluştursa da yol yönüyle birlikte yol genişliğinin de FES üzerinde etkili olduğu tespit edilmiştir.

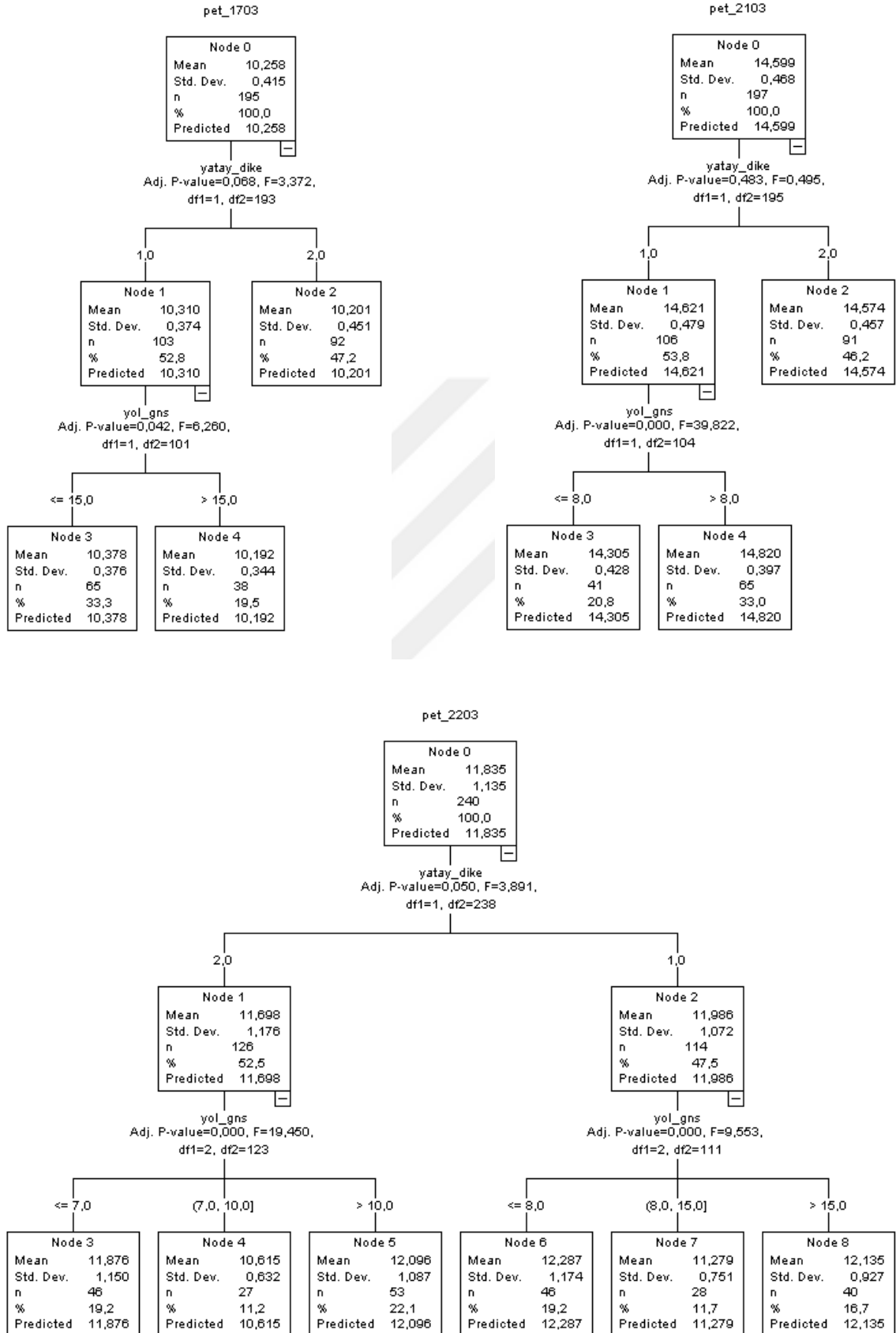
Çizelge 4.5. Karar ağacı sınıflandırma yöntemi ile termal konfor, yol yönü ve yol genişliği ilişkilerinin incelenmesi



