

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
COĞRAFYA ANABİLİM DALI**

**ERZURUM KENT MERKEZİNDEKİ GİZLİ BUZLANMA RİSK
DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ VE AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ**

Ertuğrul GÜNEY

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Danışman: Doç. Dr. Mehmet Fatih DÖKER

TEMMUZ - 2024

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
SOSYAL BİLİMLER ENSTİTÜSÜ

ERZURUM KENT MERKEZİNDEKİ GİZLİ BUZLANMA
RİSK DÜZEYİNİN BELİRLENMESİ VE AKILLI ULAŞIM
SİSTEMLERİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ertuğrul GÜNEY

Enstitü Anabilim Dalı: Coğrafya

“Bu tez 01/07/2024 tarihinde online olarak savunulmuş olup aşağıdaki isimleri bulunan jüri üyeleri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.”

JÜRİ ÜYESİ	KANAATI
Doç. Dr. Mehmet Fatih DÖKER	Başarılı
Doç. Dr. Muhammet KAÇMAZ	Başarılı
Dr. Öğr. Üyesi Abdulkadir ÖZDEN	Başarılı

ETİK BEYAN FORMU

Enstitünüz tarafından Uygulama Esasları çerçevesinde alınan Benzerlik Raporuna göre yukarıda bilgileri verilen tez çalışmasının benzerlik oranının herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve Etik Kurul Onayı gerektiği takdirde onay belgesini aldığımı beyan ederim.

Etik kurul onay belgesine ihtiyaç var mıdır?

Evet ☐

Hayır ☒

(Etik Kurul izni gerektiren araştırmalar aşağıdaki gibidir:

- Anket, mülakat, odak grup çalışması, gözlem, deney, görüşme teknikleri kullanılarak katılımcılardan veri toplanmasını gerektiren nitel ya da nicel yaklaşımlarla yürütülen her türlü araştırmalar,
- İnsan ve hayvanların (materyal/veriler dahil) deneysel ya da diğer bilimsel amaçlarla kullanılması,
- İnsanlar üzerinde yapılan klinik araştırmalar,
- Hayvanlar üzerinde yapılan araştırmalar,
- Kişisel verilerin korunması kanunu gereğince retrospektif çalışmalar.)

Ertuğrul GÜNEY

01/07/2024

ÖN SÖZ

Trafik kazaları, artan nüfus ve buna bağlı olarak artan taşıt sayısı ile can ve mal kayıplarına neden olmakta ve bu bağlamda ulusal ve uluslararası düzeyde önemli bir sorun haline gelmektedir. Trafik kazalarının minimuma indirilmesi için nedenlerine odaklanması, mekân ve zaman analizi yapılarak önlem alınması gereken noktaların belirlenmesi ve bu noktalara çözümler üretilmesi kamu güvenliği açısından önemli bir husustur.

Çalışma kapsamında, Erzurum kent merkezinin coğrafi özellikleri ile kent merkezinde buzlanma nedeniyle meydana gelen trafik kazaları incelenmiştir. Trafik kazalarını etkileyen coğrafi nedenlere odaklanılmış, kazaların zaman ve mekân boyutunda analizleri yapılmıştır. Sonuç olarak karayollarındaki buzlanma nedeniyle kaza risk düzeyinin arttığı lokasyonlar, zaman dilimleri ve meteoroloji değer aralıkları belirlenmiştir. Çalışmanın sonuç kısmında ise buzlanma nedeniyle meydana gelen kazaların minimuma indirilmesi için sistem ve uygulama önerilerinde bulunulmuştur.

Yüksek Lisans tez çalışmam süresince bütün hoşgörüsü ve içtenliğiyle yardımlarını esirgemeyen danışmanım ve değerli hocam Doç. Dr. Mehmet Fatih DÖKER başta olmak üzere, ilgili yaklaşımı ve bilgisiyle yardımlarını hissettiğim Prof. Dr. Beyza USTAOĞLU'na ve Ar. Gör. Dr. Ozan Arif KESİK hocama teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca veri temini hususunda, ilgi ve alakalarından dolayı Erzurum Emniyet Genel Müdürlüğü Trafik Şube Başkanlığı polis memurlarına da şükranlarımı sunarım.

Yüksek Lisans çalışmalarım süresince desteklerini esirgemeyen, bana sonsuz güvenen, tek başına hayat mücadelesi vererek beni bugünlere getiren ve aynı zamanda hep arkamda olan aileme en içten ve derin şükranlarımı sunuyorum.

Ertuğrul GÜNEY

01/07/2024

İÇİNDEKİLER

KISALTMALAR	iii
TABLO LİSTESİ	iv
ŞEKİL LİSTESİ	v
GRAFİK LİSTESİ	vi
GÖRSEL LİSTESİ	vii
FOTOĞRAF LİSTESİ	viii
HARİTA LİSTESİ	ix
ÖZET	x
ABSTRACT	xi
GİRİŞ	1
1. BÖLÜM: ARAŞTIRMA SAHASININ COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ	13
1.1. Fiziki Coğrafya Özellikleri.....	13
1.1.1. Araştırma Sahasının Jeomorfoloji Özellikleri	13
1.1.1.1. Yükseklik Analizi.....	13
1.1.1.2. Eğim Analizi	14
1.1.1.3. Bakı Analizi	17
1.1.1.4. Profil Analizi.....	19
1.1.1.5. Jeomorfolojik Birimler	21
1.1.2. İklim Özellikleri	23
1.1.2.1. Sıcaklık	23
1.1.2.2. Basınç ve Rüzgarlar	26
1.1.2.3. Nem ve Yağış.....	27
1.2. Beşerî ve İktisadi Coğrafya Özellikleri	30
1.2.1. Yerleşme.....	30
1.2.2. Nüfus	33
1.2.3. Ulaşım	36
2. BÖLÜM: COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ VE AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ İLİŞKİSİ	39

2.1. Kar ve Buzla Mücadelede Dünya'daki Akıllı Ulaşım Sistemi Uygulamaları ve Aktif Teknolojik Yöntemler	40
2.1.1. Sabit Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi	40
2.1.2. Otomatik Solüsyon Püskürtme Sistemleri.....	42
2.1.3. Araçtan Araca (V2V) İletişim Sistemi	44
2.1.4. Mobil Yol Meteoroloji Bilgi Sistemleri	45
2.1.5. Hidronik (Jeotermal) Buzlanma Önleyici Sistemler	46
2.1.6. Elektriksel İletkenlik Özelliği Olan Asfalt Kaplamalar	47
2.1.7. Karbon Fiber Bantlarla Isıtma	48
2.1.8. Toplu Taşıma Araçlarında Kullanılan Otomatik Spreyleme Sistemi.....	49
2.2. Kar ve Buzla Mücadelede Türkiye'deki Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları ve Aktif Teknolojik Yöntemler	49
2.2.1. Buzlanma Erken Uyarı Sistemi (BEUS)	49
2.2.2. Elektriksel İletken Isıtma Kablolarıyla Buzlanmanın Önlenmesi	51
3. BÖLÜM: BULGULAR VE TARTIŞMA	54
3.1. Kazaların Zamansal Analizi	54
3.2. Kazaların Mekânsal Analizi	69
3.2.1. Kaza Risk Düzeyinin Belirlenmesi	69
SONUÇ	78
KAYNAKÇA.....	82
ÖZ GEÇMİŞ	88

KISALTMALAR

AUS	: Akıllı Ulaşım Sistemleri
BEUS	: Buzlanma Erken Uyarı Sistemi
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DEM	: Digital Elevation Model
EGM	: Emniyet Genel Müdürlüğü
ETÜ	: Erzurum Teknik Üniversitesi
HC	: Hırvat Caste Ltd.
ITS	: Intelligent Transport Systems
MARWIS	: Mobile Road Weather Information System
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
RWIS	: Road Weather Information System
SERSO	: Solar Energy Pilot Project
YÜTAM	: Yüksek Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi

TABLO LİSTESİ

Tablo 1: Çalışmada Kullanılmak Üzere Çeşitli Kurumlardan Temin Edilen Veriler	7
Tablo 2: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden Temin Edilen Verilerin Öznitelik Bilgileri	7
Tablo 3: Araştırma Sahasındaki Eğitim Basamaklarının Alansal Değerleri	16
Tablo 4: Araştırma Sahasındaki Bakı Yönlerinin Alansal Değerleri	17
Tablo 5: Araştırma Sahasındaki Jeomorfolojik Birimlerin Alansal Değerleri	23
Tablo 6: Erzurum’un Aylara Göre Güneşlenme Süresi.....	23
Tablo 7: Erzurum’da Etkili Olan Şiddetli ve Yıkıcı Depremler.....	33
Tablo 8: Erzurum Şehir Nüfusunun Yıllara Göre Değişimi.....	34
Tablo 9: Araştırma Sahasında Bulunan Mahalle Yerleşmelerinin 2022 Yılı Nüfusu ...	35
Tablo 10: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlik Hava Durumu İstatistikleri.....	57
Tablo 11: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlik Hava Sıcaklığı Frekans Değerleri.....	57
Tablo 12: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlik Toprak Sıcaklığı Frekans Değerleri.....	58
Tablo 13: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlik Rüzgâr Şiddeti Frekans Değerleri.....	59
Tablo 14: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlik Nispi Nem Frekans Değerleri.....	59
Tablo 15: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlik Bulutluluk Frekans Değerleri.....	60
Tablo 16: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Hava Sıcaklığı (°C) Değerleri ..	61
Tablo 17: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik 10 cm Toprak Sıcaklığı (°C) Değerleri.....	63
Tablo 18: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Rüzgâr Şiddeti (m/sn) Değerleri.....	64
Tablo 19: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Bulutluluk (8 okta) Değerleri...	66
Tablo 20: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Bağıl Nem (%) Değerleri	67

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil 1: Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları	4
Şekil 2: Çalışmanın Metod Akış Şeması.....	8
Şekil 3: Araştırma Sahasının Yükseklik Profili Kesitleri	21
Şekil 4: SERSO Hidronik Sistemi	47



GRAFİK LİSTESİ

Grafik 1: Araştırma Sahasındaki Eğim Gruplarının Dağılımı	16
Grafik 2: Araştırma Sahasındaki Bakı Yönlerinin Dağılımı.....	18
Grafik 3: Erzurum'un Aylara Göre Güneşlenme Süresi Grafiği.....	24
Grafik 4: Erzurum'un Aylara Göre Ortalama Sıcaklık Grafiği.....	26
Grafik 5: Erzurum'un Mevsimlere Göre Yağış Dağılışı Grafiği	28
Grafik 6: Erzurum'un Aylara Göre Ortalama Yağış Grafiği	29
Grafik 7: Erzurum Şehir Nüfusunun Yıllara Göre Değişim Grafiği.....	35
Grafik 8: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlere Göre Dağılımı	54
Grafik 9: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlere Göre Yüzdesel Dağılımı.....	55
Grafik 10: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Aylara Göre Dağılımı	55
Grafik 11: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Yıllara Göre Dağılımı.....	56
Grafik 12: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Hava Sıcaklığı (°C) Grafiği	62
Grafik 13: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik 10 cm Toprak Sıcaklığı (°C) Grafiği	63
Grafik 14: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Rüzgâr Şiddeti (m/sn) Grafiği	65
Grafik 15: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Bulutluluk (8 okta) Grafiği.....	66
Grafik 16: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Bağıl Nem (%) Grafiği	68

GÖRSEL LİSTESİ

Görsel 1: Erzurum 'un 18. Yüzyıldaki Durumunu Gösteren Bir Gravür.....	32
Görsel 2: Sabit Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi	41
Görsel 3: Sabit Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi İşleyiş Şeması	42
Görsel 4: Otomatik Solüsyon Püskürtme Sistemi	43
Görsel 5: Minnesota Otomatik Solüsyon Püskürtme Sistemi.....	43
Görsel 6: Köprülerde Buzlanma	44
Görsel 7: Araçtan Araca İletişim Sistemiyle Kavşak Güvenlik Uyarısı.....	45
Görsel 8: Mobil Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi.....	45
Görsel 9: Road Weather Web Sitesi Mobil Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi	46
Görsel 10: İletken Asfalt Kaplaması ile Kar ve Buz Eritme İşlemi	48
Görsel 11: Karbon Fiber Bantların Zemin İçerisine Yerleştirilmesi ve Betonla Kaplanması İşlemi.....	48
Görsel 12: Zeminin Isıtma Öncesi (a), Esnası (b) ve Sonrasındaki (c) Durumu.....	49
Görsel 13: Toplu Taşıma Araçlarında Kullanılan Otomatik Spreyleme Uygulaması...	49
Görsel 14: Akıllı Ulaşım Sistemi (AUS) ile Buzlanma Erken Uyarı Sistemi (BEUS) Konsepti	50
Görsel 15: BEUS (Buzlanma Erken Uyarı Sistemi	51
Görsel 16: Elektriksel İletken Isıtma Kablolarının Teker İzleri Boyunca Kaplama Zemine Yerleştirilmesi	51
Görsel 17: İletken Isıtma Kablo Sisteminin Uygulama Sonrasındaki Kar ve Buzu Eritmesi İşlemi	52
Görsel 18: Kuzey Ankara Çevre Yolunda Uygulanan İletken Isıtma Kablo Sistemi....	53

FOTOĞRAF LİSTESİ

Fotoğraf 1: Refik Saydam Caddesinde Meydana Gelen Zincirleme Trafik Kazası (22.03.2024).....	69
Fotoğraf 2: Muratpaşa Mahallesi Atatürk Bulvarında Meydana Gelen Trafik Kazası (22.03.2024).....	71
Fotoğraf 3: Mustafa Durak Sakarya KöprülÜ Kavşasında Meydana Gelen Buzlanma (30.03.2023).....	71
Fotoğraf 4: Rabia Ana Mahallesi Yenikapı Caddesinde Meydana Gelen Trafik Kazası (17.12.2023).....	73
Fotoğraf 5: Muratpaşa Mahallesinde Eğimli Yollarda Meydana Gelen Trafik Kazaları (18.12.2023).....	76
Fotoğraf 6: Muratpaşa Mahallesi 3. Hacı Ahmet Sokaktaki Eğim Derecesi Yüksek Yollar (17.12.2023).....	76

HARİTA LİSTESİ

Harita 1: Araştırma Sahasının Lokasyon Haritası.....	11
Harita 2: Araştırma Sahasındaki Mahalle Yerleşmelerinin Yüzölçümü Büyüklüklerine Göre Haritası	12
Harita 3: Araştırma Sahasının Yükselti Kademeleri.....	14
Harita 4: Araştırma Sahasının Eğim Haritası.....	15
Harita 5: Araştırma Sahasının Bakı Haritası.....	18
Harita 6: Araştırma Sahasının Topoğrafya Haritası.....	19
Harita 7: Araştırma Sahasının Jeomorfoloji Haritası.....	22
Harita 8: Araştırma Sahasındaki Mahalle Yerleşmelerinin Nüfus Dağılışı Haritası	36
Harita 9: Araştırma Sahasındaki Devlet Yollarının Taşıt Trafik Hacmi	38
Harita 10: Araştırma Sahasındaki Kaza Noktalarının Dağılışı	70
Harita 11: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Kernel Yoğunluk Analizi	72
Harita 12: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Sıcak Nokta Analizi	74
Harita 13: Araştırma Sahasındaki Karayollarının Eğim Haritası.....	75
Harita 14: Araştırma Sahasındaki Karayollarının Bakı Haritası.....	77

ÖZET	
Başlık: Erzurum Kent Merkezindeki Gizli Buzlanma Risk Düzeyinin Belirlenmesi ve Akıllı Ulaşım Sistemleri	
Yazar: Ertuğrul GÜNEY	
Danışman: Doç. Dr. Mehmet Fatih DÖKER	
Kabul Tarihi: 01/07/2024	Sayfa Sayısı: xi (ön kısım) + 88 (ana kısım)
Kış şartlarının ağır, karın yerde kalma süresinin uzun ve donlu günler sayısının fazla olduğu yerleşmelerde buzlanma nedeniyle meydana gelen kazalar artış göstermekte ve bu durum ölü ve yaralı sayısındaki bilançoyu ağırlaştırmaktadır. Dolayısıyla ülkemizde mevzu bahis kış şartlarına sahip olan yerleşmelerde, buzlanma nedeniyle meydana gelen kazaları minimuma indirmek, trafik sıkışıklığını önlemek ve yolcu güvenliğini sağlamak için çözüm odaklı buzlanma önleyici sistemlerin uygulanmaya alınması büyük bir önem arz etmektedir. Kış şartlarının ağır ve çetin geçtiği Erzurum da trafik kazası bilançosu göz önünde bulundurulduğunda ele alınması gereken yerleşmelerden biri olduğu açıktır. Nitekim çalışma sahasını oluşturan Erzurum kent merkezinin sahip olduğu iklim koşulları ve taşıt trafik hacmi ile buzlanma nedeniyle meydana gelmesi muhtemel trafik kazaları bakımından büyük bir potansiyel barındırmaktadır. Çalışma kapsamında Emniyet Genel Müdürlüğünden temin edilen kaza noktaları ile Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilen hava durumu gözlem verileri ele alınmıştır. Ayrıca sahasının coğrafi şartları da çalışmaya dahil edilmiş ve elde edilen bulgular, veriler ışığında zaman ve mekân boyutunda yorumlanmıştır. Zaman boyutunda, kaza saatleri ile saatlik meteoroloji verileri karşılaştırılmış buzlanma ve kaza riski açısından tehlike arz eden değer aralıkları belirlenmeye çalışılmıştır. Kazaların yoğunluk gösterdiği ayları; Ocak (69) ve Aralık (49), saatleri ise 18.00-05.59 (107) oluşturmaktadır. Meteoroloji verilerine göre ise -11,7 ile 0,6 hava sıcaklığı (146), -4,9 ile -0,8 toprak sıcaklığı (134), 0,5 ile 2,1 rüzgâr şiddeti (111), 81 ile 99 nispi nem (106), 6 ile 8,9 bulutluluk (113) değer aralıklarında kazaların yoğunluk gösterdiği tespit edilmiştir. Belirli günlerde ise kazaların aynı gün içerisinde tekrar ettiği gözlemlenmiştir. Bu kazaların meteoroloji değer aralıklarını ise hava sıcaklığı 0 ile -8 (%88), toprak sıcaklığı -1,8 ile -3,4 (%70), rüzgâr şiddeti 1,0 ile 3,1 (%70), nispi nem 89 ile 99 (%88) ve bulutluluk 6 ile 7 (%82) oluşturmaktadır. Mekân boyutunda kaza risk düzeyini belirlemek için kaza noktalarına Kernel yoğunluk analizi ve sıcak nokta analizi uygulanmıştır. Elde edilen bulgulara göre Saray Bosna Caddesi, Atatürk Bulvarı, Merkez Yönetim Caddesi, Abdurrahman Gazi Yolu Caddesi ile Erzurum-Ağrı Transit karayolunun kesiştiği kavşak (Ahmet Yesevi Caddesi), Org. Eşref Bitlis Bulvarı (İbrahim Polat Caddesi ve Atatürk Bulvarı), R.T.E. Fuar Alanı önündeki kavşak, Org. Selahattin Demircioğlu Bulvarı, Stadyum ve ETÜ-YÜTAM Kavşakları kaza riskinin yüksek olduğu lokasyonları oluşturmaktadır. Ayrıca çalışma kapsamında ilgili güzergahlardaki buzlanma nedeniyle meydana gelen kazaların minimuma indirilmesi için uluslararası düzeyde kullanılan sistemlere alternatif olabilecek uygulama önerilerinde bulunulmuştur.	
Anahtar Kelimeler: Karayollarında Buzlanma, Trafik Kazaları, Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS), Coğrafya, Erzurum	