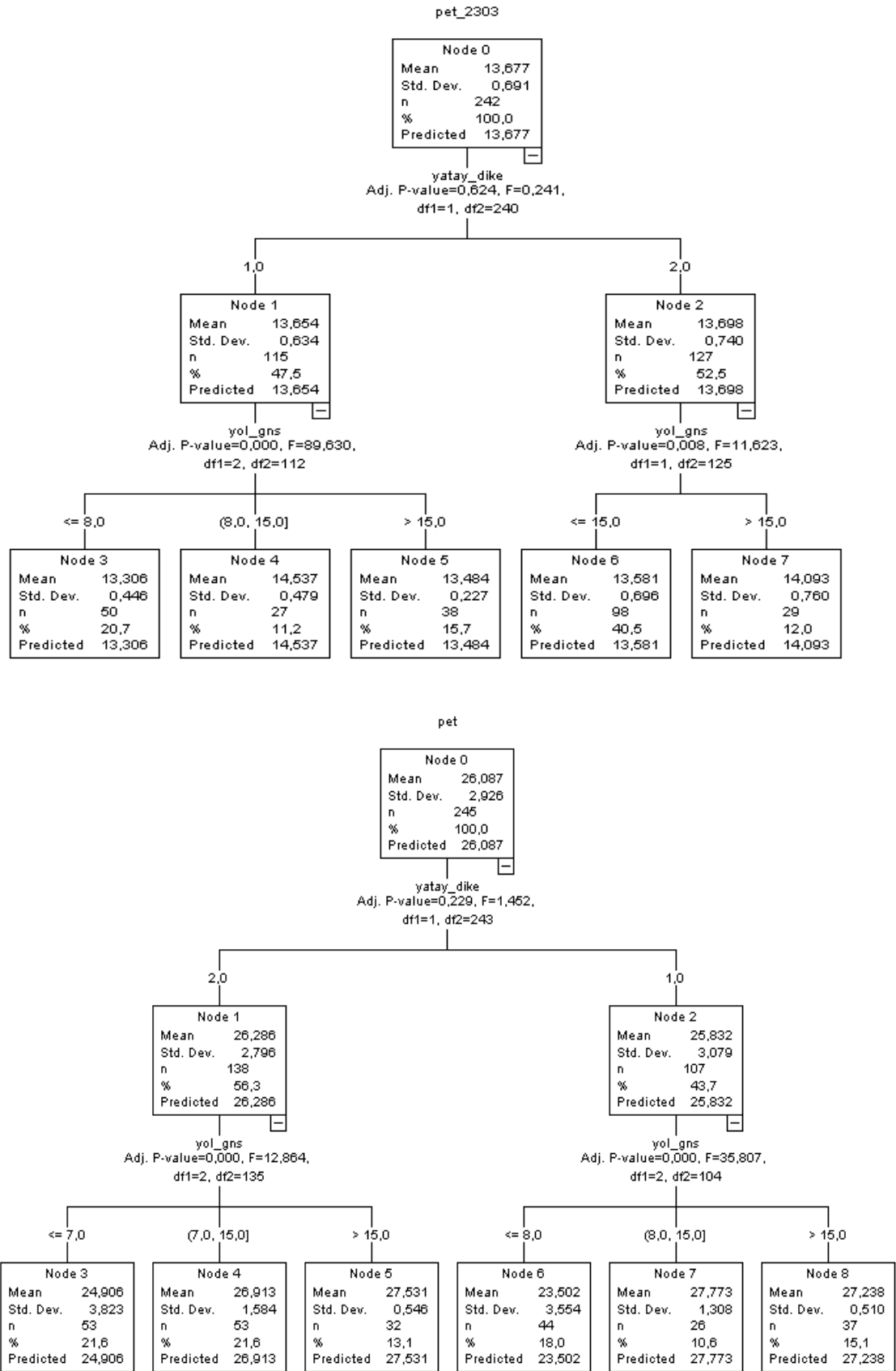
Çizelge 4.5'in devamı



Çizelge 4.5'in devamı



Çizelge 4.5'in devamı



4.5. Gökyüzü Görünüş Faktörü (Sky View Factor, SVF) Analizleri

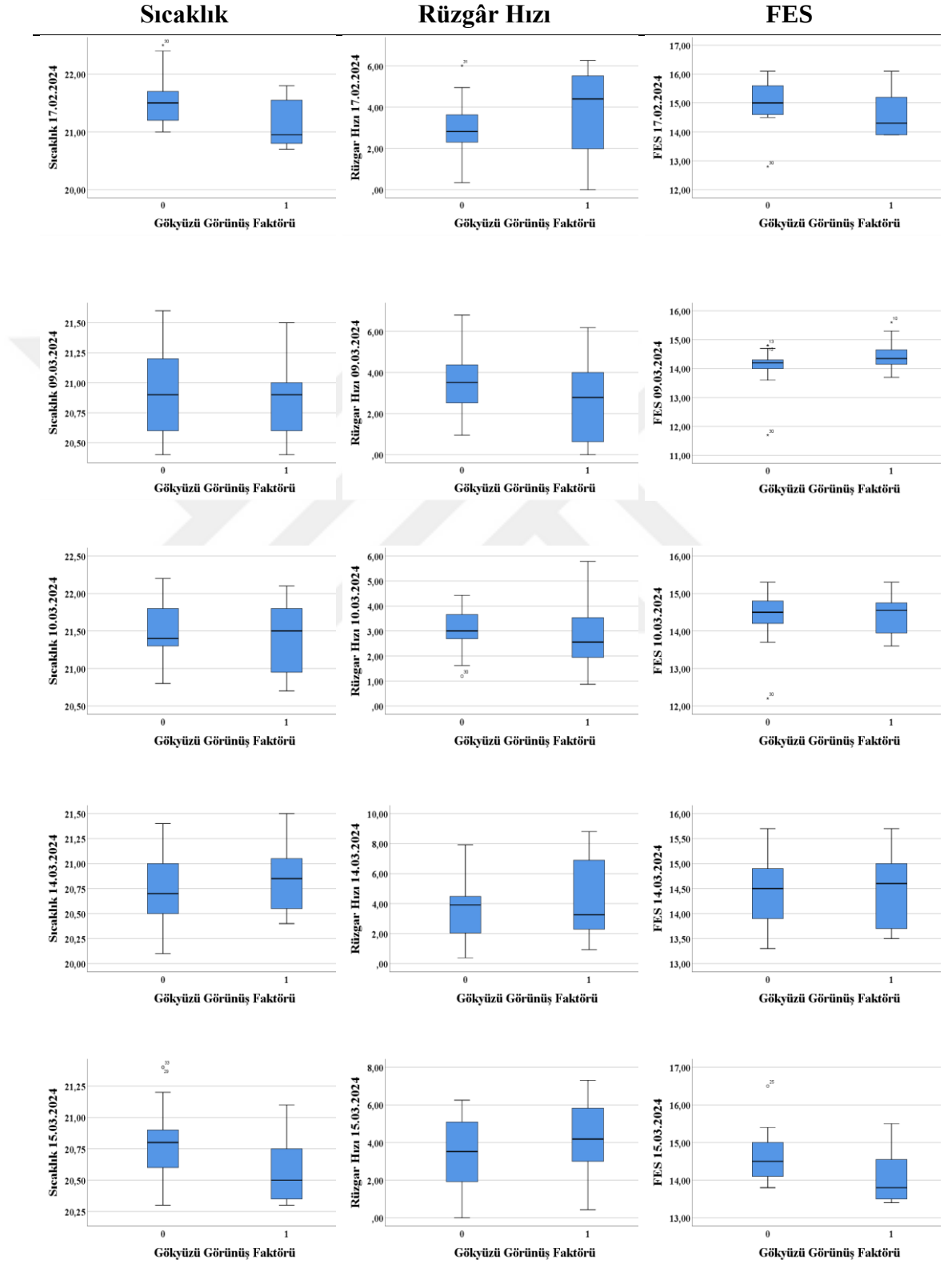
Gökyüzü görünüş faktörü için ilk etapta çalışma alanında hangi noktalardan fotoğraflama yapılacağına karar verilmiştir. Bunun için arazide test sürüşleri yapılmış ve çalışma alanından aynı hat üzerinde en az iki fotoğraf verisi alınacak şekilde noktalar belirlenmiştir. Bu noktalar arasında geniş yapraklı ağaçların olduğu alanlar, açık alanlar, sera ve bina köşeleri gibi farklı arazi morfolojisindeki bölgeler seçilmiştir. Farklı bölge seçimindeki amaç çalışma alanında farklı yüzeylerin gökyüzü görünüşü üzerindeki etkilerini saptamak olmuştur. Gökyüzü görünüş faktörü için fotoğraflarda bina etkisi saptanamamış ve bitki örtüsü yoğunluğuna odaklanılmıştır (Şekil 3.16).

Yapılan analizler sonucunda GGF fotoğrafları için monokromatik görüntüler oluşturulmuş ve bu görüntüler ışığında her bir noktanın sayısal değerleri çıkarılmıştır. Elde edilen GGF verileri 0,324 ve 0,969 (Şekil 3.15) aralığında değer aldığı gözlemlenmiştir.

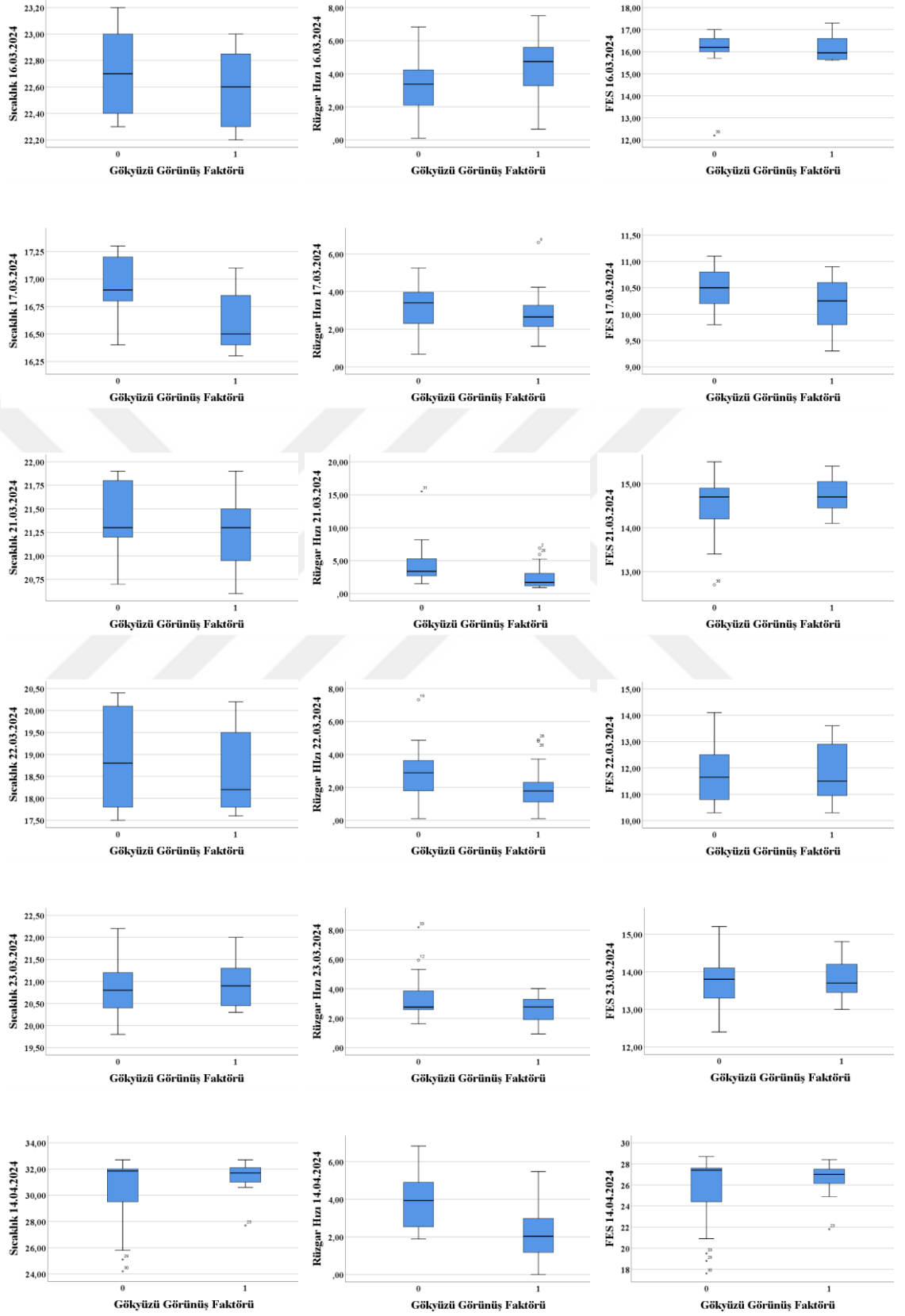
GGF'nin sayısal değerleri ile FES, sıcaklık, rüzgâr ve nem ile korelasyonlarına bakılmış ve bu verilerin birbirleri ile ilişkileri incelenmiştir (Çizelge 4.7). Çizelge incelendiğinde GGF'nin genel olarak bu veriler ile anlamlı bir ilişki içinde olduğu gözlenmemiştir. Bunun başlıca sebebi veri alım zamanının çok değişken iklim koşullarının hâkim olduğu aralığa denk gelmesi olarak düşünülmektedir. FES haritaları incelendiğinde ise GGF'nin 0 değerine yakın olduğu yerler FES için olumlu bir etkiye sahipken, SVF'nin 1 değerine yakın olduğu yerler FES için olumsuz bir etkiye sahip olduğu görülmüştür. Ancak GGF'nin net bir şekilde tahmin edilebilmesi için mevsimin daha kararlı olduğu yaz aylarında veri alınması işlem doğruluğunu etkileyecek faktörlerden birisi olarak karşımıza çıkmaktadır.

Bu işlemten sonra GGF verileri, 0-1 değer aralıklarına yakınlıklarına göre referans aralığı belirlenerek (0,800'den büyük ve 0,800'den küçük değerler) iki eşit guruba ayrılmıştır. Ayrılan iki gurup; sıcaklık, rüzgâr hızı ve FES değerleri için SPSS programında boxplot eklentisi kullanılarak birbirleri ile olan ilişkilerini grafiksel olarak incelenmiştir (Çizelge 4.6). GGF değerinin düşük olması (0 değerine yaklaşması) görüntünün alındığı bölgede gökyüzünün ağaçlar veya binalar ile kapatıldığını ve o bölgede gölge etkisinin olabileceğini göstermektedir (Miao vd. 2020). Ancak her zaman GGF değerinin düşük olması, FES değerini olumlu olarak etkilememektedir. GGF'nin mevsimin kış veya daha soğuk hava şartlarının etkili olduğu dönemde GGF'nin düşük değer alması bölgede muhtemel bir gölgeleme etkisi yaratacak ve nispeten soğuk olan havayı daha da soğuk hale getirmesinden dolayı FES için olumsuz sonuçlar doğuracaktır. GGF ile FES, sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem parametreleri olan korelasyon ilişkilerine bakılmış ve birbirleri ile olan anlamlılık düzeyleri irdelenmiştir. Sonuçlara bakıldığında GGF ile değişkenler arasında istatistiksel bağlamda genel olarak anlamlı ilişkiler gözlemlenmemiştir.

Çizelge 4.6. Kutu grafikleri üzerinden GGF ile Sıcaklık, Rüzgâr, FES ilişkilerinin incelenmesi.



Çizelge 4.6'nın devamı



Çizelge 4.7. Gökyüzü görünüş faktörünün FES, sıcaklık, rüzgâr hızı ve nem ile olan ilişkileri. * GGF verisi istatistiksel olarak anlamlı

Korelasyon			FES	Sıcaklık	Rüzgâr Hızı	Nem
Gökyüzü Görünüş Faktörü	17.02.2024	Korelasyon	-0,316	-0,320	0,045	-0,272
		Sig. (2-tailed)	0,073	0,070	0,802	0,125
	09.03.2024	Korelasyon	0,144	-0,098	-0,219	-0,073
		Sig. (2-tailed)	0,425	0,589	0,221	0,687
	10.03.2024	Korelasyon	-0,091	-0,155	-0,175	-0,103
		Sig. (2-tailed)	0,615	0,390	0,331	0,567
	14.03.2024	Korelasyon	-0,070	0,119	0,087	-0,243
		Sig. (2-tailed)	0,699	0,508	0,631	0,174
	15.03.2024	Korelasyon	-0,230	-0,274	0,055	-0,135
		Sig. (2-tailed)	0,197	0,123	0,761	0,453
	16.03.2024	Korelasyon	-0,132	-0,099	0,063	-0,342
		Sig. (2-tailed)	0,464	0,582	0,728	0,051
	17.03.2024	Korelasyon	-0,290	-0,384*	-0,101	0,178
		Sig. (2-tailed)	0,101	0,027	0,577	0,323
	21.03.2024	Korelasyon	0,069	-0,154	-0,369*	-0,087
		Sig. (2-tailed)	0,704	0,393	0,034	0,629
	22.03.2024	Korelasyon	-0,094	-0,069	-0,029	0,116
		Sig. (2-tailed)	0,602	0,701	0,872	0,519
	23.03.2024	Korelasyon	-0,113	-0,089	-0,214	-0,227
		Sig. (2-tailed)	0,532	0,622	0,232	0,205
	14.04.2024	Korelasyon	-0,176	-0,099	-0,350*	0,012
		Sig. (2-tailed)	0,327	0,583	0,046	0,946

4.6. FES Haritaları ve Analizleri

FES verisi hesaplanırken birçok bağımlı değişken için hesaplama yapılmıştır. Bunlar arasında sıcaklık, rüzgâr hızı, nem, konum bilgisi, zaman dilimi, yükseklik, tarih ve global radyasyon miktarı (Enerji işleri genel müdürlüğü sitesinden temin edilmiştir) gelmektedir. Girdi verileri, ilk olarak Excel programında düzenlenmiş ve sonrasında Rayman Pro programında işlenebilmesi için uygun formata getirilmiştir. Rayman Pro programında gerekli parametreler girildikten sonra FES değerleri elde edilmiş ve bu değerler vasıtası ile konfor haritaları üretilerek bulgular elde edilmiştir (Şekil 4.9). Sonuç haritaları tarihe göre sıralanıp birbirleri ile olan ilişkileri analiz edilmiştir.



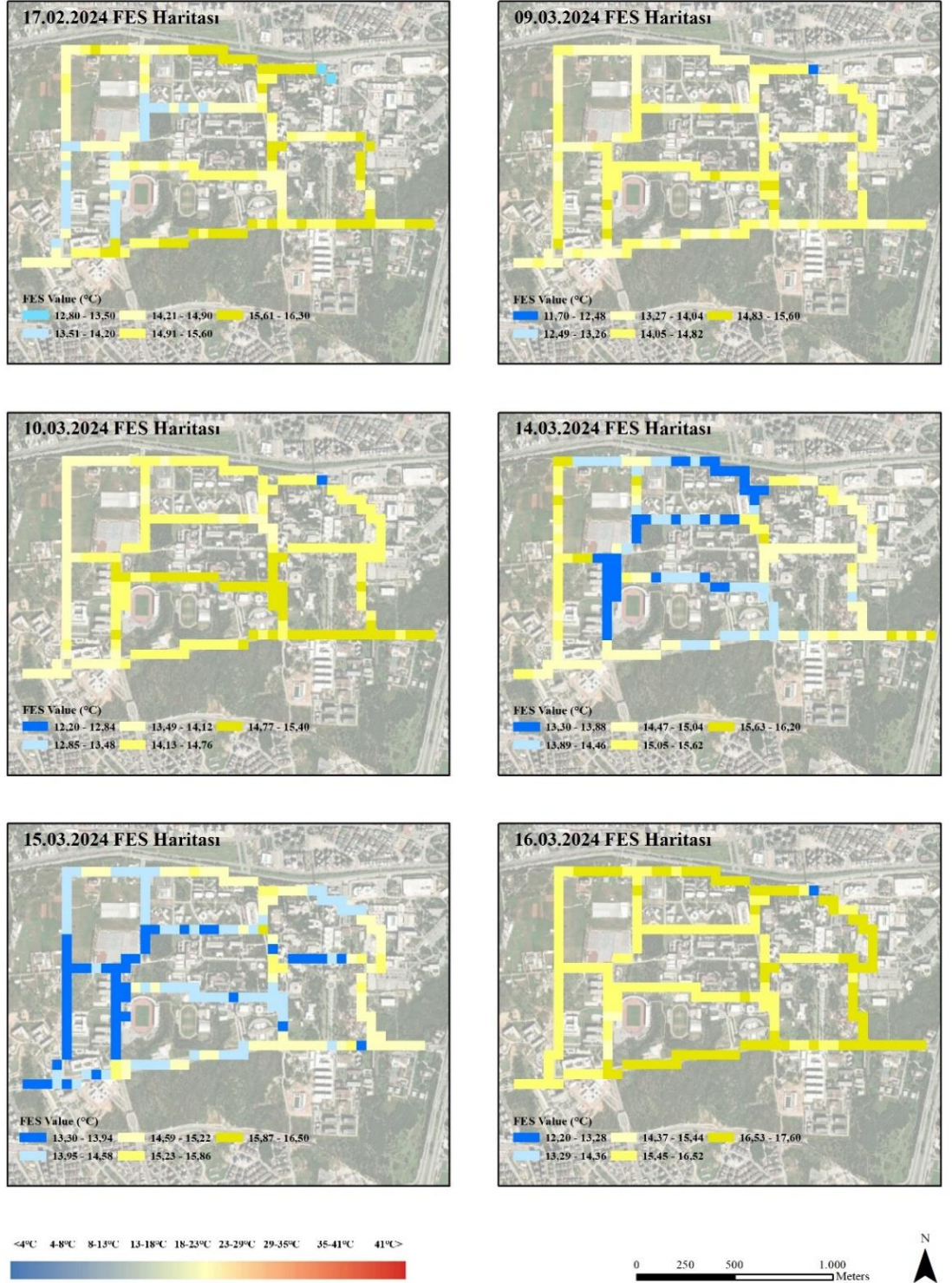
Şekil 4.9. Çalışma alanı örnek FES değerleri