ABSTRACT	
Title of Thesis: Determination of Black Icing Risk Level in Erzurum City Center and Intelligent Transportation Systems	
Author of Thesis: Ertuğrul GÜNEY	
Supervisor: Assoc. Prof. Mehmet Fatih DÖKER	
Accepted Date: 01/07/2024	Number of Pages: xi (pre text) + 88 (main body)
In settlements where winter conditions are severe, with prolonged periods of snow cover and a high frequency of frosty days, the incidence of accidents due to icing is increased. This situation has a deleterious effect on the number of deaths and injuries. It is therefore of great importance to implement solution-oriented anti-icing systems in settlements with winter conditions in our country in order to minimise accidents caused by icing, prevent traffic congestion and ensure passenger safety. A review of the traffic accident statistics in Erzurum, a city with severe and harsh winter conditions, reveals that Erzurum is one of the settlements that require attention. It is evident that Erzurum city center, which constitutes the study area, has a high potential for traffic accidents due to icing, given its climatic conditions and vehicle traffic volume. In the course of this study, accident points were considered in conjunction with data obtained from the General Directorate of Security and weather observation data obtained from the General Directorate of Meteorology. Furthermore, the geographical conditions of the site were incorporated into the study, and the findings were interpreted in light of the data in both temporal and spatial dimensions. In the temporal dimension, accident hours and hourly meteorological data were compared to identify the value ranges that present a risk in terms of icing and accident potential. The months of January (69), December (49), and the hours 18:00-05:59 (107) are those in which the majority of accidents occur. The meteorological data indicates that accidents were concentrated in specific temperature, soil temperature, wind intensity, relative humidity, and cloudiness ranges. These ranges were -11.7 to 0.6 air temperature (146), -4.9 to -0.8 soil temperature (134), 0.5 to 2.1 wind intensity (111), 81 to 99 relative humidity (106), and 6 to 8.9 cloudiness (113). On specific days, it was established that the accidents occurred on the same day. The meteorological variables associated with these accidents include air temperature (0 to -8, 88%), soil temperature (-1.8 to -3.4, 70%), wind intensity (1.0 to 3.1, 70%), relative humidity (89 to 99, 88%), and cloudiness (6 to 7, 82%). Kernel density analysis and hot spot analysis were employed to ascertain the spatial dimension of the accident risk level. The findings indicate that the intersection of Saray Bosna Street, Atatürk Boulevard, Merkez Yönetim Street, Abdurrahman Gazi Yolu Street, and Erzurum-Ağrı Transit Highway (Ahmet Yesevi Street) is a significant location for accidents. The intersection of Eşref Bitlis Boulevard (İbrahim Polat Street and Atatürk Boulevard) in front of the R.T.E. Fairgrounds is also worthy of mention. The intersections of Selahattin Demircioğlu Boulevard, Stadium, and ETÜ-YÜTAM have been identified as locations with a high risk of accidents. Furthermore, within the scope of the study, suggestions have been made for the implementation of alternative systems to those currently in use internationally, with the aim of reducing the number of accidents caused by icing on the relevant routes.	
Keywords: Roadways Icing, Traffic Accidents, Intelligent Transportation Systems (ITS), Geography, Erzurum	

GİRİŞ

Dünya ölçeğinde belirlenmiş olan iklim sınıflandırmasına göre ülkemiz, subtropikal iklim kuşağı dahilinde Akdeniz iklim sektörü içerisinde gösterilmektedir (Atalay, 1992: 115). Ancak mikro ölçeğe inildiğinde böyle bir sınıflandırmanın iç bölgeleri göz ardı ettiği aşıkardır. Dolayısıyla hava kütleleri baz alınarak ele alınan sınıflandırmaya göre ülkemiz, orta enlem iklimleri grubuna dahil edilmekle birlikte, yazın tropikal, kışın ise tropikal ve polar hava kütlelerinin tesiri altındadır. Bu etki, ülkemizin geçiş kuşağı içerisinde yer aldığını gösterir niteliktedir (Atalay, 1992: 115). Farklı hava kütlelerinin etki sahasına giren bu gibi alanlarda hava kütlesinin karakteri ile sahanın jeomorfolojik özelliklerinin iklim hususunda belirleyici olduğu ifade edilebilir. Kuzey sektörlü hava kütleleri, Karadeniz dağlarının kuzeyinde etkili olurken Güney sektörlü hava kütleleri ise Toros dağlarının güneyinde etkili olmaktadır (Atalay, 1992: 119). Nitekim kıyı boyunca uzanan bu sıradağların denize bakan yamaçları daha fazla yağış almaktadır. Ancak içe bakan yamaçlarda ve iç bölgelerde sert ve kurak bir kara iklimi hakimdir (Şahin, 2006: 126). Ülkemizin kuzey ve güney kıyılarına paralel bir konumda bulunan yüksek dağ sıralarının iklim üzerinde sınırlandırıcı bir etkisi söz konusudur. Batı Anadolu'da ise bu durum dağların kıyıya dik konumda uzanmasından dolayı farklılık göstermektedir. Nitekim bu alanda denizden esen batı sektörlü rüzgarlar kıyı içerisine nüfuz edebilmektedir (Güngördü, 2010: 33). Dolayısıyla Kuzey ve Güneyde kıyıya paralel konumda uzanan sıradağlar boyunca dar alanlarda farklı iklim özellikleri görülebilirken Batı Anadolu'daki kıyı ve iç bölgelerde benzer iklim özellikleri görülebilmektedir. Ülkemizin iklim özellikleri üzerinde, hava olaylarının yanı sıra yer şekillerinin de etkisi söz konusudur (Şahin, 2006: 117). Nitekim herhangi bir sahanın morfoloji ve yükselti özelliklerinin iklim üzerindeki farklılaştırıcı etkisine yukarıda değinilmiştir. Bu kapsamda ülkemizin iklim özelliklerini daha iyi açıklayabilmek için Anadolu yarımadasının geçirmiş olduğu jeolojik olguların da burada irdelenmesi gerekli bir husus olarak görülmektedir.

Ülkemiz kuzeyden Avrasya, güneyden ise Arap plakasının etkisi altındadır. Bu iki plakanın tektonik faaliyetler sonucunda birbirine yaklaşma eğilimi, Anadolu Yarımadası'nın tekdüzelikten uzak ve engebeli bir yapıya sahip olmasını sağlamıştır. Bu etki, ülkemizin doğu kısmında sıkışma ve kıvrılarak yükselmeye, batı kısmında ise kırılarak gerilmeye ve yükseltinin korunmasına neden olmuştur. Ülkemizin doğu kısmında bulunan Doğu Anadolu kabuğu, özellikle Miyosenden itibaren Arabistan

plakasının kuzeye doğru ilerlemesi sonucunda sıkışmaya uğramıştır. Bu sıkışma sonucunda kabuk tabakası, parçalanarak kıvrılıp yükselmiştir. Ayrıca bu tektonik faaliyetler şiddetli volkanizmanın yaşanmasına neden olmuş ve volkanik malzemelerin kabuk üzerinde aşamalı şekilde birikmesiyle yüksek dağ sıraları oluşmuştur. Bu morfolojik oluşumlara akarsu aşındırmasının eklenmesiyle de engebeli yüksek bir topoğrafya meydana gelmiştir (Atalay & Mortan, 2017: 473). Nitekim ülkemiz genelinde batıdan doğuya doğru yükselti değerlerinin artma eğiliminde olduğu açıktır. Bu durum, Doğu Anadolu Bölgesi ile diğer bölgeler arasındaki ortalama yükselti farkını ortaya çıkarmıştır. Bu farklılığın iklimik faktörlerde de bazı değişikliklere sebep olduğu açıktır. Yükselti faktörü yağış miktarını arttırmaktadır (Güngördü, 2010: 86). Ancak denizlerden uzak olma durumu ve orografi ise karasallık düzeyini arttırmaktadır (Şahin, 2006: 125-126). Nitekim Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzey ve kuzeydoğu kesiminde baskın olarak karasal iklimin hüküm sürdüğü ifade edilebilir. Bu iklim tipinin hüküm sürdüğü alanlarda kışlar çok soğuk geçer ve don olayları yaygın ve şiddetli şekilde görülür (Şahin, 2006: 175). Don olaylarının yaşanmasında ani sıcaklık değişimleri önemli bir parametredir. Nitekim karasal iklimin en belirgin özelliği, günlük ve mevsimlik sıcaklık genliğinin yüksek olmasıdır. Don olayları da dahil olmak üzere aşırı sıcaklıklar, sert kış koşulları, fırtına, sis, sel, heyelan, çığ ve dalga gibi doğal afetler hidro-meteorolojik afetler kapsamında değerlendirilmektedir (Guha-Sapir vd., 2011: 9). Olumsuz hava koşulları sonucunda meydana gelen bu afetler, bazı mekânsal sorunlara neden olmaktadır. Bu sorunlara; enerji bağlantılarındaki kesilmeler, hava ve su kirliliğinin artması, ulaşımdaki aksamalar gibi sorunlar örnek olarak gösterilebilir. Bu sorunlardan bir diğeri ise yüksek nüfus ve taşıt trafiği hacmine sahip sık dokulu yerleşmelerde meydana gelen trafik kazalarıdır.

Ülkemizde 2022 yılında 1.232.937 kaza gerçekleşmiştir. Bu kazalarda 5.229 kişi hayatını kaybetmiş, 288 696 kişi ise yaralanmıştır. 2022 yılı verisine göre Doğu Anadolu Bölgesinde 37.739 kaza meydana gelmiştir. 2022 yılı verisine göre Erzurum'da ise 1 121 trafik kazası meydana gelmiş, bu kazalardan 807'si yerleşim yeri içerisinde gerçekleşmiştir. Erzurum'da 2017-2022 yılları arasındaki 6 yıllık dönemde 7.896 trafik kazası gerçekleşmiştir. Bu kazaların 4.785'i yerleşme içerisinde, 3.111'i ise yerleşme dışında meydana gelmiştir. Yine bu kazalarda 373 kişi hayatını kaybetmiş 14.778 kişi ise yaralanmıştır (TÜİK, 15 Aralık 2023). Trafik kazası istatistikleri, günümüzde uygulanan

ulaşım sistemlerine ve sıkı denetimlere rağmen bu alana yeterli ilgi ve dikkatin verilmediğini gözler önüne sermektedir. Nitekim gelişmiş ülkelerde trafik kazalarında bir azalma söz konusu iken (Mohammed vd., 2019: 66) ülkemizde bu durum istikrarlı bir seyir göstermemektedir (Özlü vd., 2020: 138). Dolayısıyla trafik kazalarının, önemli ve çözüm üretilmesi gereken sorunlardan biri olduğu açıktır.

Trafik kazalarının minimuma indirilmesi ve trafik güvenliğinin artırılması amacıyla Elektronik Denetleme Sistemi, şerit Kontrol Sistemi, Adaptif Hız Sabitleyici Sistemi ve Sensörler gibi akıllı ulaşım sistemi uygulamaları kullanılmaya devam etmektedir. Nitekim bu uygulamalar, Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS)'nin tanımında olduğu gibi seyahat sürelerinin minimuma indirilmesi, yol güvenliğinin sağlanması, hareketliliğin ve enerji verimliliğinin arttırılması amacıyla altyapı, kullanıcı, merkez ve araç arasında çok yönlü bir iletişim sağlayarak ölçme, izleme, kontrol ve analiz mekanizmalarını içeren bilgi temelli sistemlere (UAB, 12 Ocak 2024), hizmet etmektedir. Bu sistemler belirli bir amaca yönelik olacak şekilde; Entegrasyon Sistemleri, Akıllı Yollar, Akıllı Araçlar, Akıllı şehirler, Ekonomi ve Çevre, Bilişim ve Güvenlik gibi birçok alanda uygulanmaktadır (şekil 1). Çalışma kapsamında buzlanmanın tespiti ve önlenmesi amacıyla aktif olarak kullanılan uygulamalar hem mevcut durumu analiz etmek hem de ileriye dönük araştırmalar yürütebilmek için önemli bir yere sahiptir. Dolayısıyla akıllı yollar alanında kullanılmakta olan algılayıcılar ve akıllı kavşaklar gibi uygulamaların çalışmanın amacına hizmet edebileceği düşünölmektedir. Nitekim çevre ve yol durumu sensörlerinin buzlanmayı önlemek amacıyla kullanıldığı birçok uygulama yönteminin olduğu görölmektedir. Bu uygulamalara; Buzlanma Erken Uyarı Sistemi (BEUS), Otomatik Solüsyon Püskürtme Sistemi, Mobil Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi ve Sabit Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi örnek olarak verilebilir.

Araştırmanın Konusu

Yol zemini üzerinde fark edilmesi güç olan ve genellikle şeffaf görünüme sahip buz oluşumuna gizli buzlanma adı verilmektedir (Shi, X. & Fu, L., 2018: 66). Bu özellikleri ihtiva eden, coğrafı ve meteorolojik parametrelere bağlı olarak yol zemini üzerindeki olası buzlanmaya ise gizli buzlanma riski adı verilmektedir. Ülkemizde bu riskin görölme ihtimali, don olaylarının sık yaşandığı sert karasal iklime sahip bölgelerde artmaktadır. Genel olarak kışları kar yağışlı ve sıcaklık değerlerinin 0 °C'nin altına düştüğu Doğu

Anadolu Bölgesi’nde gizli buzlanma riski söz konusu olabilmekle birlikte ani sıcaklık değişiminin yaşandığı yurdumuzun belirli kesimlerinde yine bu risk ortaya çıkabilmektedir. Karlı ve buzlu yol yüzeylerinde meydana gelen trafik kazaları gizli buzlanma riskinin somut örneklerini teşkil ettiği düşünülmektedir. Bu nedenle bu riski belirlemek amacıyla, çalışmada buzlu ve karlı yol yüzeylerinde meydana gelen trafik kaza noktaları analizlere altlık oluşturmuştur.



Şekil 1: Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları

Kaynak: UAB, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. “Akıllı Ulaşım Sistemleri”. Erişim 12 Ocak 2024.
<https://hgm.uab.gov.tr/akilli-ulasim-sistemleri-aus>

Erzurum kent merkezindeki gizli buzlanma risk düzeyinin ve buzlanma nedeniyle olası kaza riskinin zaman ve mekân boyutunda belirlenmesi amaçlanan çalışma, 3 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde Erzurum kent merkezinin coğrafi özellikleri ele alınmıştır. İkinci bölümde akıllı ulaşım sistemleri ile coğrafi bilgi sistemleri arasındaki ilişki açıklanmış, ulusal ve uluslararası düzeyde kullanılan buzlanma önleyici aktif uygulamalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde ise kazaların zamansal ve mekânsal boyutta analizleri yapılmıştır. Buna ek olarak buzlanma ve kaza risk düzeyi yüksek meteoroloji değer aralıkları ve güzergahlar belirlenmiştir. Sonuç kısmında ise buzlanmanın tespiti ve

kazaların önlenmesi için dünyada aktif olarak kullanılan buzlanma önleyici sistemlere alternatif olabilecek uygulama önerilerinde bulunulmuştur.

Araştırmanın Amacı

Karlı ve buzlu yollarda vuku bulan kaza verilerinden ve diğer coğrafi verilerden (bakı, eğim, iklim gibi) yararlanılarak kent merkezinde buzlanma açısından risk teşkil eden bölgeler tespit edilecektir. İdari yönetimlerin hizmet sunabilmek için gerçekleştirdiği; emek, zaman ve maliyet hususunda tasarruf sağlanacaktır. İlgili çalışmada, araştırma sahasının ve ulaşım arterlerinin eğim, bakı vb. özellikleri ele alınacaktır. Kaza noktaları altlık olarak kullanılarak buzlanma açısından risk teşkil eden güzergahlar mekânsal ve zamansal boyutta belirlenecektir. Bunlara ek olarak kazaların yoğunluk gösterdiği meteoroloji değer aralıkları belirlenecektir. Çalışma kapsamında uluslararası ölçekteki, gizli buzlanma nedeniyle meydana gelen trafik kazalarını önlemeye yönelik geliştirilen aktif yöntemler ve akıllı ulaşım sistemleri uygulamaları incelenecektir. Bu uygulamalar örnek alınarak hem kazaları hem de kazalardan dolayı sorun teşkil eden trafik yoğunluğunu önlemek amacıyla Erzurum kent merkezi için alternatif bir buzlanmayı önleyici sistem/uygulama önerisinde bulunulacaktır.

Araştırmanın Önemi

Çalışma sahamız olan Erzurum şehri, daha önce bahsi geçen, Doğu Anadolu Bölgesi'nin kuzey ve kuzeydoğu kesiminde bulunan sert karasal iklim özelliklerine sahiptir. Dolayısıyla Erzurum şehir merkezinde sık sık don olayları yaşanmakta ve karla örtülü gün sayısı oldukça fazla olmaktadır. Erzurum ve çevresinde yılın 7 ayında kar yağışı ihtimali mevcuttur (Onur, 1961: 100). Ayrıca Erzurum'da en düşük sıcaklığın 0 °C'nin altında olduğu gün sayısı 162,4'tür (Birinci vd., 2022: 49). Erzurum ovasında yıllık ortalama 120 gün (4 ay) kar örtüsü yerde kalmaktadır (Onur, 1961: 104). Bu iklim verileri, Erzurum'un şiddetli soğukların yaşandığı bir coğrafyada olduğunu gösterir niteliktedir. 1929-2022 yılları arasını kapsayan 94 yıllık rasat verilerine göre Erzurum'un yıllık ortalama sıcaklık değeri 5,8 °C'dir. Bu rasat verisine göre Erzurum, Ardahan (3,7 °C) ve Kars (4,8 °C) illerinden sonra Türkiye'deki yıllık ortalama sıcaklığı en düşük illerden biri olma özelliğine sahiptir (MGM, 3 Ekim 2023). Erzurum ve çevresinde gözlemlenen sıcaklık değerlerindeki bu düşüklüklerde birçok faktör etkili olmaktadır. Bununla birlikte

daha önce de bahsedilen karasallık ve yükselti faktörü belirleyiciliği yüksek olan iki önemli parametre olarak dikkat çekmektedir. Nitekim karasallıktan dolayı nemin az olması yükseltiden dolayı da gaz yoğunluğunun az olması gündüz vakitlerinde gelen ışınların gece vakitlerinde yeryüzüne yakın noktalarda tutulamayıp tekrar uzaya dönmesine neden olmaktadır (Birinci vd., 2022: 42-43). Sonuç olarak Erzurum'un iklim özellikleri ve taşıt trafik hacmi yüksek, sık şehir dokusu göz önünde bulundurulduğunda olumsuz hava koşullarının (şiddetli kar yağışı, buzlanma gibi) ulaşımına olan tesiri yadsınamayacak düzeydedir. Bu soruna, çözüm alternatifleri üretebilmek amacıyla araştırma sahası olarak Erzurum kent merkezi seçilmiştir.

Araştırmanın Yöntemi

Erzurum kent merkezindeki gizli buzlanma nedeniyle meydana gelebilecek kaza risk düzeyini belirlemek için karlı ve buzlu yollarda vuku bulan trafik kazaları büyük öneme sahiptir. Daha önce gerçekleşmiş olan kazaların hem gerçekleşmesi muhtemel kazalar hakkında hem de ulaşım arterlerindeki buzlanma risk düzeyi hakkında ön izlenim sağlayacağı düşünülmektedir. Burada önem arz eden diğer bir faktör ise sahanın iklim özellikleridir. Dolayısıyla araştırmanın yürütülebilmesi için iki farklı veri setinden yararlanılmıştır. Çalışma kapsamında Emniyet Genel Müdürlüğü (EGM) Trafik Şube Başkanlığı'ndan 2017-2022 yılları arasında buzlanma nedeniyle gerçekleşen trafik kazaları temin edilmiştir. İlgili veri setinin kaza anındaki yol durumu (karlı veya buzlu), kaza saati ve koordinat bilgisini içermesi detaylı bir çalışmanın yapılmasına olanak sağlamıştır. Ancak EGM tarafından sadece yaralanmalı ve ölümlü trafik kazalarının kayda alınması bir eksiklik olarak göze çarpmaktadır. Daha detaylı ve doğru bilimsel çalışmaların yapılabilmesi için gerçekleşmiş ve ihbar edilmiş tüm kazaların veri arşivine işlenmesi elzemdir.

Hava durumu ile ilgili bilgileri içeren veri seti ise Meteoroloji Genel Müdürlüğünden temin edilmiştir (Tablo 1). Bu veri, kent merkezindeki Bölge istasyonuna ait olup 2017-2022 yılları arasındaki saatlik, günlük ve aylık rasat verilerini kapsamaktadır. Özellikle karlı ve buzlu yollardaki kazaların gerçekleşmesinde önemli etken olarak görülen sıcaklık, bağıl nem, bulutluluk, toprak sıcaklığı ve rüzgâr şiddeti gibi meteorolojik veriler çalışmada kullanılmak üzere tercih edilmiştir (Tablo 2). İlgili verilerin, kaza saatlerindeki değerleri incelenmiş ve bu değerler frekans analizi uygulanmak üzere veri setine dahil

edilmiştir. Kaza saatlerindeki meteorolojik değerleri zamansal boyutta daha iyi tanımlamak için verilere frekans analizi uygulanmıştır. Frekans gruplarının sınıf sayısı, veri setindeki değer sayısının Logaritması alınarak belirlenmiştir. Veri aralığı ise veri setindeki açıklık değerinin sınıf sayısına bölünmesiyle elde edilmiştir.

Kurum	Veri Niteliği
Emniyet Genel Müdürlüğü	Karlı ve Buzlu Yol Yüzeylerinde Meydana Gelen Kazaların Koordinat Bilgileri
Meteoroloji Genel Müdürlüğü	Erzurum Bölge İstasyonundan Alınan Aylık, Günlük ve Saatlik Hava Durumu Verileri
ASF Data Search	DEM Verisi (12,5 m Çözünürlük)

Tablo 1: Çalışmada Kullanılmak Üzere Çeşitli Kurumlardan Temin Edilen Veriler

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Çalışma, nicel yöntemlerden yararlanılarak ilişkisel ve mekânsal boyutta ortaya konulmaya çalışılacaktır. Kış aylarında gerçekleşen kazaların dağılışı ile gizli buzlanma arasındaki ilişki bir bütün olarak ele alınacaktır. Burada eğim, bakı ve analizler sonucunda elde edilen yoğunluk haritaları da irdelenecektir.

Kurum	Öznitelik Bilgisi
Emniyet Genel Müdürlüğü	Kaza Tarihi, Kaza Saati, Oluş Türü, Araç Sayısı, Kaza Türü, Koordinat Bilgisi, Ölü ve Yaralı Sayısı, Yol Yüzeyi Durumu.
Meteoroloji Genel Müdürlüğü	Aylık, Günlük ve Saatlik; Bağıl Nem, Hava Sıcaklığı, 10 cm. Toprak Sıcaklığı, Rüzgâr Şiddeti, Bulutluluk Değerleri.

Tablo 2: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü’nden Temin Edilen Verilerin Öznitelik Bilgileri

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Emniyet Genel Müdürlüğü’nden temin edilen, kış aylarında karlı ve buzlu yol yüzeylerinde gerçekleşmiş olan kazalar lokasyonlarıyla birlikte çalışma alanını kapsayacak şekilde düzenlenmiştir. Elde edilen veriler lokasyon özellikleri ile birlikte ArcMap 10.5 programına aktarılmıştır (Şekil 2). İlgili noktalardaki ulaşım hatlarının eğim değerleri, ASF Data Search web sitesi vasıtasıyla elde edilen 12,5 m. çözünürlüklü DEM (Digital Elevation Model) verisi ile elde edilmiştir (ASF Data Search, 5 Ocak 2021). DEM verisi altlık olarak kullanılarak Erzurum kent merkezinin bakı ve eğim haritaları

hazırlanmıştır. Gündüz saatlerindeki güneş radyasyonu şiddeti hakkında yorum yapabilmek için sahanın bakı durumu incelenmiş ve sonuç olarak gündüz saatlerindeki buzlanma riskinin yüksek olduğu lokasyonlar belirlenmiştir.

Çalışmanın Yöntem Akış Şeması



Şekil 2: Çalışmanın Metod Akış Şeması

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Kaza risk düzeyinin belirlenmesi amacıyla, kaza noktalarına yaralı sayısı ağırlıklandırılarak Kernel yoğunluk analizi uygulanmıştır. Kernel yoğunluk analizi, herhangi bir özelliğin etrafındaki komşu özelliklerin yoğunluğunu hesaplamaktadır (ESRI, 26 Mayıs 2024). Bu analiz, aşağıdaki formül 1 ve 2'deki gibi hesaplanmaktadır (Silverman, 1986: 13; Sheather, 2004: 588).

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - X_i}{h}\right), \quad K(y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{y^2}{2}\right). \quad (1) \quad (2)$$

Çalışma kapsamında, Kernel yoğunluk analizine ek olarak kaza veri kümesine Getis-Ord-Gi* Hot Spot (Sıcak Nokta Analizi) uygulanmıştır. Analiz sonucunda anlamlılık düzeylerine göre risk teşkil eden lokasyonlar belirlenmiştir. Sıcak nokta analizi, veri

kümesindeki her özellik için Getis-Ord-Gi* istatistiğini kullanarak p (olasılık) ve z (standart sapma) değerlerine göre elde edilen noktaların kümelenme özellikleri hakkında sonuçlar üretmektedir. Bir özelliğin anlamlılık düzeyi p ve z değerlerine göre hesaplanmakta ve güven aralıklarına göre sıcak veya soğuk tanımlaması yapılmaktadır. Herhangi bir noktanın anlamlı ve sıcak nokta özelliği gösterebilmesi için değerinin yüksek olması yeterli olmamaktadır. Bu noktanın, ilgili özelliklere sahip olabilmesi için değeri yüksek özelliklerle çevrenmesi gerekmektedir. Bu analiz, aşağıdaki formül 1 ve 2'deki gibi hesaplanmaktadır (Getis & Ord, 1992: 190-191; ESRI, 25 Mayıs 2024).

$$G_i^* = \frac{\sum_{j=1}^n w_{ij}x_j - \bar{X} \sum_{j=1}^n w_{ij}}{S \sqrt{\left[n \sum_{j=1}^n w_{ij}^2 - \left(\sum_{j=1}^n w_{ij} \right)^2 \right] / (n-1)}} \quad (1)$$

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n x_j^2}{n} - (\bar{X})^2} \quad (2)$$

Formüllerdeki; xi: i konumundaki x değişkeninin değerini; xj: j konumundaki x değişkeninin değerini; n: kaza sayısını; wij: ağırlık matrisinin elemanlarını ifade etmektedir (ESRI, 25 Mayıs 2024).

Yukarıda bahsedilen analizler aracılığıyla kazaların zamansal ve mekânsal boyutu iklim verileriyle ilişkilendirilmiş ve araştırma sahasındaki buzlanma nedeniyle kaza riski teşkil eden meteorolojik değer aralıkları ve lokasyonlar belirlenmiştir.

Önceki Çalışmalar

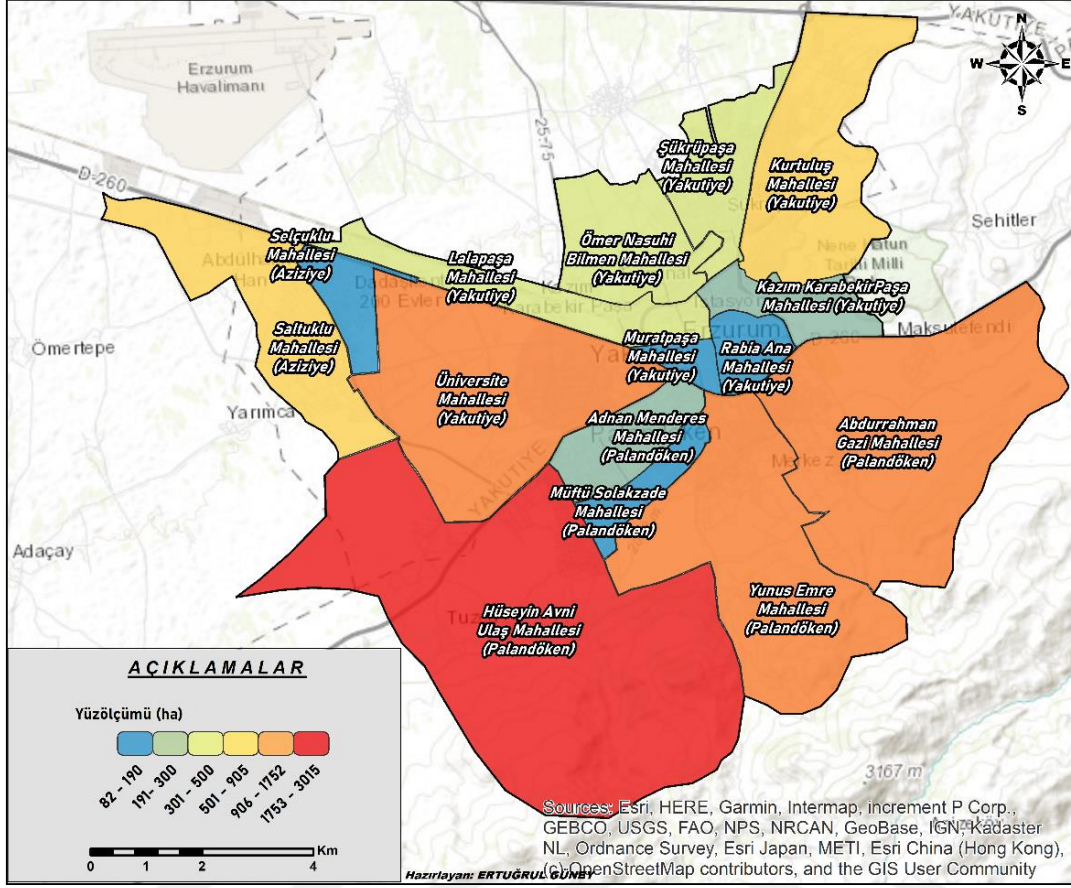
İlgili literatür incelendiğinde ulusal düzeyde gizli buzlanmayı tespit etmeye ve risk düzeyini belirlemeye yönelik mekânsal boyutu ele alan herhangi bir bilimsel çalışmaya rastlanmamıştır. Ancak yol yüzeyi durumunu tespit etmek için akıllı yol durum sensörünün tasarlandığı çalışma literatürde yer almaktadır (Duran & Teke, 2019). Uluslararası düzeyde ise gizli buzlanmayı tespit etmeye yönelik çalışmalar mevcuttur. Bu çalışmalar genellikle buzlanmayı tespit etmek için çeşitli sensör tasarımlarını ve yapay sinir ağları yardımıyla elde edilen mekanizmaları içermektedir (Liu vd., 2017; Gailius & Jačenas, 2007; Tharmakularajah vd., 2020; Mitas vd., 2011; Lee vd., 2022). Video görüntüleri yardımıyla yol durumunu sınıflandırmaya yönelik çalışmalar da bulunmaktadır (Kuehnle & Burghout, 1998). Hava koşullarının yol güvenliği ve trafik kazalarına olan etkisini inceleyen çalışmalar da literatürde yerini almaktadır (Black & Mote, 2015; Andrey vd., 2003; Eisenberg, 2004; Bijleveld & Churchill, 2009;

Nokhandan, 2006). Ayrıca hava koşullarının trafik kazalarına olan etkisini mekânsal boyutta ele alan çalışmalar da mevcuttur (Haque vd., 2022; Khan vd., 2008; Harirforoush vd., 2019). Bu çalışmalardan farklı olarak; Erzurum'un da sert hava koşulları göz önünde bulundurularak karlı ve buzlu yollarda meydana gelen trafik kazaları mekânsal boyutta ele alınmış ve bu nedenle meydana gelebilecek kazaların önlenmesi için bazı öneriler sunulmuştur.

Ulusal düzeyde buzlanma tespitine yönelik akıllı ulaşım sistemlerine entegre edilmiş BEUS (Buzlanma Erken Uyarı Sistemi) uygulaması mevcuttur (AKOM, 16 Mart 2024). Ayrıca trafik kazalarını önlemede AUS'un rolünü ele alan ulusal bir çalışma da mevcuttur (Taç, 2018). Uluslararası düzeyde ise araç içerisinde bulunan radyo ve bilgi paneli aracılığıyla veya yol boyunca değişken mesaj tabelaları yardımıyla sürücüyü uyarmaya yönelik çalışmalar mevcuttur (Mandžuka, 2015).

Araştırma Sahasının Yeri ve Sınırları

Araştırma sahası, 41° 08' 48" - 41° 20' 54" doğu boylamları ile 39° 49' 43" - 39° 57' 29" kuzey enlemleri arasında bulunmaktadır. Erzurum metropol ilçeleri sınırı içerisinde yer alan sahanın, kuzeyinde Yakutiye, güneyinde Palandöken, batısında Aziziye ve doğusunda ise hem Palandöken hem de Yakutiye metropol ilçeleri bulunmaktadır (Harita 1). Araştırma sahasının sınırını, Erzurum metropol ilçe merkezinde yer alan; Saltuklu, Selçuklu, Hüseyin Avni Ulaş, Yunus Emre, Abdurrahman Gazi, Üniversite, Lalapaşa, Muratpaşa, Rabia Ana, Adnan Menderes, Kazım Karabekirpaşa, Kurtuluş, Müftü Solakzade, Ömer Nasuhi Bilmen ve Şükrüpaşa Mahalleleri oluşturmaktadır. Bu yerleşmelerden, Saltuklu ve Selçuklu mahalleleri Aziziye metropol ilçesinde; Hüseyin Avni Ulaş, Yunus Emre, Müftü Solakzade, Abdurrahman Gazi ve Adnan Menderes mahalleleri Palandöken metropol ilçesinde; Üniversite, Kazım Karabekir Paşa, Lalapaşa, Kurtuluş, Muratpaşa, Rabia Ana, Şükrü Paşa ve Ömer Nasuhi Bilmen Mahalleleri ise Yakutiye metropol ilçesinde yer almaktadır.