FES değerleri literatür taramalarında da bahsedildiği üzere (Matzarakis 1999) farklı birçok değişkene bağlıdır. Sadece sıcaklık değerine bakarak veya NDVI değerlerine bakarak çıkarım yapmak doğru sonuçların elde edilmesi konusunda yanılgıya düşülmesine neden olacaktır. Bunun için FES değerlerini değişken tüm değerlerin ortak paydası olarak görüp bu bilgi doğrultusunda değerlendirmeye almak yapılan çalışmanın doğruluğu açısından son derece önemlidir. İlkbahar dönemi için, FES değerinin en yüksek olduğu gün 28.80°C ile 14 Nisan günü, en düşük olduğu gün ise 7.30°C ile 17 Mart günü olduğu gözlemlenmiştir. FES değerleri için elde edilen haritalara bakıldığında (Şekil 4.10), (Şekil 4.11) genellikle bitki örtüsü ve geniş yapraklı ağaçların yoğun olduğu merkez bölgedeki Spor Bilimleri Fakültesi ve çevresinde konfor alanları daha yüksek çıkmıştır.

İlk olarak NDVI (Şekil 4.1, Şekil 4.2) verileri incelendiğinde bitki örtüsünün haritanın merkez kısmında bulunan Hukuk fakültesi, alt kısımda bulunan botanik bahçe alanı ve çalışma alanının kuzey batı yönündeki Ziraat Fakültesi bölgesinde yoğun olduğu göze çarpmaktadır. NDVI verileri ile konfor haritası incelendiğinde konforun iyi olduğu yerlerde genellikle NDVI değerinin de yüksek olduğu görülmüştür. Sonuç haritaları incelendiğinde NDVI ve FES arasındaki ilişki, görsel olarak analiz edildiğinde, açık bir şekilde görülmekteyken korelasyon hesabı sonucu NDVI ve FES arasında doğrudan anlamlı sonuçlar elde edilememiştir. Bunda daha önce belirtildiği gibi, NDVI görüntüsünün çözünürlüğünün etkili olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, makilik bölgeler haritalarda en yoğun yeşil bölgeler olarak çıkmıştır. Oysa bu alanlarda yol kenarı ağaçları kısa ve gölgesizdir; ölçümler ise yol üstünden yapılmaktadır. Makilik alanlar ise yeterli serinletici etkiye sahip değildir. Makiliklere bağlı olarak görülen yeşil yoğunluğu, yanıltıcı bir sonuç çıkmasına neden olmaktadır.

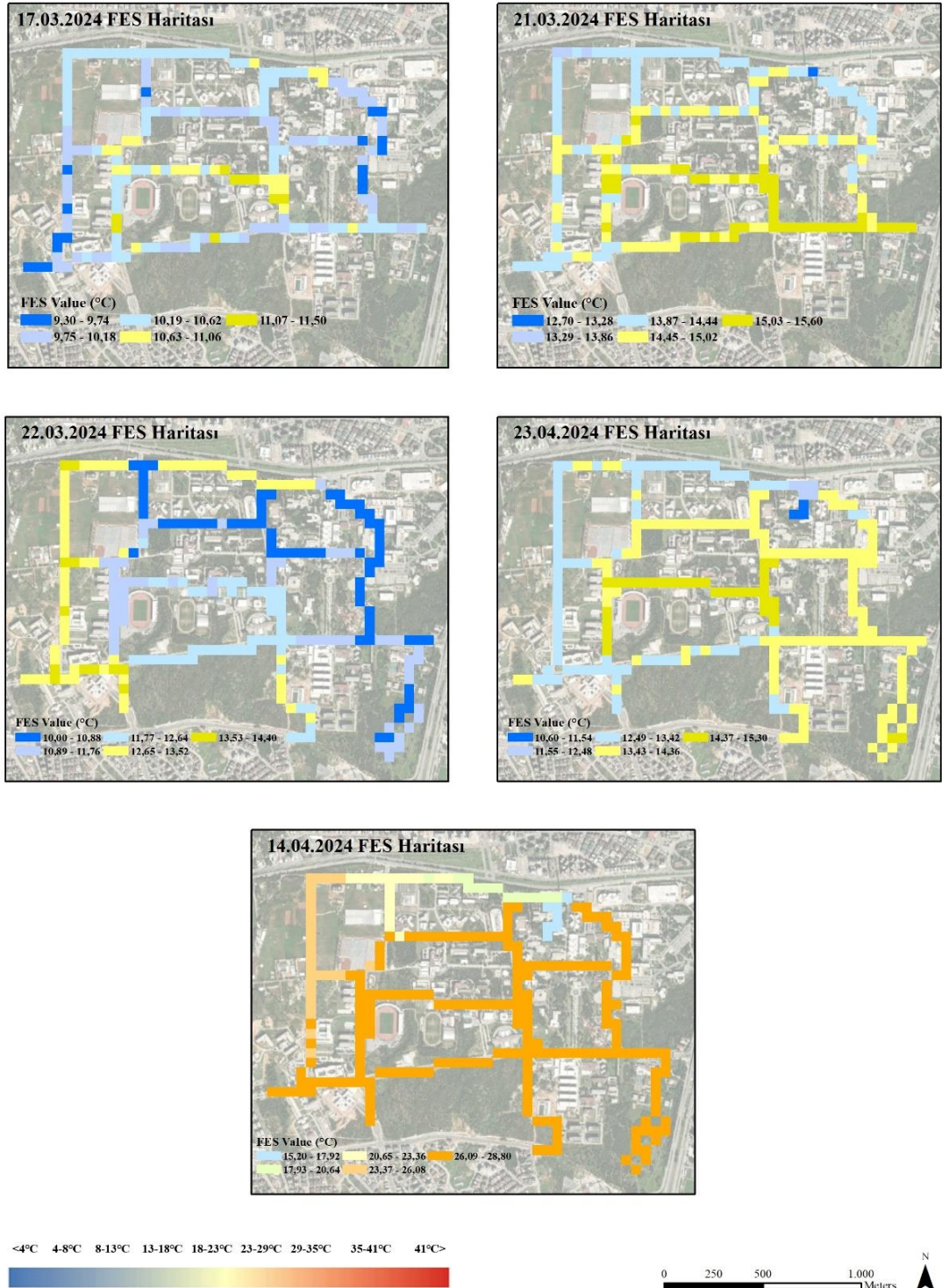
Oluşturulan sonuç haritaları incelendiğinde Çizelge 1.1’deki FES sıcaklık aralıklarına göre çalışma alanı termal algı kriteri dikkate alındığında genel olarak serin ve biraz serin bölgesinde yer aldığı tespit edilmiştir. Tek istisna, 14 Nisan tarihinde alınan veri olarak karşımıza çıkmıştır. 14 Nisan tarihli veri FES sıcaklık aralığına göre biraz ısı stresi bölgesinde değerlerden oluşmuştur. Bunun nedeni, veri alındığı gün hava sıcaklık değerinin yüksek olması ve FES değerini en fazla etkileyen rüzgâr hızının gün içinde çok dalgalı değerlere sahip olması çıkarımı yapılmıştır. FES değerinin bağlı olduğu başka bir değişken olan nem değerleri ise 14 Nisan tarihinde Hmin: 14.90%rH ve Hmax: 34.50%rH olarak ölçülmüştür. Dolayısıyla 14 Nisan günü çalışma sahasında havanın diğer günlere oranla daha kuru olduğu söylenebilmiştir.