Harita 2: Araştırma Sahasındaki Mahalle Yerleşmelerinin Yüzölçümü Büyüklüklerine Göre Haritası

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

1. BÖLÜM: ARAŞTIRMA SAHASININ COĞRAFİ ÖZELLİKLERİ

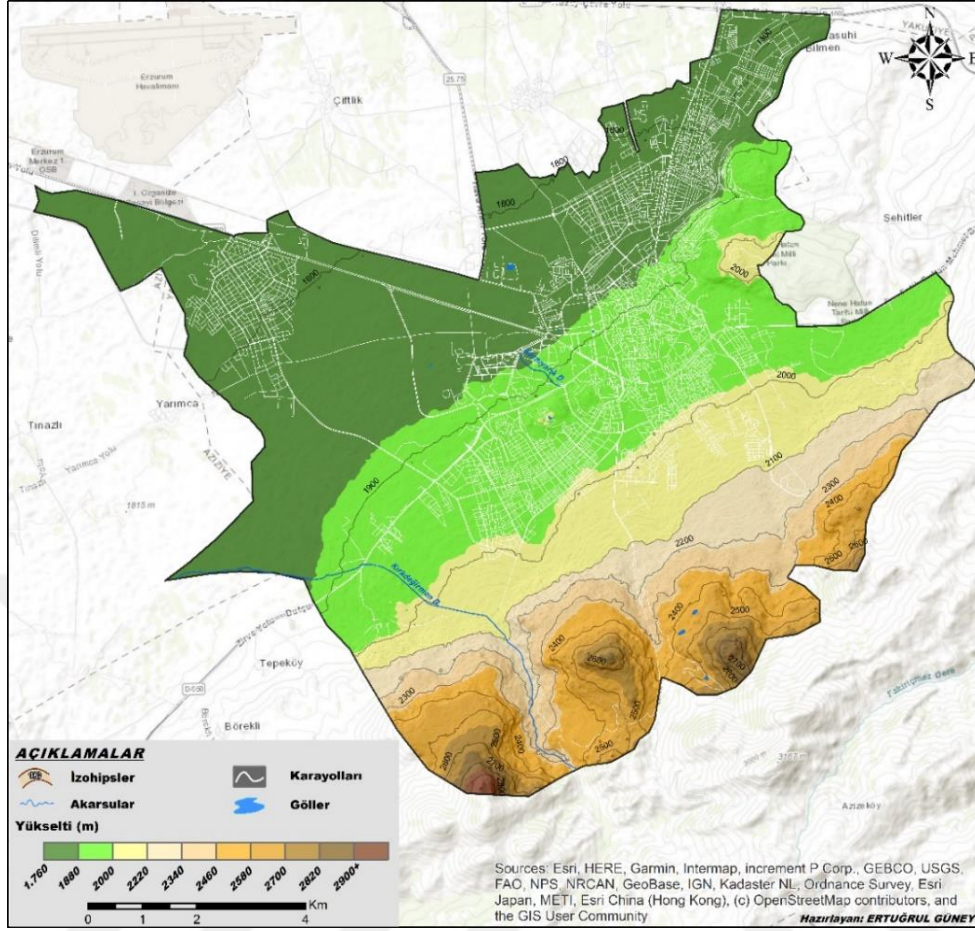
1.1. Fiziki Coğrafya Özellikleri

Erzurum kent merkezi; yükseltinin ve dalgalı düzlüklerin fazla olduğu, bu coğrafi özellikler ve hava olaylarıyla bağlantılı olarak da sert kış koşullarının yaşandığı bir coğrafyada yer almaktadır. Erzurum kent merkezinin coğrafi özelliklerinin çalışma kapsamında ele alınması, saha hakkında bilgi edinilmesi açısından önem arz etmektedir. Araştırma sahasının fiziki coğrafya özellikleri, jeomorfoloji ve iklim özellikleri alt başlıkları kapsamında incelenmiştir. Jeomorfoloji özellikleri olarak sahanın; yükseklik, eğim, bakı, profil analizleri yapılmış ve jeomorfolojik birim özelliklerine değinilmiştir. İklim özellikleri olarak ise sahanın; basınç ve rüzgarlar, sıcaklık, nem ve yağış özellikleri incelenmiştir. Çalışma sahasının mevzu bahis özellikleri aşağıda detaylı şekilde açıklanmaya çalışılmıştır.

1.1.1. Araştırma Sahasının Jeomorfoloji Özellikleri

1.1.1.1. Yükseklik Analizi

Araştırma sahasında yükselti kademeli olarak kuzeyden güneye doğru artış göstermektedir. Sahanın kuzey kesiminde düz ve yükseltisi az alanlar bulunurken güneyinde ise dağlık ve engebeli alanlar yer almaktadır (Harita 3). Bu alanları kuzeyde birikinti yelpazesinin ova ile kontak sağladığı birimler oluştururken güneyde ise Palandöken Dağları'nın etekleri ve kuzey kesimleri oluşturmaktadır. Sahanın doğusunda ve merkezi kısmında ise yüksekliği 2000 metreyi bulan yer yer tepelik alanlara rastlanmaktadır. Sahanın en alçak noktası 1760 m., en yüksek noktası ise 2900 m. irtifaya sahiptir. Kent merkezindeki yerleşmeler ise 1760-2060 m. arasında yayılım göstermektedir (Orhan & Güney, 2023: 169). Araştırma sahasındaki karayollarının yükselti kademelerine göre dağılışı incelendiğinde ise karayolu ağının büyük bir bölümünün 1800 ila 2000 metre aralığında olduğu görülmektedir.



Harita 3: Araştırma Sahasının Yükselti Kademeleri

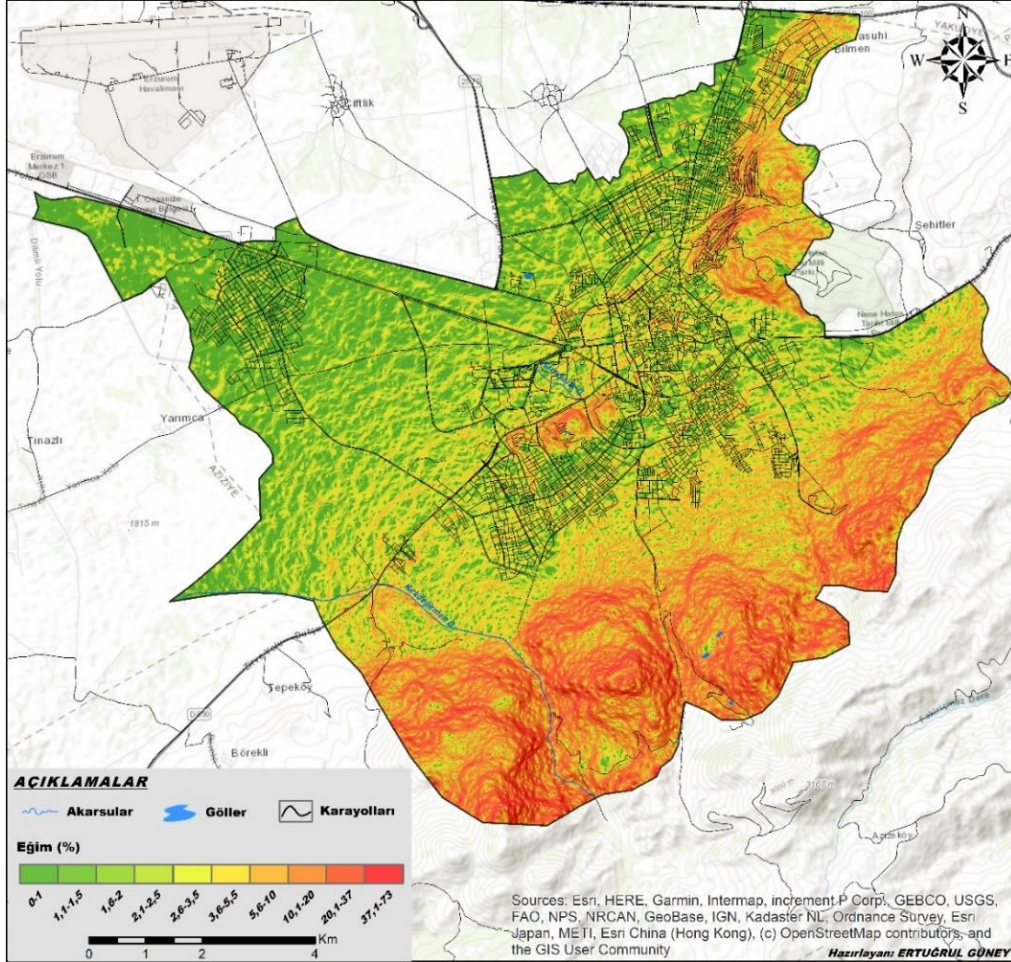
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

1.1.1.2. Eğim Analizi

Çalışma sahasının geneli baz alındığında kuzeyden güneye doğru eğim yüzdesinin arttığı görülmektedir. Nitekim çalışma sahasının kuzey kesimini, eğimi %0-5 arasında değişen alüvyal dolgular ve ova tabanı oluşturmaktadır. Güney kesimde ise eğimi %20-73 arasında değişen dağlık ve engebeli araziler yaygındır (Harita 4). Buna ek olarak Hilalkent semtinin yer aldığı, yerleşmenin kuzeydoğu kesiminde ve yerleşme merkezinde yer yer eğim yüzdesi yüksek alanlara rastlanmaktadır. Bunun aksine Hilalkent semtinin batı kısmı ve Saltuklu-Selçuklu Mahalleleri yakın çevresinde eğim yüzdesinin azaldığı ve hatta 0'a yaklaştığı görülmektedir.

Eğim aralıklarının çalışma sahasındaki alansal değerlerine bakıldığında ise; eğim yüzdesi 2,1 ila 5,0 arasında değişen alanların (3597 ha) çoğunlukta olduğu görülmektedir (%30,8). Yine 1,1-2,0 (2190 ha) ve 5,1-10,0 (1831 ha) eğim aralıkları kayda değer

büyükölükte alana sahiptir (Tablo 3). Yapılan sınıflandırmaya göre 2,1-5,0 eğim aralığından sonra eğim yüzdesi arttıkça eğim basamağının sahada işgal ettiğı alan düşmektedir (Grafik 1). Nitekim bahsi geçen eğim aralığından sonra gelen eğim basamakları sırasıyla; 5,1-10,0 (1831 ha), 10,1-20,0 (1484 ha), 20,1-40,0 (973 ha) ve 40,0+ (106 ha) alansal değerklerine sahiptir.



Harita 4: Araştırma Sahasının Eğim Haritası

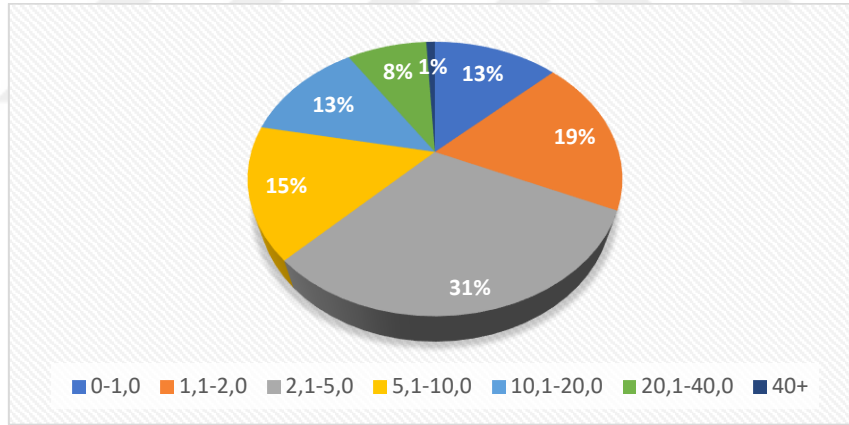
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Eğim Sınıfı	Eğim (%)	Alan (ha)	Oran (%)
Tam Düzlük	0-1,0	1520,9	13,0
Düzlük	1,1-2,0	2190,4	18,7
Dalgalı Düzlük	2,1-5,0	3597,0	30,8
Az Eğimli Yamaç	5,1-10,0	1831,3	15,6
Eğimli Yamaç	10,1-20,0	1483,7	12,7
Dik Yamaç	20,0-40,0	972,9	8,3
Çok Dik Yamaç	40,0+	105,6	0,9
Toplam	-	11701,8	100,0

Tablo 3: Araştırma Sahasındaki Eğim Basamaklarının Alansal Değerleri

Kaynak: Eğim Sınıfları “Erol, 1993”den yararlanılarak oluşturulmuştur.”

Karayollarındaki eğim yüzdeleri, buzlanma nedeniyle meydana gelebilecek olan kazalarda potansiyel bir etken olarak görülebilmektedir. Nitekim taşıtların, eğim yüzdesi yüksek olan buzlu yol yüzeylerinde virajı alma ihtimali daha düşüktür. Ayrıca bu gibi yollarda lastik ile yol arasındaki sürtünme direncinin azalması kaza ihtimalini de arttırmaktadır.



Grafik 1: Araştırma Sahasındaki Eğim Gruplarının Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Araştırma sahasının merkezi kesimindeki Kiremitlik Tepe ve yakın çevresinde eğim yüzdesi yüksek yol ağlarının olduğu görülmektedir. Ayrıca Hilalkent Semtinin bulunduğu kuzeydoğu kesimde (Polorgont Tepesinin kuzeybatı yamaçları) ise yoğun bir şekilde eğim yüzdesi yüksek olan yol ağları mevcuttur. Mevzubahis eğim yüzdesi yüksek olan karayollarına araştırma sahasının güney kesimindeki yollar da eklenebilir. Nitekim Palandöken Dağları ile merkezi kısım arasındaki yükselti farkı bu yolların eğim derecelerini arttırdığı açıktır. Dolayısıyla dağlık sahaya doğru çıkan yollarda eğim

yüzdelерinin arttığı görölmektedir. Bu yollara Abdurrahman Gazi Türbesi ile merkez arasındaki bağlantıyı sağlayan Türbe Yolu Caddesi ve Palandöken Kayak Merkezi ile kent merkezi arasındaki bağlantıyı sağlayan İbrahim Polat Caddesi (Palandöken Yolu) örnek olarak verilebilir.

1.1.1.3. Bakı Analizi

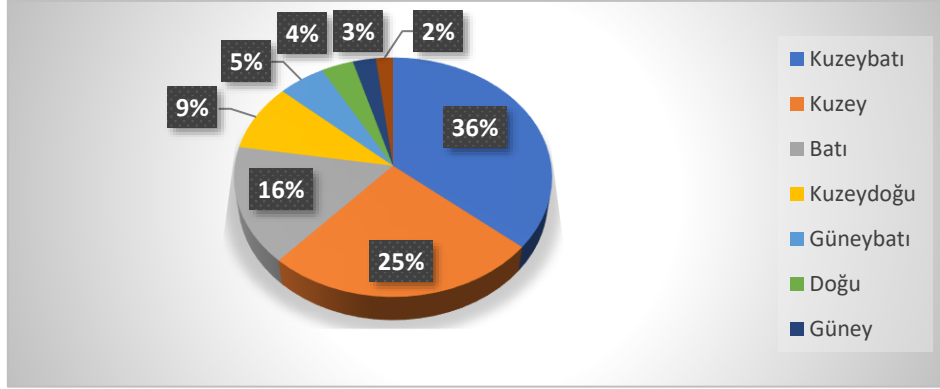
Çalışma sahasının bakı durumu, güneş radyasyonunun yeryüzündeki tesirini tespit etmek için gerek duyulan bir analiz yöntemidir. Çalışma sahasının büyük bir bölümü (%61,7) kuzey-kuzeybatı yönlüdür (Grafik 2). Ülkemizin mutlak konumu ve araştırma sahasının bakı durumu dolayısıyla Erzurum kent merkezinin güneş radyasyonundan etkili şekilde yararlanamadığı görölmektedir. Nitekim sahanın sadece %2,6'sı güney yönlü olduğu görölmektedir (Tablo 4). Bu alanları da tepelik-dağlık arazilerin arda kalan kısımları ve eğim düzeyi 0'a yakın ova arazileri oluşturmaktadır. Örnek olarak; Palandöken Dağları, Topdağı, Polorgont Tepesi, Kiremitlik Tepe ve çevresinin art kısmı (güney yamaçları); Saltuklu ve Kurtuluş Mahallelerinin kuzey kesimleri gösterilebilir.

Yönler	Alan (ha)	Oran (%)
Kuzeybatı	4227,6	36,1
Kuzey	2991,0	25,6
Batı	1857,3	15,9
Kuzeydoğu	1063,8	9,1
Güneybatı	617,1	5,3
Doğu	420,7	3,6
Güney	301,6	2,6
Toplam	11701,5	100,0

Tablo 4: Araştırma Sahasındaki Bakı Yönlerinin Alansal Değerleri

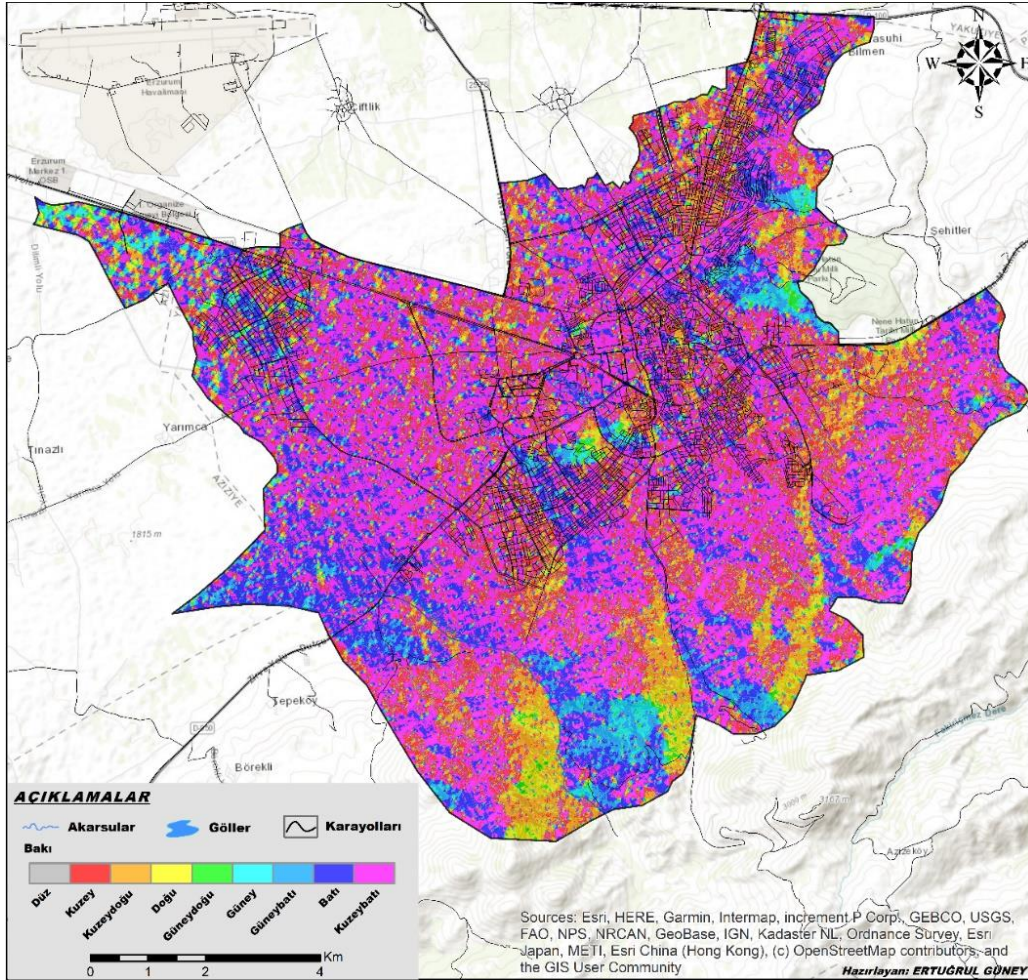
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Kent yerleşmesinin güneyindeki dağlık sahayı drene eden akarsuların (Kırkdeğirmen ve Şehitler Deresi) boyuna profilleri genellikle kuzey-güney doğrultuludur. Dolayısıyla bu akarsular tarafından derince parçаланan sahada vadi boyunca doğu ve batı yönlü yamaçlar ortaya çıkmıştır (Harita 5). Bu durum hidrografyanın, bakı durumu üzerindeki etkisini gözler önüne sermektedir.



Grafik 2: Araştırma Sahasındaki Bakı Yönlerinin Dağılımı

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

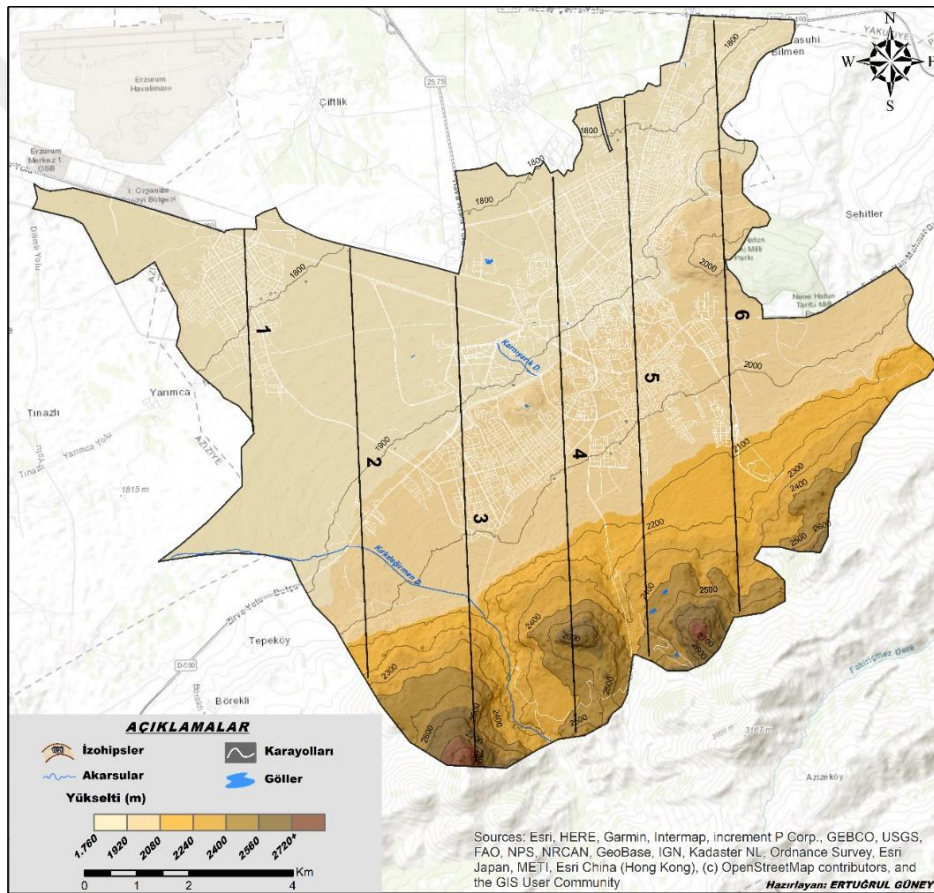


Harita 5: Araştırma Sahasının Bakı Haritası

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

1.1.1.4. Profil Analizi

Araştırma sahasının yükselti profilini belirlemek amacıyla yaklaşık 2 km aralıklarla kuzey-güney doğrultulu 6 profil çizgisi atılmıştır. 1 numaralı profil çizgisi, Selçuklu ve Saltuklu Mahallesi yerleşim alanlarının bulunduğu Dadaşkent Semtinin yükseklik profilini tanımlamaktadır. Yaklaşık 3,5 km uzunluğundaki yükseklik profili, 1780 m ile 1830 m arasındaki morfolojiyi temsil etmektedir (Şekil 3). Diğer kesitlere nazaran mesafenin kısa ve profil başlangıç-bitiş noktaları arasındaki rölyef farkının az olması (50 m) Dadaşkent semti yerleşmesinin ve ulaşım ağının engebesi az ve eğimi düşük bir topoğrafya üzerine kurulduğunu göstermektedir.



Harita 6: Araştırma Sahasının Topoğrafya Haritası

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

2 numaralı profil çizgisi, Dadaşkent semtinin doğusundan başlayıp Eğerlidağı Tepesinin kuzeybatı yamaçlarında son bulmaktadır. Yaklaşık 8 km uzunluğundaki bu kesit, güneyde Tuzcu Mahallesi yerleşmesi hariç çoğunlukla şehir dokusu ve ulaşım ağından yoksun morfolojiyi takip etmektedir. İlgili yükseklik profilinde, kabaca kuzeyden güneye doğru

hafif bir eğimin ve neredeyse engebesiz bir topoğrafyanın hâkim olduğu görülmektedir. Ancak kesitin, güney kesiminde 6 km dolaylarında Kırkdeğirmen Deresinden itibaren engebeli ve eğimi yüksek bir topoğrafyaya geçiş yaptığı söylenebilir. Nitekim kesitin, 0-6 km arasında 150 m yükselti farkı söz konusu iken 6-8 km arasındaki 2 km'lik kısımda 300 m yükselti farkı söz konusudur.

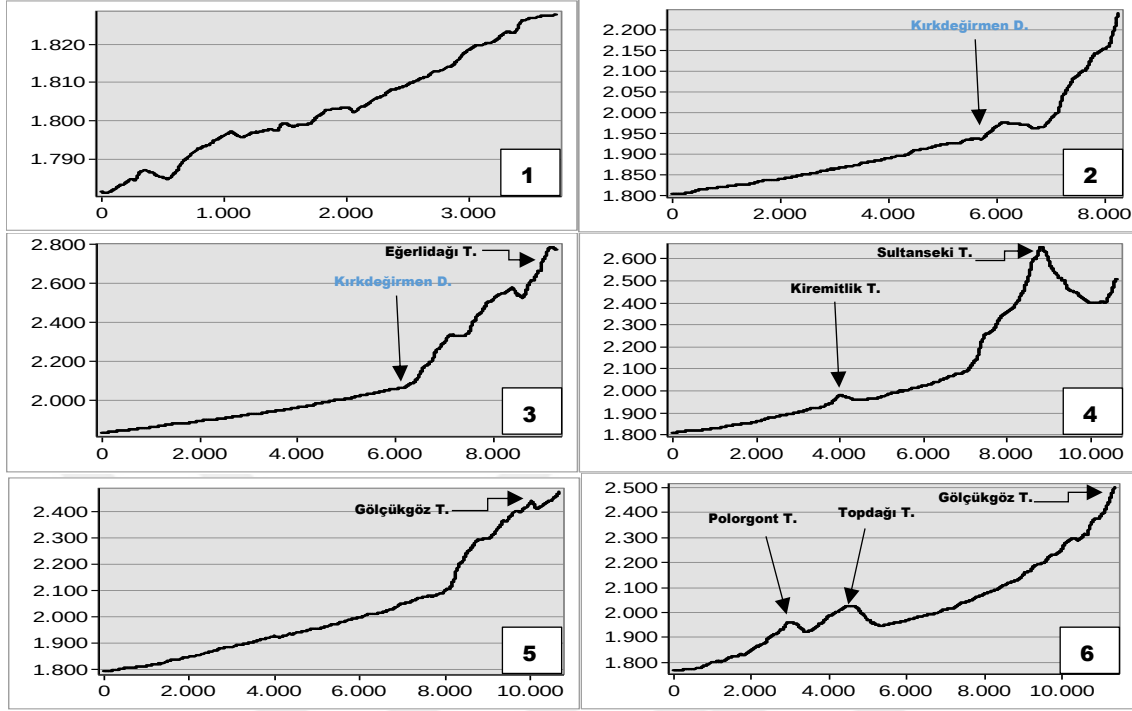
3 numaralı profil çizgisi, Lalapaşa Mahallesi-Olimpiyat Parkı yakınlarından başlayıp Atatürk Üniversitesi Kampüsü (Üniversite Mahallesi) ve Hüseyin Avni Ulaş Mahallesi katederek Eğirlidağı Tepesi ile son bulmaktadır. Yaklaşık 10 km uzunluğundaki bu kesit, 6. km'ye kadar hafif eğimli ve engebesiz bir araziye takip etmekte iken Kırkdeğirmen Deresi ve Eğirli dağı Tepesi arasında engebeli ve çok eğimli bir araziye katetmektedir.

4 numaralı profil çizgisi, Ömer Nasuhi Bilmen Mahallesi'nin kuzey ucundan başlayarak sırasıyla; Lalapaşa, Muratpaşa, Üniversite, Adnan Menderes, Müftü Solakzade ve Yunus Emre Mahalle yerleşmelerini katederek güneyde Sultanseki Tepesi ardında son bulmaktadır. İlgili kesitin, 0-4 km'lik kısmında hafif eğimli ve az engebeli bir topoğrafya hâkim iken 4. km dolaylarında Kiremitlik Tepe (Müftü Solakzade Mh.) morfolojinin tekdüzeliğini bozmakta ve yine 4-7,5 km arasında engebesiz topoğrafya devam etmektedir. Güneyde kesitin, 7,5 km dolaylarında ise Sultanseki Tepesinin kuzey yamaçları ile eğim artmakta ve kesit, yaklaşık 2600 m yüksekliğindeki mevzubahis tepenin ardında son bulmaktadır.

5 numaralı profil çizgisi, Şükrüpaşa Mahallesi'nin kuzey sınırından başlayıp sırasıyla; Kurtuluş Mahallesi, Kazım Karabekirpaşa Mahallesi, Rabia Ana Mahallesi ve Yunus Emre Mahallesi takip ederek güneyde Gölçükgöz Tepesi batı yamaçlarında son bulmaktadır. Takriben 11 km uzunluğundaki bu kesitin, 0-8 km arasında eğimli ve engebesiz bir topoğrafya hâkim iken (ilgili kısım sık şehir dokusuna ve yoğun ulaşım ağına sahiptir) 8. km'den sonra Gölçükgöz Tepesi'nin batı yamaçları ile eğim ve engebe artmaktadır.

Son olarak 6 numaralı profil çizgisi ise genel hatlarıyla diğer kesitlere nispeten eğimi yüksek ve daha engebeli bir topoğrafyayı temsil etmektedir. Nitekim Kurtuluş Mahallesi (Hilalkent Semtî)'nin kuzey sınırından başlayıp Polorgont ve Topdağı Tepelerini takip ederek yaklaşık 12 km mesafe katetmekte ve Gölçükgöz Tepesi doğu yamaçlarında son bulmaktadır. İlgili kesitte, 0-2 km arasındaki kısım Hilalkent Semtî yerleşme dokusunun ve ulaşım ağının yükseklik profilini tanımlamakta iken 5 ila 9 km arasındaki kısım ise

sırasıyla; Kazım Karabekirpaşa ve Abdurrahman Gazi Mahallesi'nin yükseklik profiline karşılık gelmektedir.



Şekil 3: Araştırma Sahasının Yükseklik Profili Kesitleri

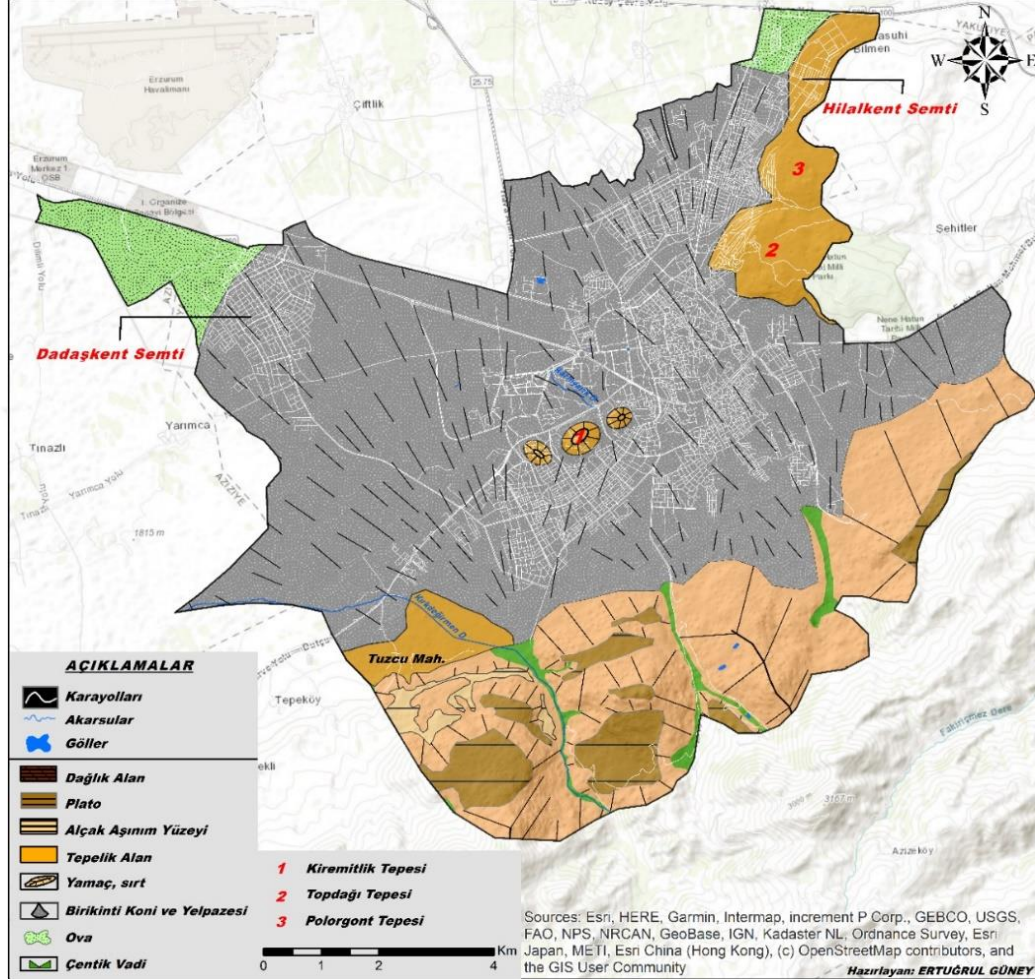
Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

1, 4 ve 5 numaralı profil çizgileri, sık şehir dokusunun ve yoğun ulaşım ağının bulunduğu topoğrafyayı takip etmektedir (Harita 6). Dolayısıyla bu kesitler, çalışma kapsamında önemli bir faktör olan kent merkezinin ulaşım ağı profilini genel itibariyle gözler önüne sermektedir. Ayrıca burada Hilalkent Semt, Kazım Karabekirpaşa Mahallesi ve Abdurrahman Gazi Mahallesi yerleşmeleri özelinde 6 numaralı yükseklik profili çizgisine ayrı bir parantez açılmalıdır. Kesitin 0-2 km (Hilalkent Semt) ve 5-9 km (Kazım Karabekirpaşa ve Abdurrahman Gazi Mahalleleri) dolaylarında morfolojinin yüksek eğim değerlerini takip ettiği görülmektedir.