İLKBAHAR MEVSİMİ GÜNLÜK FES HARİTALARI



Şekil 4.10. 17 Şubat-16 Mart tarihleri arasında Rayman Pro programı ile elde edilen FES değerleri.

İLKBAHAR MEVSİMİ GÜNLÜK FES HARİTALARI



Şekil 4.11. 17 Mart-14 Nisan tarihleri arasında Rayman Pro programı ile elde edilen FES değerleri.

Haritalar incelendiğinde, çalışma alanının genel olarak merkezinde bulunan yol hatları FES bakımından konforlu çıkmıştır. Akdeniz üniversitesinin arazi yapısı incelendiğinde (Çizelge 3.1) bu bölgelerde yol ve çevresinde geniş yapraklı ve yüksek ağaçların olduğu aynı zamanda çevre yapısının çalılık ve gür bitki örtüsü ile çevrili olduğu gözlenmiştir. FES verilerinin sıcaklık verisinde olduğu gibi diğer değişkenlerle korelasyonlarına bakılmış ve elde edilen sonuçlarla birlikte FES değerlerinin hangi değişkenlere bağlı oldukları saptanmaya çalışılmıştır (Çizelge 4.8).

Çizelge 4.8. FES verisinin NDVI, rüzgâr hızı, sıcaklık ve nem ile olan korelasyon ilişkileri. * FES verisi istatistiksel olarak anlamlı, ** FES verisi istatistiksel olarak yüksek düzeyde anlamlı

Korelasyon			NDVI	Rüzgâr Hızı	Sıcaklık	Nem
Fizyolojik Eşdeğer Sıcaklık	17.02.2024	Korelasyon	0,263**	-0,278**	0,833**	-0,022
		Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,762
	09.03.2024	Korelasyon	-0,071	-0,409**	0,558**	-0,287**
		Sig. (2-tailed)	0,324	0,000	0,000	0,000
	10.03.2024	Korelasyon	0,007	0,179*	0,946**	-0,174*
		Sig. (2-tailed)	0,921	0,011	0,000	0,014
	14.03.2024	Korelasyon	0,032	-0,791**	0,741**	-0,229**
		Sig. (2-tailed)	0,653	0,000	0,000	0,001
	15.03.2024	Korelasyon	0,069	-0,815**	0,701**	0,143**
		Sig. (2-tailed)	0,331	0,000	0,000	0,044
	16.03.2024	Korelasyon	0,162*	-0,756**	0,770**	0,038
		Sig. (2-tailed)	0,022	0,000	0,000	0,595
	17.03.2024	Korelasyon	0,087	-0,557**	0,603**	-0,262**
		Sig. (2-tailed)	0,224	0,000	0,000	0,000

Çizelge 4.8'in devamı

21.03.2024	Korelasyon	0,062	-0,557**	0,725**	-0,223**
	Sig. (2-tailed)	0,390	0,000	0,000	0,002
22.03.2024	Korelasyon	0,227**	-0,447**	0,934**	-0,769**
	Sig. (2-tailed)	0,000	0,000	0,000	0,000
23.03.2024	Korelasyon	-0,027	-0,076	0,952**	-0,101
	Sig. (2-tailed)	0,681	0,239	0,000	0,116
14.04.2024	Korelasyon	0,089	0,177**	0,948**	-0,679**
	Sig. (2-tailed)	0,167	0,005	0,000	0,000

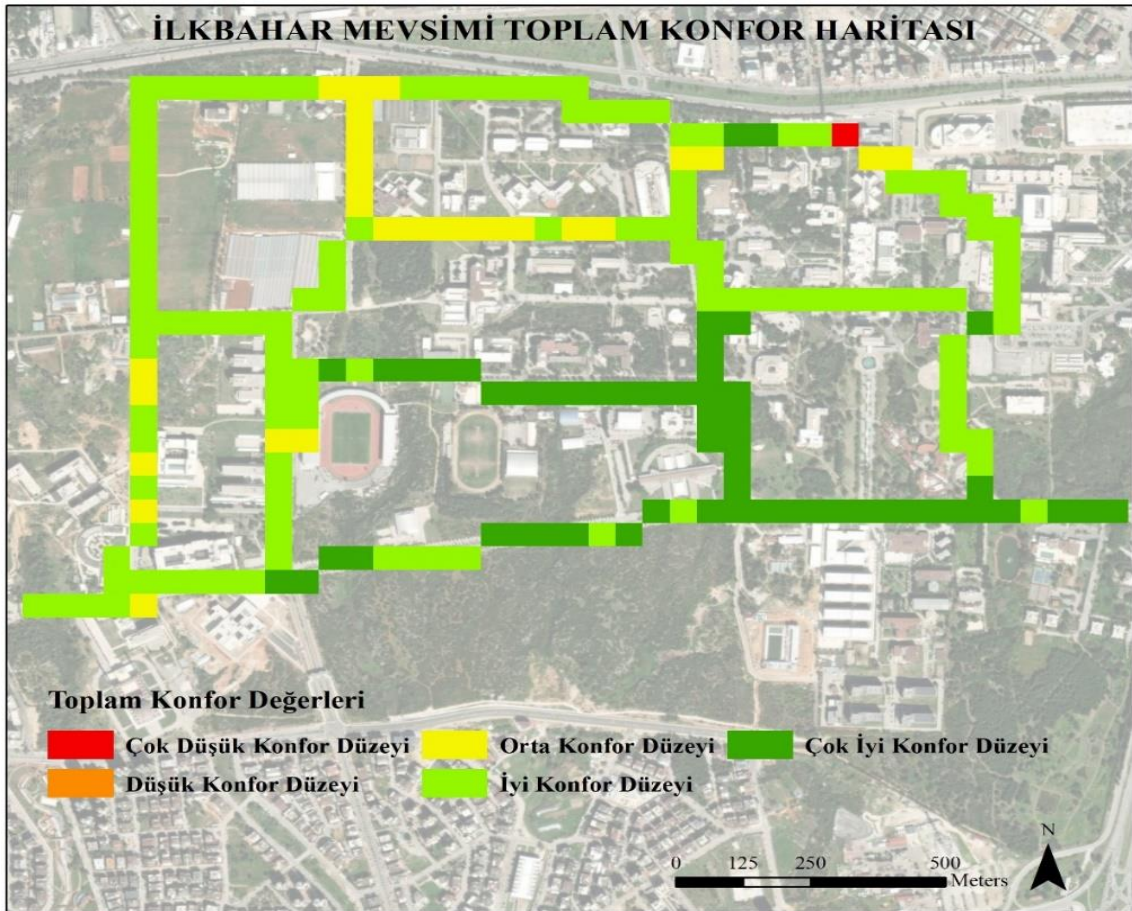
İnsanların çevresel sıcaklık algısını anlamak ve bu algının ölçülen meteorolojik sıcaklıkla nasıl ilişkilendirildiğini belirlemek, termal konforun değerlendirilmesinde kritik bir öneme sahiptir. Bu çalışmada, FES ile ölçülen sıcaklık arasındaki ilişki incelenmiş ve elde edilen bulgular detaylı bir şekilde analiz edilmiştir.

Çizelgedeki korelasyon verilerine göre, FES ile sıcaklık arasında tüm ölçüm günlerinde (%100) doğrusal ve anlamlı bir korelasyon ilişkisi tespit edilmiştir. Yapılan korelasyonlar neticesinde FES ile sıcaklık değerlerinin uyumlu olduğu ve sıcaklık arttıkça FES değerinin de arttığı gözlemlenmiştir. Sıcaklık artışı yapılan çalışmalarda (Gómez vd. 2013) FES değerini artıran bir etki olsa da verilerin alındığı ilkbahar döneminde sıcaklık artışının FES üzerinde pozitif anlamda etki ettiği tespit edilmiştir.