1.1.1.5. Jeomorfolojik Birimler

Araştırma sahasının güney kesimini yamaçlar, vadiler, alçak ve yüksek aşınım yüzeyleri oluşturmaktadır. Bu kısımdan kuzeye doğru gidildikçe birikinti koni ve yelpazeleri, tepelik alanlar ve nihayetinde ova alanına geçilmektedir. Çalışma alanının büyük bir bölümünü birikinti koni ve yelpazesi (7295 ha) oluşturmaktadır. Kent yerleşme alanı da çoğunlukla bu birim üzerinde yayılış göstermektedir. Flüvyal faaliyetler sonucunda

oluşumunu tamamlamış olan yamaçlar (2294 ha) ise çalışma sahasındaki bir diğer birimi oluşturmaktadır. Eğim düzeyinin yüksek olmasından ötürü bu birim üzerinde herhangi bir yerleşme dokusu söz konusu değildir.



Harita 7: Araştırma Sahasının Jeomorfoloji Haritası

Kaynak: Atalay, 1978'den yararlanılarak hazırlanmıştır.

Araştırma sahasının kuzeydoğu kesimindeki Topdağı, Polorgont Tepesi ve yerleşme merkezindeki Kiremitlik Tepe, çalışma sahasındaki tepelik alanları oluşturmaktadır. Ayrıca yerleşim merkezinin güneybatısındaki Tuzcu Mahallesi yakınlarında da tepelik alanlara rastlanmaktadır (toplam 867 ha). Yükseltinin düştüğü, yerleşmenin kuzeybatı ve kuzeydoğu kısmında ise ova alanları (480 ha) yer almaktadır. Dadaşkent ve Hilalkent semtlerinin bir kısmı bu birim üzerinde yayılış göstermektedir (Harita 7). Araştırma sahasındaki diğer jeomorfolojik birimleri ise sırasıyla; yüksek aşınım yüzeyi (519 ha), çentik vadi (143 ha) ve alçak aşınım yüzeyi (102 ha) oluşturmaktadır (Tablo 5). Yine yamaçlar gibi bu jeomorfolojik birimlerde de yerleşme söz konusu değildir.

Jeomorfolojik Birimler	Alan (ha)	Oran (%)
Birikinti Koni ve Yelpazesi	7295,2	62,4
Yamaç	2294,1	19,6
Tepelik Alan	867,3	7,4
Ova	480,7	4,1
Yüksek Aşınım Yüzeyi	519,0	4,4
Çentik Vadi	143,1	1,2
Alçak Aşınım Yüzeyi	102,2	0,9
Toplam	11701,5	100,0

Tablo 5: Araştırma Sahasındaki Jeomorfolojik Birimlerin Alansal Değerleri

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

1.1.2. İklim Özellikleri

Yaşamın devamı ve sürdürülebilirliği için hayati öneme sahip olan güneş ışınları, dünyamızdaki sıcaklık ve basınç kuşaklarının ve hava olaylarının dağılışında önemli bir etkiye sahiptir. Bu nedenle enlem faktörü, güneş ışınlarının geliş açısı ve güneşlenme süresiyle bağlantılı olduğu için herhangi bir sahanın iklim özelliklerini yansıtmada da önemli bir yere sahiptir.

1.1.2.1. Sıcaklık

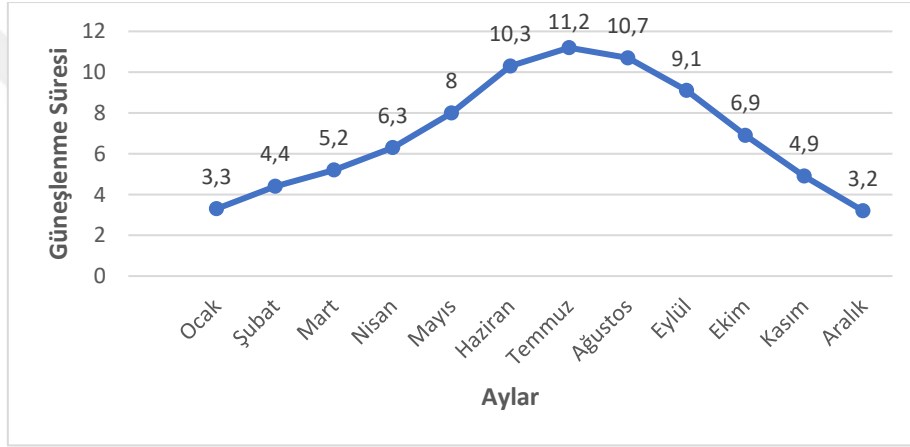
Erzurum'un çeşitli hava kütlelerinin tesiri altına girdiği bilinmekle birlikte sıcaklık üzerinde genellikle yükselti, basınç merkezleri ve bakı durumu etkili olmaktadır (Arınç, 2013: 27). Erzurum'un jeomorfolojik özellikleriyle birlikte bu hava kütlelerinin etkinliği daha da farklılaşmakta ve sahanın iklim özellikleri yerelleşmektedir. Kabaca 39°40-40°20' kuzey enlemleri arasında yer alan Erzurum'un radyasyon özelliklerini; bakı, vejetasyon, yamaç eğimleri, litoloji ve güneşlenme süresi belirlemektedir.

Aylar	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık Ort.
Güneşlenme Süresi (Saat/dk)	3,3	4,4	5,2	6,3	8,0	10,3	11,2	10,7	9,1	6,9	4,9	3,2	7,0

Tablo 6: Erzurum'un Aylara Göre Güneşlenme Süresi

Kaynak: Çevre ve Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM, 3 Ekim 2023).

Erzurum'da güneşlenme süresi ve güneş ışınlarının geliş açısı aylara göre önemli farklılıklar göstermektedir. Nitekim 93 yıllık (1929-2021) rasat verilerine göre Aralık ayı (3,2 saat) en az güneşlenme süresine sahipken bu değer en fazla Temmuz ayında (11,2 saat) görülmektedir (Tablo 6, Grafik 3). Yine aynı rasat verilerine göre ise Erzurum'un ortalama güneşlenme süresi 7,0 saattir (MGM, 3 Ekim 2023). Bu tespitler Atalay'ın taysin ettiği güneşlenme süreleriyle hemen hemen örtüşmektedir. Nitekim Atalay'ın tespitlerine göre en fazla güneşlenme süresi Temmuz ayında (11,7 saat) gerçekleşirken bu değeri Ağustos (11,2 saat) ve Haziran (10,6 saat) ayları takip etmektedir (Atalay, 1970: 16). Güneşlenme süresinin en az olduğu ayları ise kış mevsimindeki Aralık, Ocak ve Şubat ayları oluşturmaktadır.



Grafik 3: Erzurum'un Aylara Göre Güneşlenme Süresi Grafiği

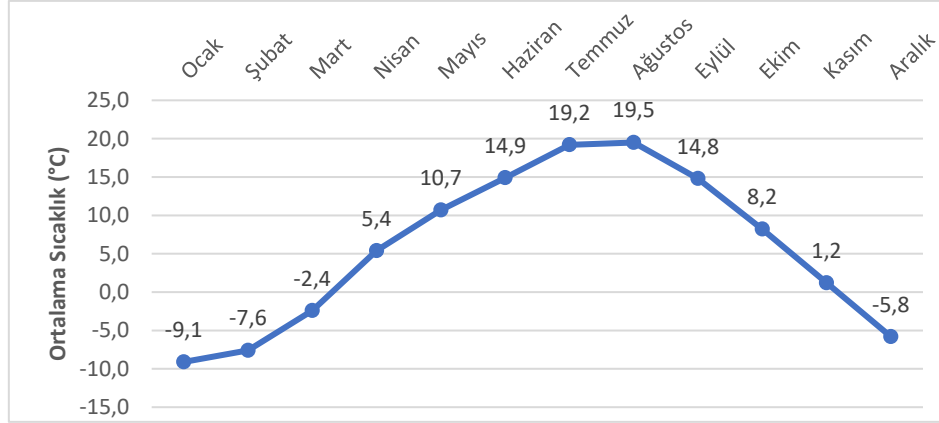
Kaynak: Çevre ve Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM, 3 Ekim 2023).

Bilindiği üzere, herhangi bir sahanın aldığı radyasyon enerjisi sadece güneşlenme süresine bağlı değildir. Bu enerji aynı zamanda litolojik özelliklere (kayaç rengi vb.), zeminin özelliğine ve güneş ışınlarının geliş açısına da bağlıdır. Nitekim Erzurum için güneş ışınlarının geliş açısı incelendiğinde 21 Haziran'da bu değeri yaklaşık $73^{\circ}31'37''$ iken 21 Aralık'ta ise $26^{\circ}37'37''$ ile minimum değeri düşmektedir. Aradaki fark ise yaklaşık olarak $46^{\circ}54'$ kadardır. Bu durum karasallığın belirtisi olmakla birlikte yaz ve kış aylarındaki güneş radyasyonunun ne denli artıp azalacağını gösterir niteliktedir (Birinci vd., 2022: 38). Burada belirtilmesi gereken bir diğer husus ise zeminin karla kaplı olduğu günlerde zeminden yansıyan radyasyonun artacak olmasıdır. Dolayısıyla bu durum da havanın soğuma şiddetini artıracaktır (Atalay, 1992: 126). Nitekim kış mevsiminde Albedo değeri lerinin yeni kar yağışı sonrasında %70-90'a ulaştığı ifade

edilmektedir (Erol, 2014: 64). Erzurum'da kar yağışının fazla ve karın yerde kalma süresinin uzun olduğu göz önünde bulundurulursa soğuma şiddeti faktörünün etkisini ne kadar fazla göstereceği açıktır.

Erzurum ovasının kuzey ve güneyinde doğu-batı uzantılı nispi olarak 1000 m. yüksekliğe sahip dağlar yayılım göstermektedir. Dolayısıyla bakı faktörü, sahanın arızalı oluşu nedeniyle her noktada farklı özelliğe sahiptir. Nitekim kış aylarında Palandöken Dağlarının kuzey yamaçları neredeyse güneş ışınlarından yoksundur. Bunun aksine Erzurum ovasının kuzeyinde yer alan Dumlu dağlarının güney yamaçlarına güneş ışınları 40°'lik bir açı ile gelmektedir. Ovada ise bu değer 26°'ye kadar düşmektedir. Yaz aylarında ise güneş ışınları ovaya 60-70°'lik bir açı ile gelmekte iken Dumlu dağlarının güney yamaçlarına ise dike yakın gelmektedir (Birinci vd., 2022: 40-41). Erzurum kent merkezinin kuzeyindeki Erzurum ovasında bakı faktörü etkisini neredeyse yitirmektedir. Ancak ovanın etrafındaki dağlık sahada bakı faktörü etkisi önemli düzeyde belirgin hale gelmektedir.

Erzurum-Kars Platolarının yüksek kesimlerinde yıllık ortalama sıcaklık değerleri 4 °C'nin altına düşmektedir (Atalay, 1992: 125). Ancak Erzurum'da bu değer 5,9 °C olarak tespit edilmiştir. Nitekim bu değer düşük olması, kışın çok sert ve uzun yaşanmasının bir sonucu olarak görülebilir. Sıcaklık değerlerinin en düşük seviyede olduğu Ocak ayında ortalama -9,1 °C bir sıcaklık değeri tayin edilmiştir (Grafik 4). Erzurum'da en soğuk ay olan Ocak ayına ek olarak Aralık, Şubat ve Mart aylarında da sıcaklık ortalamaları sıfır derecenin altındadır (Arınç, 2013: 27-28). Erzurum'da en sıcak ay olan Ağustos ayında ortalama sıcaklık 19,5 °C, Temmuz ayında ise 19,2 °C olarak ölçülmüştür. Temmuz ve Ağustos aylarında ortalama sıcaklık değerinin bu kadar düşük ölçülmesinin sebebi, günlük sıcaklık değişimleri arasındaki farkın fazla olmasıdır. Nitekim gündüz saatlerinde sıcaklık 25 ila 28 °C dolaylarında iken gece saatlerinde bu değer 10 °C'ye hatta 5 °C'ye kadar düşmektedir (Arınç, 2013: 29). Nitekim bu durum da sıcaklık ortalamasını negatif yönde etkilemektedir. Ayrıca bu denli günlük sıcaklık farklarının oluşmasını karasallıkla ilişkilendirmek mümkündür.



Grafik 4: Erzurum'un Aylara Göre Ortalama Sıcaklık Grafiği

Kaynak: Çevre ve Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM, 3 Ekim 2023).

Sıcaklığın sıfırın altına düştüğü günlerin sayısı Erzurum'da yaklaşık olarak 150 gündür. Donlu günler olarak da tanımlanan bu günler, yaklaşık Eylül ayında başlayıp bazı yıllar Haziran ayına kadar devam eder. Uzun yıllar ortalamaları baz alındığında Türkiye'nin hemen hemen her yerinde sıcaklıklar sıfır derecenin altına düşmektedir. Ancak burada dikkat edilmesi gereken husus Erzurum gibi karasal iklime sahip illerimizde bu değerlerin çok daha fazla tekrar etmesi ve süreklilik göstermesidir (Atalay, 1992: 130). Şu ana kadarki yapılmış olan gözlemler incelendiğinde Erzurum'da sadece Temmuz ve Ağustos ayları hariç diğer ayların tamamında sıcaklık değerlerinin sıfırın altına düştüğü tespit edilmiştir (Arınç, 2013: 29). Bu durum da Erzurum'da kış şartlarının ne kadar zor ve çetin geçtiğini gözler önüne sermektedir. Bu tespitler tek bir meteoroloji istasyonundan alınan veriler ışığında yorumlanmıştır. Dolayısıyla farklı morfolojik yapıya sahip alanlarda yukarıda bahsedilenden farklı sühnet şartları görülebilir. Nitekim araştırma sahasının güneyindeki dağlık sahada, özellikle vadi olukları boyunca sıcaklık terselmesinden ötürü çok daha farklı sıcaklık şartları görülebilmektedir.

1.1.2.2. Basınç ve Rüzgarlar

Orta kuşakta bulunan diğer sahalar gibi Erzurum da mevsimlere göre farklı hava kütleleri etkisi altına girmektedir (Birinci vd., 2022: 38). Nitekim kış aylarında kuzey ve doğu sektörlü Sibiryas antisiklonundan gelen hava kütleleri sahayı etkisi altına almaktadır (Güngördü, 2010: 41-42). Bu hava kütlesi serinletici etki yaratmakta ve etki bölgesinde şiddetli soğukların yaşanmasına sebebiyet vermektedir. Nitekim Ekim ayı ortalarından

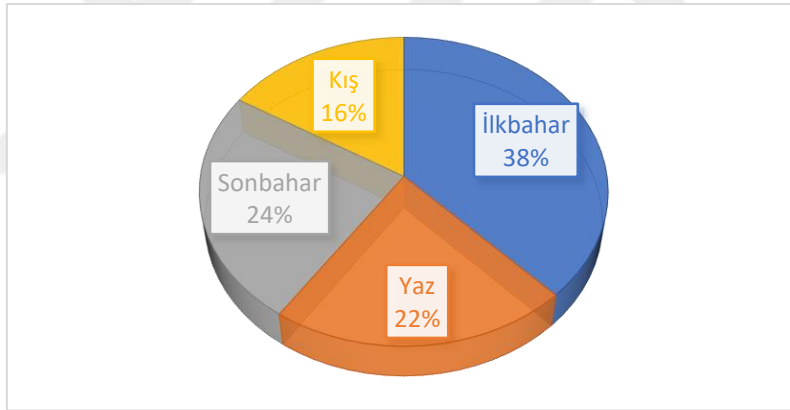
Nisan ayı sonuna kadar Doğu Anadolu'nun orta ve kuzey kesimi soğuk karakterli kontinental Polar (cP) yüksek basınç kuşağının etkisi altında kalır. Soğuk karakterli olan mevzu bahis ağır ve kuru hava, rüzgâr hareketlerinden yoksundur ve bu hava dağların arasında kalan havza çanaklarına hapsolür. Bundan dolayısıdır ki Erzurum ovası gibi havza nitelikli çanaklarda en düşük sıcaklıklar bu dönemde kaydedilir (Arınç, 2013: 26-27). Yaz aylarında ise güney sektörlü Basra siklonu etkili olmaktadır. Bu hava kütlesi sıcaklık ve buharlaşmayı artırmaktadır. Doğu Anadolu ve çevresinin kompleks yapıya sahip olması basınç durumlarının sık sık değışmesine ve yerel sirkülasyon şartlarının meydana gelmesine neden olmaktadır. Ayrıca sonbahardan itibaren kuzeydoğudan sokulan Kontinental Polar hava kütlesi birkaç gün içinde sıcaklığı düşürerek sahanın erken kış şartlarına girmesine neden olmaktadır (Birinci vd., 2022: 40). Ancak bu durum yazın ortadan kaybolur (Arınç, 2013: 27). Sahanın basınç şartları ve yağış rejimi arasındaki ilişkiyi ele alan Akyol, kış aylarında bölgedeki basıncın yüksek olmasından dolayı batı kökenli gezici depresyonların buraya giremediğini belirtmektedir. Ancak yaz başlarındaki depresyon alanlarında sıcaklıkların yükselmesiyle dağlardan inen soğuk havanın, orajlı havaya bir kama gibi sokulduğunu ve bu durumun konveksiyon yağışlarına sebep olduğunu ifade etmektedir (Akyol, 1944: 30).

Erzurum'da rüzgâr şiddetinin en fazla olduğu aylar Nisan (27,7 m/sn) ve Temmuz (13,7 m/sn)'dur. Ortalama rüzgâr hızları ise en fazla Nisan (3,5 m/sn) ve en az Aralık (1,8 m/sn) ayında tespit edilmiştir. Ortalama rüzgâr hızı 2,8 m/sn olarak ölçülmüştür. Erzurum'da hâkim rüzgâr istikameti güneybatıdır. Ancak Temmuz (doğu) ve Ağustos (kuzeydoğu) aylarında farklı yönlü rüzgarların hakimiyeti söz konusudur. Ayrıca bu ayların bağıl nem değeri de oldukça düşüktür (Temmuz %48 ve Ağustos %44) (Atalay, 1970: 20).