Çoğu tarihte gözlenen negatif korelasyon (örneğin, 14.03.2024'te -0,791** ve 15.03.2024'te -0,815** gibi yüksek değerler), rüzgâr hızının artmasının, insanların hissettiği sıcaklık üzerinde soğutma etkisi yaptığını göstermektedir. Bu soğutma etkisi, rüzgârın deri yüzeyinden buharlaşmayı artırarak vücut sıcaklığını düşürmesiyle açıklanabilir. Bu, özellikle yüksek sıcaklık dönemlerinde termal konforu artırıcı bir etkiye sahiptir. Bu nedenle, rüzgâr hızının artışıyla birlikte FES'te belirgin bir düşüş gözlenmiştir. Bununla birlikte, 10.03.2024 ve 14.04.2024 tarihlerinde düşük düzeyde pozitif korelasyonlar (sırasıyla 0,179 ve 0,177) gözlenmiştir. Bu beklenmedik pozitif ilişkiler, belirli çevresel koşullar veya mikroklimatik etkiler nedeniyle ortaya çıkmış olabilir. Örneğin, bu tarihlerde rüzgârın yönü ve hızı, ortamın genel termal konforunu olumsuz etkilemeyecek şekilde değişmiş olabilir. Ayrıca, bu pozitif korelasyonlar, daha fazla veri ve detaylı analiz gerektiren istisnai durumlar olarak değerlendirilmelidir.

FES ile bir diğer değişken olan nem değerleri incelendiğinde iki parametre arasındaki ilişki genel olarak negatif ve istatistiksel olarak anlamlıdır. Bu durum, nem arttıkça insanların hissettiği sıcaklığın düştüğünü göstermektedir. Nem, insanların terlemesini ve buharlaşmayı zorlaştırarak serinleme kabiliyetini azaltır, bu nedenle yüksek nem oranları FES'i düşürmektedir. Çoğu tarihte gözlenen negatif korelasyonlar (örneğin 09.03.2024'te -0,287**, 14.03.2024'te -0,229**, 17.03.2024'te -0,262**, 21.03.2024'te -0,223**, 22.03.2024'te -0,769** ve 14.04.2024'te -0,679**), nemin artmasının FES değerini düşürdüğünü göstermektedir. Bu güçlü negatif ilişkiler, nemin yüksek olduğu koşullarda insanların daha fazla rahatsızlık hissettiğini ve termal konforun azaldığını ifade eder. Nemli havalarda terleme ve buharlaşma yoluyla serinleme zorlaşır, bu da FES değerinin düşürdüğü gözlemlenmiştir. Özellikle 22.03.2024 (-0,769**) ve 14.04.2024 (-0,679**) tarihlerindeki çok güçlü negatif korelasyonlar, nemin FES üzerinde belirgin bir etkisi olduğunu göstermektedir.

Bu analizlerden sonra her haritanın FES değerleri için bir konfor aralığı belirlenmiş ve değerler 5 ayrı sınıfa ayrılmıştır. Bu işlem sayesinde, tüm konfor haritalarında bulunan FES değerleri bir sınıfa atanmış, böylece her bir harita için hangi bölgenin konforlu olduğu çok rahat bir şekilde tespit edilmiştir. Elde edilen harita (Şekil 4.12), veri alınan tüm günler için sınıflara ayrılmış konfor değerlerinin toplanması sonucunda oluşturulan haritadır.



Şekil 4.12. FES sınıflandırması sonucunda toplam sınıf değerlerinin tek bir harita üzerinde gösterimi.

5. SONUÇLAR

Bu tez çalışmasında Akdeniz Üniversitesi kampüsü termal konforu mobil ölçüm teknikleriyle araştırılmıştır. İlkbahar döneminde yapılan ölçümler sonucu elde edilen bulgular, kampüsün bahar dönemi iklimsel konforunu ifade etmektedir. İlkbahar döneminin değişken hava şartları (ölçüm başlangıcı ile bitişinde değişmiş olan hava şartları) bu tez çalışmasının önemli kısıtlayıcılarından birisi olmuştur; bu süreçte 25 kez ölçüm yapılmış ancak bunlardan yalnızca 11 tanesi kullanılabilir veri sağlamıştır. Yaşanılan bu durum, maliyet ve zaman kaybı yaşamamak için, ilkbahar ölçümlerinin dikkatli planlanması gerektiğini ortaya koymuştur.

Bu tez çalışması; “*Kentsel morfoloji, iklimsel konforu etkilemektedir*” ve “*Bitki örtüsü yoğunluğu iklimsel konforu etkilemektedir*” olmak üzere iki temel hipotez üzerine kurulmuştur. Elde edilen bulgular, kent morfolojisinin parçaları olan sokak yönü ve sokak genişliklerinin iklimsel konforu etkilediğini ortaya koymuş, hipotezi doğrulamıştır. Ancak, elde edilen bitki örtüsünün etkisini ortaya koyamamıştır.

İklimsel konfor ile bitki örtüsü arasındaki ilişki konu hakkında literatürdeki birçok çalışmada ortaya konmuş, artık herkes tarafından kabul edilmiş genel bir bilgi olsa da farklı sonuçlarla karşılaşılabilir. Nitekim bu çalışmada da bitki örtüsü yoğunluğunun FES üzerine etkisi tespit edilememiştir. Bunun üzerinde, uydu görüntüsünün çözünürlüğü ile yersel ölçüm noktaları arasında meydana gelen ölçek farkının etkili olduğu düşünülmektedir. Şekil 4.1 ve Şekil 4.2’de görüldüğü gibi, makilik bölgeler haritalarda en yoğun yeşil bölgeler olarak çıkmıştır. Oysa bu alanlarda yol kenarı ağaçları kısa ve gölgesizdir; sıcaklık ölçümleri ise yol üstünden yapılmaktadır. Makilik alanlar ise yola kadar ulaşan yeterli serinletici etkiye sahip değildir. Dolayısıyla, makiliklere bağlı olarak görülen yeşil yoğunluğu, yanıltıcı bir sonuç çıkmasına neden olmakta, NDVI – FES ilişkilerinin anlamsızlaşmasında neden olmaktadır. Bu durum, başka çalışmalarda da karşımıza çıkabilecek önemli bir problemi ortaya koymakta ve yapılacak başka çalışmalarda göz önünde bulundurulması gereken bir faktör olarak belirmektedir. Özellikle birçok çalışmada kullanılan ve önemli bir altlık olarak kullanılan NDVI görüntüleri, görüntü çözünürlüğüne ve bitki örtüsü türüne bağlı olarak farklı FES ilişkileri çıkarabilmektedir. Yorumlama hatalarına neden olabilecek bu durumun ortadan kaldırılabilmesi için analizlerin uzman kişilerce değerlendirilmesi gerektiğini ortaya koymaktadır.

Kent morfolojisi ile iklimsel konfor arasında doğrudan bir ilişki bulunmaktadır. Naserikia’nın (2023) yaptığı çalışmada, yüzey sıcaklığının ve hava durumunun birbirleri ile olan ilişkisinin belirgin mekânsal ve zamansal özelliklere sahip olduğu ve bu ilişkinin mevsime, ekolojik altyapıya ve bina morfolojisine göre değiştiği gösterilmektedir. Nitekim bu çalışmada da kent morfolojisinin parametrelerinden olan sokak yönü ve sokak genişliklerinin, kampüs alanının iklimsel konforunun ortaya konulmasında etkili olduğu görülmüştür. Bu etkinin oluşmasına neden olan en önemli faktörün ise rüzgâr olduğu tespit edilmiştir. Nitekim, FES ile diğer değişkenler arasındaki ilişki irdelenmiş ve FES in en fazla ilişkili olduğu rüzgâr verisi ile korelasyonlarına bakılmıştır (FES korelasyon çizelgesi). FES ile rüzgâr hızı %90 oranında anlamlı bir ilişki içinde olduğu görülmüştür. Anlamlı veriler içinde %90’lık kısmında ise FES ile rüzgâr verisinin ters korelasyon ilişkisi içinde olduğu tespit edilmiştir.