1.1.2.3. Nem ve Yağış

Doğu Anadolu Bölgesinde yeryüzü şekillerin karmaşık bir yapıyı barındırması, bununla birlikte derin vadilerin ve bakı durumunun farklılaşması gibi faktörlerin etkisiyle yağış miktarı kısa mesafelerde önemli ölçüde değışmektedir. Denizlere uzak olma durumunun karasallık üzerinde etkisi görülmekle birlikte yükselti faktörünün tanımış olduğu avantajla bölge, İç Anadolu'dan (yıllık ortalama 390 mm) daha fazla yağış almaktadır (yıllık ortalama 586 mm). Bölgenin nemli rüzgarlara bakan yamaçları daha fazla yağış alırken özellikle yağmur gölgesinde kalan Karasu-Aras ırmakları boyunca uzanan iç

depresyonlar daha az yağış almaktadır. Örneğin Munzur Dağlarının yüksek kesimleri 1200 mm yağış alırken bu değer Erzurum ovasında 500 mm'nin biraz üzerindedir (Arınç, 2013: 30, 31). Karasal yağış rejimi dahilinde değerlendirilen Doğu Anadolu Bölgesi, en fazla yağışı ilkbahar ve yaz başlarında almaktadır. Araştırma sahasının bulunduğu Erzurum kent merkezi her mevsimli yağışlı tip içerisinde değerlendirilmektedir. Bu iklim tipine göre en fazla yağış ilkbahar sonu ve yaz başları arasında düşmektedir. En az yağış ise kış mevsimine isabet etmektedir (Atalay, 1992: 141-142). Bu iklim tipinin hâkim olduğu Erzurum'da da en fazla yağış ilkbahar mevsiminde (%37,8), en az yağış ise kış mevsiminde (%16,2) düşmektedir (Grafik 5). Sonbahar ve yaz mevsimlerinde ise yağış yüzdeleri sırasıyla %24,3 ve %21,7 olarak tespit edilmiştir (toplam yağış 429,30 mm) (MGM, 3 Ekim 2023). Erzurum'da en fazla yağış alan ay Mayıs (ortalama 72,6 mm) en az yağış alan ay ise Ağustos (ortalama 17,9 mm)'tur (MGM, 3 Ekim 2023) (Grafik 6). Erzurum'un mayıs ayında en fazla yağışı almasının sebebi bölgede gerçekleşen konveksiyonel karakterli yağışlardır (Atalay, 1992: 133).

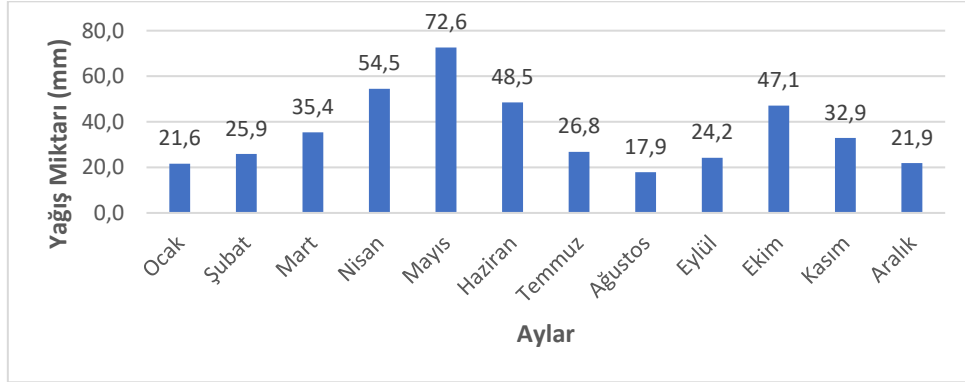


Grafik 5: Erzurum'un Mevsimlere Göre Yağış Dağılımı Grafiği

Kaynak: Çevre ve Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM, 3 Ekim 2023).

Doğu Anadolu Bölgesinde yağışlı günler sayısı güneybatıdan kuzeydoğuya doğru artmaktadır. Örneğin bu değer Elazığ'da 89 olarak tayin edilirken Erzurum'da 118'dir. En az yağışlı olan aylar Ağustos ve Eylül (5 gün) en çok yağışlı olan aylar ise Mayıs (15 gün)'tir. Yaz mevsiminde ise Haziran 43,8 mm, Temmuz 42,1 mm, Ağustos 44,6 mm yağış miktarı ile en fazla yağış şiddetinin ölçüldüğü dönem olarak göze çarpmaktadır (Atalay, 1970: 17). Bölgede kış aylarında çok fazla kar yağışı gerçekleşmemektedir.

Ancak sonbahar mevsiminde yağan ilk kar, düşük sıcaklıklardan dolayı kış sonuna kadar erimeden kalabilmektedir (Güngördü, 2010: 40).



Grafik 6: Erzurum'un Aylara Göre Ortalama Yağış Grafiği

Kaynak: Çevre ve Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü (MGM, 3 Ekim 2023).

Doğu Anadolu Bölgesinde kar yağışlı günlerin ortalama sayısı kuzeydoğu kesiminde en yüksek değere ulaşmaktadır. Bölgede en fazla kar yağışlı gün sayısına sahip yerleşme Sarıkamış (61) iken, Erzurum ikinci sıradadır (52). Bir günde düşen kar miktarına bakıldığında ise Bahçesaray (Van) ve Bitlis gibi bazı yerleşmelerde bir günde 2-2,5 m kar yağışı düşebilir. Erzurum'da ise bazı istisnai durumlar haricinde bir günde yaklaşık 4-5 cm kadar kar yağışı gerçekleşir (Arınç, 2013: 33). Ortalama olarak kar yağışının başlangıcı ekim ayının sonlarına rastlar. Son kar yağışı ise Nisan sonları ile Mayıs'ın ilk yarısı olarak tayin edilebilir. Kar örtüsünün yerde en fazla kaldığı aylar; Aralık (23 gün), Ocak (31 gün), Şubat (28 gün) ve Mart (26 gün) 'tır. Erzurum ovasında kar örtüsü Mayıs ayında tamamen kalkarken yüksek kesimlerde bu örtünün kalkış süresi bir hayli gecikmektedir (Onur, 1961: 104).

Erzurum'da bulutluluğun yıllık ortalama değeri 0,5 olarak tespit edilmiştir. Bu değerin en yüksek olduğu ayları; kış ve ilkbahar mevsimlerini kapsayan Kasım-Mayıs (0,6) dönemi, en düşük olduğu ayları ise yaz mevsimini kapsayan Temmuz-Eylül (0,3) dönemi oluşturur. Erzurum'da yıllık olarak ortalama 200 gün ise bulutlu olarak değerlendirilir. Bulutlu günler en fazla Mayıs (21 gün) ve Ekim (18 gün) aylarında toplanmaktadır (Atalay, 1970: 17).

1.2. Beşerî ve İktisadi Coğrafya Özellikleri

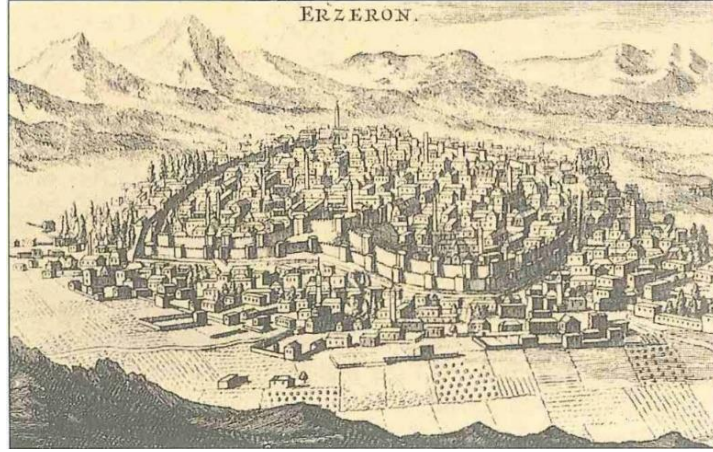
1.2.1. Yerleşme

Erzurum, İran saldırılarına karşı Anadolu'yu korumak için 415-422 yıllarında kurulmuş ve Doğu Roma İmparatoru II. Theodosios'a (408-450) ithafen tarihte ilk kez Theodosiopolis adıyla anılmıştır. Türkler şehri fethettikten sonra ise Erzen ismini kullanmaya başlamışlardır. Ancak Siirt tarafındaki Erzen'le karışmaması ve Anadolu'ya ait olduğunu belirtmek için şehir ismine Rum kelimesi eklenmiştir. Daha sonra Erz-i Rum olarak anılan şehir, Arz-ı Rum olarak ifade edilmiş ve son olarak günümüzdeki ifade şeklini almıştır (Küçük, 1995: 321).

Erzurum şehrinin kuruluşu, her ne kadar 400'lü yıllara tarihlendirilse de şehrin yakın çevresinde tarihi MÖ. 4000'li yıllara kadar götürülebilen yerleşmelere rastlanmıştır. Nitekim şehrin 16 km kuzeybatısında yer alan Karaz yerleşmesinde yapılan kazılar sonucunda, Bakır devrine (MÖ. 5000-3000) ait keramik ve benzeri eserlere ulaşılmıştır. Ayrıca Erzurum'un Karazlılar tarafından kurulduğu da düşünülmektedir (Koşay & Turfan, 1959: 349-350). Bir diğer tarihi yerleşme ise şehre 15 km uzaklıkta olan Pulur höyüğüdür. Bu yerleşmede yapılan kazılar sonucunda, Eski Bronz Devrine (MÖ 3300-1200) ait iki savaş askeri ve bir kadın iskeletine rastlanmıştır. Netice itibarıyla Pulur Höyüğü'nün yerleşme tarihi MÖ 4000'li yıllara tarihlendirilmektedir (Koşay, 1960: 28). Sonuç olarak Erzurum şehri ve yakın çevresinde çok eskilere dayandırılan höyük yerleşmeleri mevcuttur. Bu yerleşmeler, Erzurum'un geçmişten günümüze jeopolitik konumu da göz önünde bulundurularak tercih edilebilir bir coğrafyada olduğunu gösterir niteliktedir.

Tarih sahnesinde birçok devlete ve topluluğa ev sahipliği yapmış olan Erzurum, Malazgirt Zaferine (1071) kadar defalarca Müslüman ve Bizans birlikleri arasında el değiştirmiştir. Şehir, Malazgirt Zaferinden sonra Bizans İmparatorluğunun Gürcü asıllı generali Gregorios Bakurian tarafından idare edilmeye başlanmıştır. Aynı yıl Erzurum'un, Emir Saltuk tarafından fethedilmesiyle şehirde kesin olarak Türk hakimiyeti sağlanmış ve Büyük Selçuklu Devleti'ne bağlı Saltuklu Beyliğinin temelleri bu fetihle atılmıştır (Turan, 1971: 3). 1242 yılında Erzurum, Moğol ordusu komutanı Baycu Noyan tarafından istilaya uğramış ve halkın büyük bir bölümü kılıca geçirilerek katledilmiştir. Anadolu Selçuklu Devleti'nin Köseadağ Savaşı (1243) yenilgisi sonrasında Moğol hakimiyetine

giren şehir, bu dönemde önemli düzeyde tahrip edilmiştir. Bu tahribat nedeniyle halk başka yerlere göç etmek zorunda kalmıştır. Erzurum, Anadolu Selçuklu Devletinin yıkılmasından (1308) sonra İlhanlı Devletine bağlandıysa da İlhanlılar'ın parçalanması (1336) ile tahrip ve karmaşayla dolu bir dönemin içerisine girmiştir. Nitekim ilgili dönemde Erzurum, Türkmen Aşiretlerinin (Karakoyunlular ve Akkoyunlular) mücadele sahası haline gelmiştir. Bu mücadeleler sırasında şehir önemli düzeyde tahribata uğramış, 1340'ta Şeyh Hasan ve 1387'de Timur tahribatı sürdürmüştür. 1405'te Timur'un ölmesi ile Akkoyunlular ve Karakoyunlular arasındaki mücadele tekrar alevlenmiş, Karaz civarında vuku bulan savaşta Karakoyunlular galip gelmiştir. Ancak 1467'de Akkoyunlu hükümdarı Uzun Hasan, Karakoyunlular Devletini ortadan kaldırarak şehri ele geçirmiştir. 1502'de Safevi hükümdarı Şah İsmail şehre hükmetmişse de Çaldıran Savaşı (1514) ile Osmanlı, Doğu Anadolu'nun büyük bir kısmını ele geçirmiştir. Ancak bölgedeki İran etkisinin tamamen kırılmasına dek Erzurum'un zaptı gerçekleştirilememiştir. Zira Mısır seferinden sonra 1518-1519 tarihleri arasında şehrin, Osmanlı hakimiyetine girdiği düşünülmektedir. Osmanlı hakimiyeti, şehir için bir iyileşme süreci başlangıcı olarak görülmektedir. Nitekim Kanuni Sultan Süleyman döneminde yeniden imar edilen şehir, İran'a gerçekleştirilen seferler sırasında önemli bir askeri üs olarak kullanılmıştır. Bu görev, askeri ve ticari yolların geçiş noktasında bulunan Erzurum'un, güzergâh üzerindeki önemine yeniden kavuşmasını sağlamıştır. Önceki dönemlerde harabe olarak nitelenebilecek şehirde, yerleşme altyapısının bu dönemde kurulmaya başladığını 1540 tarihli tahrir defteri kayıtlarına geçen 27 mahalleden anlamak mümkündür (Küçük, 1995: 325). Mahallelerin kayıt altına alınması şehir idaresi için önemli bir adım olarak görülmektedir. Nitekim yerel idarenin sağlanabilmesi ve şehrin gelişimi, imar-iskân faaliyetlerinin yeterli düzeyde denetimi ve takibi ile ilişkilidir.



Görsel 1: Erzurum 'un 18. Yüzyıldaki Durumunu Gösteren Bir Gravür

Kaynak: M. Pitton de Tournefort, Relatian d'un voyage du Levant, Amsterdam 1718, I, 111.

Bu dönemden 1. Rus istilasına (1828-1829) kadar şehir, kayda değer bir tahribata uğramamıştır (Görsel 1). 93 Harbi olarak da bilinen 1877-1878 Osmanlı-Rus savaşı sırasında ikinci kez şehri istila etmek isteyen Rus askeri, Aziziye Tabyası önünde Erzurum halkının destansı direnişiyle karşılaşmış ve bu istila hareketi halk tarafından bertaraf edilmiştir. Ancak Ayastefanos Antlaşması ile direnişten 1 yıl sonra 1878'de Ruslar şehri işgal etmiştir. 1. Rus istilasından sonra toparlanmaya başlayan şehir, göçlerle birlikte ikinci kez büyük bir darbe almıştır. 1916' da üçüncü kez Rus istilasına maruz kalan şehrin önemli bir bölümü Ermeniler tarafından tahrip edilmiş ve halkın büyük bir bölümü katledilmiştir. Nitekim 1914 yılında 118.777 (Karpas, 2003: 262, 358) olarak kayıtlara geçen nüfus, bu mezalim ve göçler sonrasında 8.500 kişiye kadar düşmüştür. Bu dönemde şehrin harabeyi andıran bir görüntüde olduğu ifade edilmektedir. Rusların ve sonrasında Ermenilerin dahil olduğu bu istilalar sonrasında şehrin gelişimi olumsuz yönde etkilenmiştir (Fındıkoğlu, 1967: 5).

Depremler		Açıklama
Tarihi	Şiddeti	
1268	IX	Erzincan ve Erzurum'da 15.000'den fazla can kaybı yaşanmış ve büyük tahribata yol açmıştır.
1458	X	Erzincan ve Erzurum'da 30.000'den fazla can kaybı yaşanmış ve büyük tahribata yol açmıştır.
1482	X	Erzincan ve Erzurum'da 30.000'den fazla can kaybının yaşandığı ifade edilmektedir.
1850	VIII	Erzurum ve çevresinde birçok konak yıkılmıştır.
30.10.1983	VIII	Erzurum ve çevresinde 1155 can kaybı yaşanmış ve 3241 konut hasar görmüştür.

Tablo 7: Erzurum'da Etkili Olan Şiddetli ve Yıkıcı Depremler

Kaynak: Ergin vd., 1967'den yararlanılarak hazırlanmıştır.

Erzurum'un yerleşme tarihi üzerinde, işgal ve istilaların yanı sıra doğal afetlerin de önemli etkileri olmuştur. Nitekim Erzurum, aktif deprem riskinin olduğu bir coğrafyada yer almaktadır. Hatta yerleşme merkezinde Kiremitlik Tepe'nin kuzey kesiminden geçen ve yerleşmeyi doğu-batı doğrultuda kat eden bir kırık hattı da mevcuttur (Atalay, 1978; 34). Erzurum ovasında da çeşitli doğrultu ve uzunluklarda kırık hatları bulunmaktadır. Fay hatlarının Erzurum yerleşmesine yakın bir konumda teşekkülünden dolayı tarihte yerleşmeyi tahrip eden birçok deprem meydana gelmiştir. Bunlardan en etkili ve yıkıcı olanları ise 1268, 1458, 1482, 1850 ve 1983 yıllarında meydana gelen depremlerdir (Tablo 7).

1.2.2. Nüfus

Erzurum, iklim koşulları bakımından çok elverişli olmamasına rağmen geçmişten bugüne önemli düzeyde nüfusu bünyesinde barındırmıştır. Bunda ticari yollar üzerinde bulunması ve kale kenti olmasının rolü büyüktür. Bu özellikler, Erzurum şehri için olumlu görünse de şehir, tarih boyunca deprem, savaş ve istilalarla karşı karşıya kalmıştır. Dolayısıyla nüfusunda önemli düzeyde kayıplar yaşamış ve hatta belirli dönemlerde yerleşmenin köyü andıran bir görüntüde olduğu belirtilmiştir (Konukçu vd., 1989: 6-7).