Diğer taraftan iklimsel konforu etkileyen meteorolojik faktörler incelendiğinde, konforu en fazla sıcaklığın, sonra rüzgârın, sonra da nemin etkilediği görülmektedir.

Bu tez çalışmasından elde edilen bulgular, rüzgâr hızı ve nemin termal konfor üzerindeki etkisini vurgulamakta ve bu bilginin kentsel planlama ve tasarım süreçlerinde dikkate alınması gerektiğini önermektedir. Ayrıca, şehirlerde binaların yerleşim planları, sokak yönleri, sokak genişlikleri ve yeşil alanların düzenlenmesi gibi faktörler, rüzgâr akışını yönlendirerek şehir içi termal konforu etkilemektedir. Özellikle rüzgârın soğutma etkisi, yaz aylarında kentsel alanlarda yaşayan insanlar için önemli bir konfor faktörüdür. Bütün bu sonuçlar, kentsel faktörlerin FES üzerindeki etkisini anlamak için önemli bilgiler sunmakta ve kentsel alanlarda termal konforun iyileştirilmesi için gerekli önemlerin alınması gerektiğini vurgulamaktadır.



6. KAYNAKLAR

Akçakaya, A., Sümer, U. M., Demircan, M., Demir, Ö., Atay, H., Eskioğlu, O., ve Gürkan, H. Yazıcı B, Kocatürk A, Şensoy S, Bölük E, Arabacı H, Açar Y, Ekici M, Yağan S, Çukurçayır F. 2015. Yeni Senaryolarla Türkiye İklim Projeksiyonları ve İklim Değişikliği. Ankara: Meteoroloji Genel Müdürlüğü Yayını. Report No.: TR2015-CC.

Alcoforado, M. J., Andrade, H., Lopes, A., and Vasconcelos, J. (2009). Application of climatic guidelines to urban planning: The example of Lisbon (Portugal). *Landscape and urban planning*, 90(1-2), 56-65.

Al-Ramahy, Z. A. (2024). Evolution the Relationship Between Physiologically Equivalent Temperature and Some Meteorological Parameters for Basra City, Iraq. *Al-Mustansiriyah Journal of Science*, 35(2), 108-115.

Alvarez, S., Guerra, J., and Velazquez, R. (1991, September). Climatic control applications in outdoor spaces at Expo'92. In *Proc. of the Ninth International Conference*, Seville, Spain (pp. 189-193).

Arnfield, J. (2003). Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23, 1–26.

ASHRAE Standard 55 (2004). Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.

Avdan, U., Jovanovska, G. (2016). Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data. *Journal of Sensors*, 2016, 1–8. <https://doi.org/10.1155/2016/1480307>

Benedict, F. G., and Carpenter, T. M. (1910). The metabolism and energy transformations of healthy man during rest (No. 126). Carnegie institution of Washington.

Chander, G., Markham, B. (2003). Revised Landsat-5 TM radiometric calibration procedures and postcalibration dynamic ranges. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41(11), 2674-2677.

Chávez, R. O., Clevers, J. G. P. W., Decuyper, M., De Bruin, S., & Herold, M. (2016). 50 years of water extraction in the Pampa del Tamarugal basin: Can *Prosopis tamarugo* trees survive in the hyper-arid Atacama Desert (Northern Chile). *Journal of Arid Environments*, 124, 292-303.

Chen, Y. C., and Matzarakis, A. (2018). Modified physiologically equivalent temperature—Basics and applications for western European climate. *Theoretical and applied climatology*, 132, 1275-1289.

Chen, Y.-C.; Lin, T.-P.; and Matzarakis, A., 2014: Comparison of mean radiant temperature from field experiment and modelling: a case study in Freiburg, Germany. *Theoretical and Applied Climatology* 118(3), 535–551.

Davtalab, J., Deyhimi, S. P., Dessi, V., Hafezi, M. R., and Adib, M. (2020). The impact of green space structure on physiological equivalent temperature index in open space. *Urban Climate*, 31, 100574.

De Wolff, R. (2008). Developing an Environmental Fog Potential Map Using a GIS. ITC.

Dozier, J., Frew, J., 1990. Rapid calculation of Terin parameters for radiation Modeling from digital elevation data. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 28(5), 963–969.

Dutrieux, L. P., Verbesselt, J., Kooistra, L., and Herold, M. (2015). Monitoring forest cover loss using multiple data streams, a case study of a tropical dry forest in Bolivia. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 107, 112-125.

Fanger, O. (1972). Thermal comfort mcgraw-hill book company. New York.

Festorelli, N., Vik, J. O., Mysterud, A., Gaillard, J. M., Tucker, C. J., and Stenseth, N. C. (2005). Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. Trends in ecology & evolution, 20(9), 503-510.

Fouillet, A., Rey, G., Laurent, F., Pavillon, G., Bellec, S., Guihenneuc-Jouyaux, C., and Hémon, D. (2006). Excess mortality related to the August 2003 heat wave in France. International archives of occupational and environmental health, 80, 16-24.

Fouillet, A., Rey, G., Wagner, V., Laaidi, K., Empereur-Bissonnet, P., Le Tertre, A., and Hémon, D. (2008). Has the impact of heat waves on mortality changed in France since the European heat wave of summer 2003. A study of the 2006 heat wave. International journal of epidemiology, 37(2), 309-317.

Giannini, M.B., Belfiore, O.R., Parenta, C., Santamaria, R. (2015). Land surface temperature from landsat 5 tm images: comparison of different methods using airborne thermal data. Journal of Engineering Science and Technology Review, 8(3), 83-90.

Gómez, F., Cueva, A. P., Valcuende, M., and Matzarakis, A. (2013). Research on ecological design to enhance comfort in open spaces of a city (Valencia, Spain). Utility of the physiological equivalent temperature (FES). Ecological engineering, 57, 27-39.

Güldü, E. ve Kuşçu Şimşek, Ç. (2021). The Cool Island Effects of Green Spaces in Hot and Humid Cities: The Case Study of Antalya, International Journal of SPACE Studies in Architecture and Urban Design, 2, 1

Harlan, S.L., Declet-Barreto, J.H., Stefanov, W.L., FESitti3, D.B., 2012. Neighborhood effects on heat deaths: social and environmental predictors of vulnerability in Maricopa County, Arizona. Environ. Health Perspect. 121, 197–204.

Hartmann, D. L. (2015). Global physical climatology (Vol. 103). Newnes.

Heusinkveld, B. G., Steeneveld, G. V., Van Hove, L. W. A., Jacobs, C. M. J., & Holtslag, A. A. M. (2014). Spatial variability of the Rotterdam urban heat island as influenced by urban land use. Journal of Geophysical Research: Atmospheres, 119(2), 677-692.

Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature—a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. International journal of Biometeorology, 43, 71-75.

Höppe, P. (2002). Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. Energy and buildings, 34(6), 661-665.

Huang, S., Tang, L., Hupy, J. P., Wang, Y., and Shao, G. (2021). A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. *Journal of Forestry Research*, 32(1), 1-6.

James ME, Kalluri SNV (1994) The Pathfinder AVHRR land data set: an improved coarse resolution data set for terrestrial monitoring. *Int J Remote Sens* 15(17):3347–3363

Jendritzky, G. (1990). Methodik zur Räumlichen Bewertung der Thermischen Komponente im Bioklima des Menschen: Fortgeschriebenes Klima-Michel-Modell. na.

Kantor, N. and Unger, J., 2011: The most problematic variable in the course of humanbiometeorological comfort assessment- the mean radiant temperature. *Central European Journal of Geosciences* 3(1), 90–100.

KÖPPEN, W., 1900: – Versuch einer Klassifikation der Klimate, vorzugsweise nach ihren Beziehungen zur Pflanzenwelt. – *Geogr. Zeitschr.* 6, 593–611, 657–679.

Kuşçu Şimşek, Ç. (2013). İstanbul'da kentsel iklim üzerine antropojenik etkiler: Kent ısı adalarının incelenmesi.

Kriegler FJ, Malila WA, Nalepka RF, Richardson W (1969) Preprocessing transformations and their effect on multispectral recognition. *Remote Sens Environ* VI:97–132

Krüger, T., Held, F., Hoechstetter, S., Goldberg, V., Geyer, T., and Kurbjuhn, C. (2013). A new heat sensitivity index for settlement areas. *Urban Climate*, 6, 63-81.

Matzarakis, A., and Amelung, B. (2008). Physiological equivalent temperature as indicator for impacts of climate change on thermal comfort of humans. In *Seasonal forecasts, climatic change and human health: health and climate* (pp. 161-172). Dordrecht: Springer Netherlands.

Matzarakis, A., and Mayer, H. (1996). Another kind of environmental stress: thermal stress. *WHO newsletter*, 18(January 1996), 7-10.

Matzarakis, A., and Amelung, B. (2008). Physiological equivalent temperature as indicator for impacts of climate change on thermal comfort of humans. In *Seasonal forecasts, climatic change and human health: health and climate* (pp. 161-172). Dordrecht: Springer Netherlands.

Matzarakis, A., Mayer, H., and Iziomon, M. G. (1999). Applications of a universal thermal index: physiological equivalent temperature. *International journal of biometeorology*, 43, 76-84.

McCarthy, M. P., Best, M. J., and Betts, R. A. (2010). Climate change in cities due to global warming and urban effects. *Geophysical research letters*, 37(9).

Miao, C., Yu, S., Hu, Y., Zhang, H., He, X., and Chen, W. (2020). Review of methods used to estimate the sky view factor in urban street canyons. *Building and environment*, 168, 106497.

Mills, G., Cleugh, H., Emmanuel, R., Endlicher, W., Erell, E., McGranahan, G., Ng, E., Nickson, A., Rosenthal, J., Steemer, K., (2010). "Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective)", *Procedia Environmental Sciences* 1:228-246.

- Mora, R., and Bean, R. (2018). Thermal comfort: Designing for people. *ASHRAE J*, 60(2), 40-46
- Naserikia, M., Hart, M. A., Nazarian, N., Bechtel, B., Lipson, M., and Nice, K. A. (2023). Land surface and air temperature dynamics: The role of urban form and seasonality. *Science of the Total Environment*, 905, 167306.
- Öztürk, M. Z., Çetinkaya, G., ve AYDIN, S. (2017). Köppen-Geiger iklim sınıflandırmasına göre Türkiye'nin iklim tipleri. *Coğrafya Dergisi*, (35), 17-27.
- Pastor-Guzman, J., Atkinson, P. M., Dash, J., and Rioja-Nieto, R. (2015). Spatiotemporal variation in mangrove chlorophyll concentration using Landsat 8. *Remote sensing*, 7(11), 14530-14558.
- Pezzoli, A., Cristofori, E., Gozzini, B., Marchisio, M., and Padoan, J. (2012). Analysis of the thermal comfort in cycling athletes. *Procedia Engineering*, 34, 433-438.
- Rajkovich, N. B., and Larsen, L. (2016). A bicycle-based field measurement system for the study of thermal exposure in Cuyahoga County, Ohio, USA. *International journal of environmental research and public health*, 13(2), 159.
- Song, Y., Zhang, T., & Qi, F. (2024). A Correction Method for Calculating Sky View Factor in Urban Canyons Using Fisheye Images. *Building and Environment*, 111834.
- Su, X., Yuan, Y., Wang, Z., Liu, W., Lan, L., and Lian, Z. (2024). Human thermal comfort in non-uniform thermal environments: A review. *Energy and Built Environment*, 5(6), 853-862.
- Stone, B., Hess, J. J., & Frumkin, H. (2010). Urban form and extreme heat events: are sprawling cities more vulnerable to climate change than compact cities. *Environmental health perspectives*, 118(10), 1425-1428.
- Şarлак, N., ve BAĞÇACI, S. (2020). Ampirik potansiyel evapotranspirasyon tahmin yöntemlerinin değerlendirilmesi: Uygulama Konya kapalı havzası. *Teknik Dergi*, 31(1), 9755-9772.
- Şensoy, S., Türkoğlu, N., ÇİÇEK, İ., ve Matzarakis, A. (2020). Antalya'nın termal konfor özellikleri, iklim model verileri kullanılarak gelecek projeksiyonları ve turizme etkileri. *Coğrafi Bilimler Dergisi*, 18(2), 124-160.
- Şimşek, Ç. K., ve Şengezer, B. (2012). İstanbul metropoliten alanında kentsel ısınmanın azaltılmasında yeşil alanların önemi. *Megaron* 7 (2), 116-128.
- T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı, Arazi Örtüsü Kullanım Verileri <https://corinecbs.tarimorman.gov.tr/> [Son erişim tarihi: 15.01.024]
- Theeuwes, N.E., Steeneveld, G.J., Ronda, R.J., Holtslag, A.A., 2017. A diagnostic equation for the daily maximum urban heat island effect for cities in Northwestern Europe. *Int. J. Climatol.* 370 (1), 443–454. jan 2017. ISSN 10970088.
- Tian, J., Wang, L., Li, X., Gong, H., Shi, C., Zhong, R., and Liu, X. (2017). Comparison of UAV and WorldView-2 imagery for mapping leaf area index of mangrove forest. *International journal of applied earth observation and geoinformation*, 61, 22-31.

Tomašík, J., Chudá, J., Tunák, D., Chudý, F., and Kardoš, M. (2021). Advances in smartphone positioning in forests: Dual-frequency receivers and raw GNSS data. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 94(2), 292-310.

Van der Hoeven, F., Wandl, A., 2015. Amsterwarm: mapping the landuse, health and energy-efficiency implications of the Amsterdam urban heat island. *Build. Serv. Eng. Res. Technol.* 360 (1), 67–88.

Vargo, J., Habeeb, D., and Stone Jr, B. (2013). The importance of land cover change across urban–rural typologies for climate modeling. *Journal of environmental management*, 114, 243-252.

Vicente-Serrano, S. M., Camarero, J. J., Olano, J. M., Martín-Hernández, N., Peña-Gallardo, M., Tomás-Burguera, M., ... and El Kenawy, A. (2016). Diverse relationships between forest growth and the Normalized Difference Vegetation Index at a global scale. *Remote Sensing of Environment*, 187, 14-29.

Yıldız, H., Mermer, A., Ünal, E., ve Akbaş, F. (2012). Türkiye bitki örtüsünün NDVI verileri ile zamansal ve mekansal analizi. *Tarla Bitkileri Merkez Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 21(2), 50-56.

Yuan, F., Bauer, M. E. (2006). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*. 106(3), 375-386.

Wang, F., Qin, Z., Song, C., Tu, L., Karnieli, A., Zhao, S. (2015). An improved mono-window algorithm for land surface temperature retrieval from Landsat 8 thermal infrared sensor data. *Remote Sensing*, 7(4), 4268-4289.

Writzl, L., Wollmann, C. A., Costa, I. T., Iensse, A. C., da Silva, A. N., de Freitas Baumhardt, O., ... and Matzarakis, A. (2023). Mobile Measurements in the Urban Thermal Environment Using Bicycles: A Systematic Review.

Xie, Y., Huang, T. , Li, J., Liu, J., Niu, J., Mak, C.M. and Lin, Z. (2018). Evaluation of a multi-nodal thermal regulation model for assessment of outdoor thermal comfort: Sensitivity to wind speed and solar radiation, *Building and Environment*, 132, 45-46

Xue J, Su B (2017) Significant remote sensing vegetation indices: a review of developments and applications. *J Sensors* 2017:1353691

Žgela, M., Ložuk, J., Jureša, P., Justić, K., Popović, M., Boras, M., and Herceg-Bulić, I. (2024). Urban heat load assessment in Zagreb, Croatia: a multi-scale analysis using mobile measurement and satellite imagery. *Environmental monitoring and assessment*, 196(5), 410.

Zhu, X., and Liu, D. (2015). Improving forest aboveground biomass estimation using seasonal Landsat NDVI time-series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 102, 222-231.

ÖZGEÇMİŞ

MUSTAFA KALAYCI

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2021-2024	Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Ana Bilim Dalı, Antalya
Lisans	Akdeniz Üniversitesi
2012-2020	Fen Fakültesi, Uzay Bilimleri ve Teknolojileri Bölümü, Antalya

ESERLER

Uluslararası hakemli dergilerde yayımlanan makaleler

1- Selim, S., Kalaycı, M., & Kılçık, A. (2020). Obtaining Height Information Using a 2-D Top View UAV Image with the Help of Spherical Astronomy. Journal of the Indian Society of Remote Sensing, 48, 1083-1090.