1540 yılı öncesine kadar şehir nüfusu hakkında kişi bazında nicel olarak herhangi bir değere ulaşılamamıştır. 1540 yılında ise kalede bulunan askerler ve aileleri ile birlikte

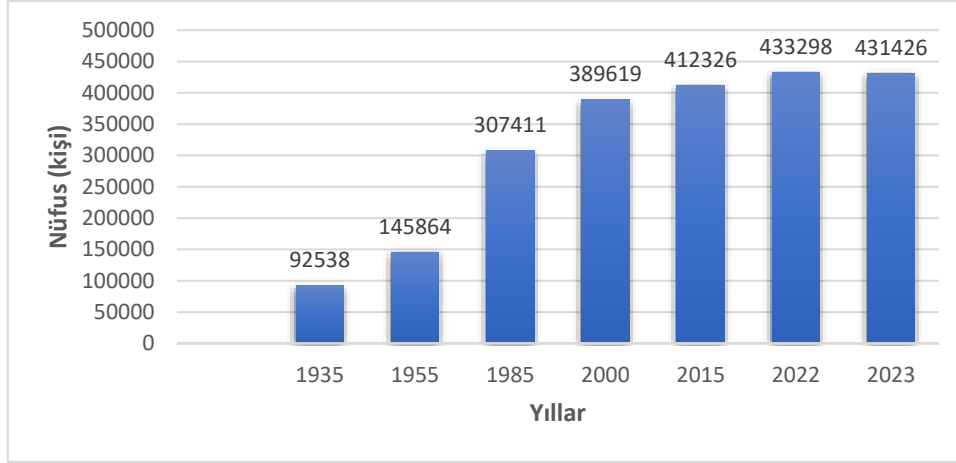
nüfusun 2000 kişi kadar olduğu ifade edilmektedir. Sonraki 5 yıllık süreçte (1540-1545) ise nüfusun yaklaşık 2000 ila 3000 kişi olduğu belirtilmektedir. Amasya Antlaşması'nın (1555) imzalanması ve Ermenilerin şehre geri dönüşüyle birlikte iskanda önemli düzeyde hızlanma gerçekleşmiştir. Nitekim 1591 yılı tahrir kayıtlarına göre şehirde 594 hane bulunmakta ve yerleşmede görevlilerle birlikte yaklaşık 5.000-6.000 kişinin yaşamını sürdürdüğü tahmin edilmektedir (Küçük, 1995: 325).

17. yüzyılda ise şehir hem fiziki olarak hem de nüfus yönünden gelişimini sürdürmüştür. Zira Evliya Çelebi'nin vermiş olduğu rakamlara göre, şehrin bu tarihlerdeki nüfusunun 20.000 kişi olduğu düşünülmektedir. 18. Yüzyılın başlarında ise bu sayı, batılı seyyah J. Brant'a göre 130.000 kişiye kadar ulaşmıştır (Küçük, 1995: 326). Ancak 1828-1829 Osmanlı-Rus savaşı ve 1. Rus istilasından sonra şehir nüfusu önemli düzeyde azalış göstermiştir. Nitekim bu dönemde şehir nüfusu 130.000'den 20.000'e kadar gerilemiştir (Fındıkoğlu, 1967: 5). İlerleyen yıllarda nüfus 1847 yılında 26.845'e (Çoruh, 2002: 109) ve 1906 yılında 123.639 kişiye kadar yükselmiş (Karpas, 2003: 262) olsa da 2. ve 3. Rus istilalarıyla Ermeni halkı, Müslüman halkın büyük bir bölümünü katletmiştir. Bu mezalim ve göçler sonrasında 1918 yılında şehir nüfusunun 8.500'e kadar düştüğü ifade edilmektedir (Fındıkoğlu, 1967: 9). Bu dönemden sonra bazı yıllarda şehir nüfusunda dalgalanma yaşansa da nüfus sürekli artmaya devam etmiştir. Nitekim 1935 yılında 92.538 olan nüfus, 1955 yılında 145.864, 1985 yılında 307.411, 2000 yılında 389.619, 2015 yılında 412.326 ve nihayet 2022 yılı itibarıyla 433.298 kişiye ulaşmıştır (Tablo 8, Grafik 7).

Yıllar	Nüfus
1935	92538
1955	145864
1985	307411
2000	389619
2015	412326
2022	433298
2023	431426

Tablo 8: Erzurum Şehir Nüfusunun Yıllara Göre Değişimi

Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır (09.11.2023).



Grafik 7: Erzurum Şehir Nüfusunun Yıllara Göre Değişim Grafiği

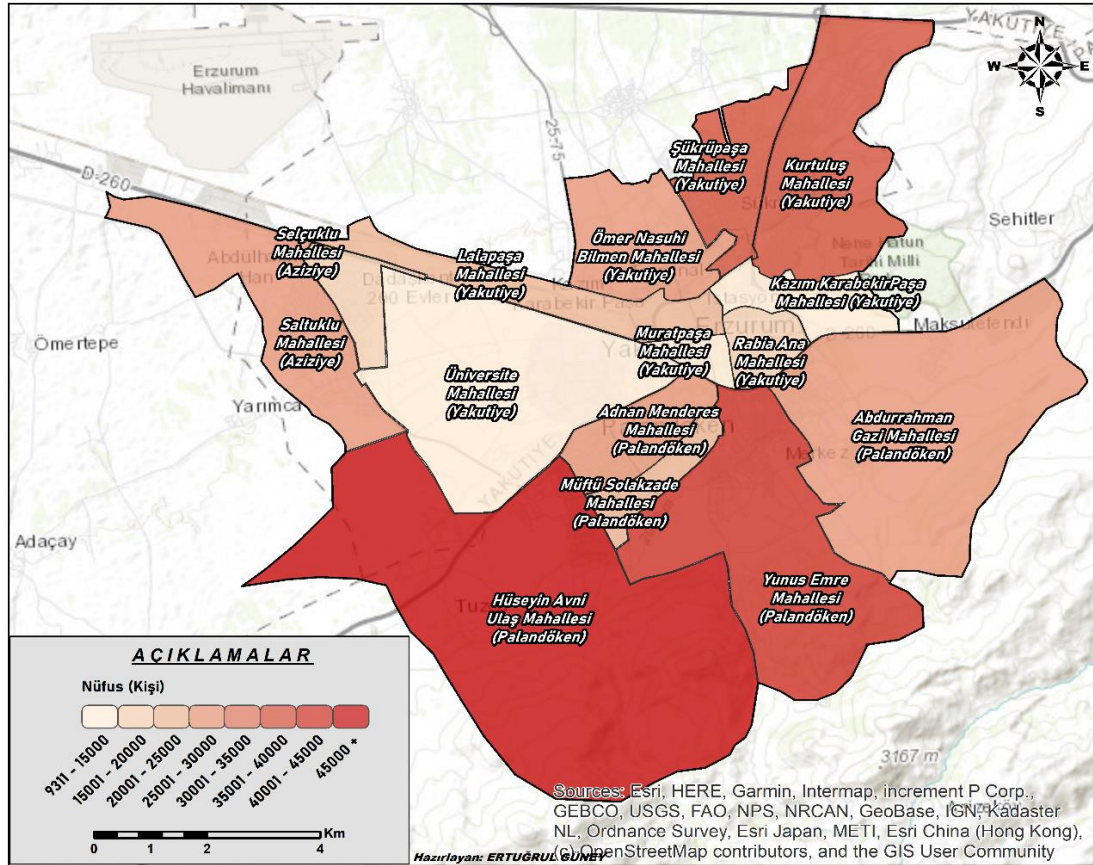
Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır (09.11.2023).

Erzurum metropol ilçeleri nüfusu içerisinde değerlendirilen 433.298 kişinin büyük bir bölümü (390.403) araştırma sahasını oluşturan kent merkezinde ikamet etmektedir. Bu nüfusun önemli bir bölümü, Hüseyin Avni Ulaş (49.184), Yunus Emre (42.905) ve Şükrüpaşa (33.440) mahallelerinde bulunmaktadır. En az nüfusu bünyesinde barındıran yerleşmeleri ise Üniversite (12.807), Muratpaşa (11.694) ve Kazım Karabekir Paşa (9.311) mahalleleri oluşturmaktadır (Tablo 9, Harita 8).

Mahalleler	Nüfus
Hüseyin Avni Ulaş	49184
Yunusemre	42905
Şükrüpaşa	37440
Kurtuluş	35819
Adnan Menderes	29988
Ömer Nasuhi Bilmen	28408
Abdurrahman Gazi	25426
Saltuklu	25201
Müftü Solakzade	24875
Lalapaşa	21915
Selçuklu	17958
Rabia Ana	17472
Üniversite	12807
Muratpaşa	11694
Kazım Karabekir Paşa	9311

Tablo 9: Araştırma Sahasında Bulunan Mahalle Yerleşmelerinin 2022 Yılı Nüfusu

Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır (21.09.2023).



Harita 8: Araştırma Sahasındaki Mahalle Yerleşmelerinin Nüfus Dağılışı Haritası

Kaynak: Türkiye İstatistik Kurumu verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır (21.09.2023).

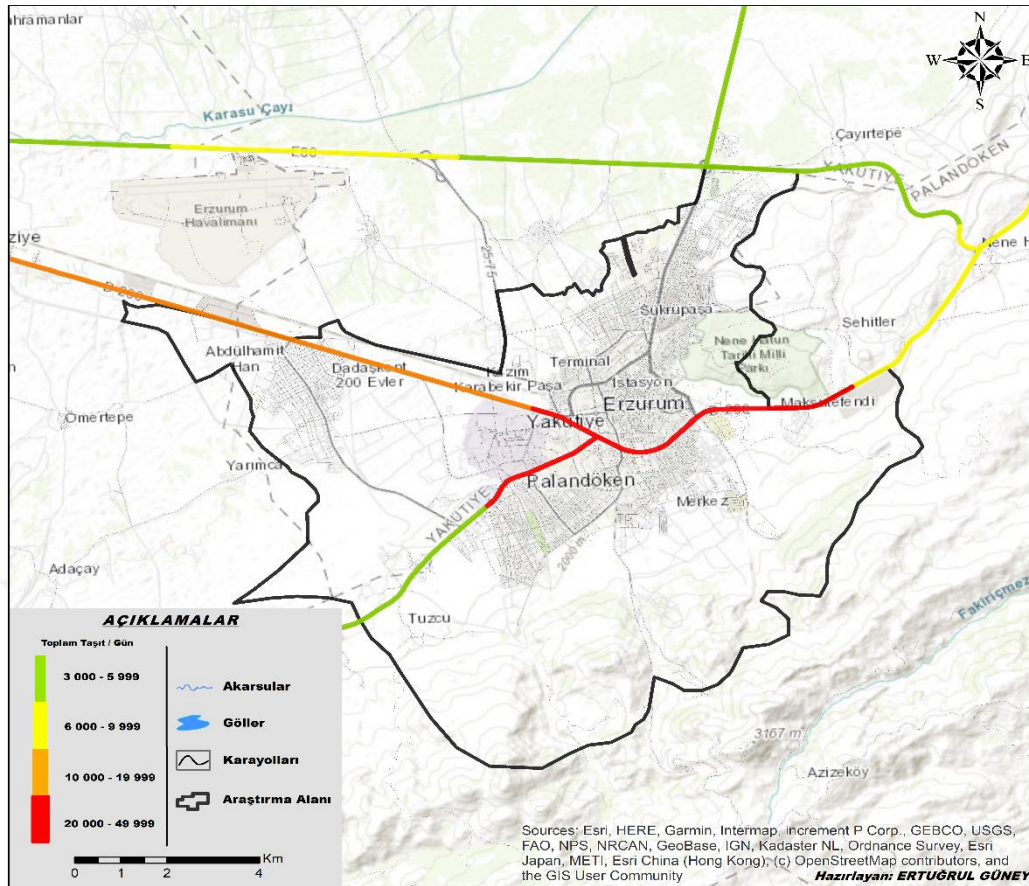
1.2.3. Ulaşım

Erzurum, tarihi ipek yolu geçiş güzergahında bulunması nedeniyle tarih boyunca ticaret yollarının düğümlendiği bir merkez özelliği göstermektedir. Bu özelliği kazanmasında doğu-batı uzantılı Karasu-Aras tabii koridorunun önemi büyüktür. Erzurum, bu coğrafi unsurlarla öneme haiz olan Kafkasya'dan Basra Körfezi'ne ve Çin'den Trabzon'a kadar devam eden tarihi yolların kavuştuğu noktasındadır. Nitekim Erzurum, Orta Çağ'da önemli bir ticaret şehri olarak anılmıştır (Sözer, 1970: 88). Buna ek olarak geçidi bekleyen şehir olarak anıldığı da ifade edilmektedir (Taşyürek, 2009: 11).

Erzurum, il sınırları içerisinde kaynağını alan üç nehir (Fırat, Çoruh ve Aras) ile Hint Denizi'ne, Karadeniz'e ve Hazar Denizi'ne bağlanan tabii ulaşım koridorlarına sahiptir (Taşyürek, 2009: 11). Bu ulaşım koridorlarından Trabzon-Erzurum şosesi, Erzurum'un kuzeybatı kesimindeki ulaşım yükünü üstlenmektedir. Bu karayolu Erzurum ovasını geçtikten sonra Aşkale yakınlarındaki E-97 karayolu ayrımından Bayburt-Gümüşhane

istikametini takip ederek Trabzon'a ulaşmaktadır. Karadeniz limanı ile Erzurum arasında bir köprü görevi gördüğü için bu aks, ticari ve ekonomik faaliyetlerin sürdürülebilmesi açısından büyük bir önem arz etmektedir. Kabaca kuzey-güney doğrultudaki D950 Bingöl-Erzurum-Artvin şosesi ise Karadeniz Bölgesinin Doğu Bölümü ile Güneydoğu Anadolu Bölgesi arasındaki ulaşım yükünü üstlenmektedir. Bu aksın güney kesimi, Erzurum metropol ilçe merkezinin güneydoğusunda yer alan Sakalikesik ovasını katederek Yaylasuyu geçidini aşmakta ve Karlıova-Bingöl hattını takip etmektedir. D-950 karayolunun kuzey kesimi ise Tortum İlçesi'nin güneyindeki Güzelyayla geçidini aşarak Uzundere ilçesine ulaşmakta ve Tortum Çayı ile Çoruh Nehri'nin açtığı tabii koridoru takip ederek Artvin'e varmaktadır. Erzurum'u doğu-batı doğrultuda kateden Erzincan-Erzurum-Kars karayolu ise bir diğer önemli ulaşım aksını oluşturmaktadır. Devlet yolu standardına sahip ve tarihi ipek yolu güzergahında yer alan bu karayolu Erzurum'un ticaret ve konaklama merkezi olma özelliği kazanmasında önemli bir yere sahiptir. Ayrıca Erzurum il sınırları içerisinde E-80, D-100 ve E-691 karayollarını takip eden bu aks, şehrin doğusu ile batısı arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Bahsi geçen karayolu aksını büyük oranda takip eden demiryolu hattı ise bu koridordaki ulaşım alternatiflerinden bir diğeridir.

Araştırma sahasında, doğu-batı uzantılı D100 karayolu istikametine diyagonal şekilde Çiğdemli Kırsal Mahallesi yakınlarından metropol ilçe merkezine bağlanan E80 karayolu üzerinde taşıt trafiği yoğunluğu önemli düzeydedir (KGM, 16 Mart 2024). Nitekim 2022 yılı KGM (Karayolları Genel Müdürlüğü) taşıt trafik hacmi istatistiklerine göre aynı güzergâh üzerindeki Aziziye ile Yakutiye ve Palandöken Metropol ilçelerini birbirine bağlayan bu karayolundan 14.269 araç geçişi tespit edilmiştir (Harita 9). Araştırma sahasının kuzeyinde bulunan ve çevre yolu olarak transit geçiş niteliği sunan D100 karayolu lojistik açıdan genellikle ticari tırların kullandığı bir karayolu aksıdır.



Kaynak: Altyapı ve Ulaştırma Bakanlığı Karayolları Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Erzurum Tren Garı'nın hizmete girmesiyle (Eylül 1939), ülkemizin başkenti ile doğusu birbirine bağlanmıştır. Doğu Anadolu Bölgesindeki engebeli topoğrafya Sivas-Erzincan ve Erzurum arasındaki tren hattının inşasını her ne kadar zorlaştırsa da dönemin şartlarıyla bu hat 6 yılda tamamlanmıştır. Sivas-Erzincan-Erzurum arasındaki tren hattı, 4 Eylül 1933'te inşa edilmeye başlanmış ve 20 Ekim 1939 itibariyle Sivas-Erzurum seferleri başlamıştır (Cumhuriyet Gazetesi, 5 Eylül 1933: 5). 2022 yılı verilerine göre Erzurum ilinde; 419.939 kişi Doğu Ekspresi ve 14.269 kişi Turistik Doğu Ekspresi ile olmak üzere toplamda 434.208 kişi trenle seyahat etmiştir. Yük taşımacılığı kapsamında ise 239.841 ton yük taşınmıştır (Ulaşım ve Erişimde Erzurum, 2023; 40- 41). Erzurum ilindeki toplam demiryolu ağı 246 km'dir. 379 km uzunluğundaki Erzincan-Erzurum-Kars hızlı tren hattı için ise etüt çalışmaları devam etmektedir.

2. BÖLÜM: COĞRAFI BİLGİ SİSTEMLERİ VE AKILLI ULAŞIM SİSTEMLERİ İLİŞKİSİ

Akıllı Ulaşım Sistemleri ile Coğrafi Bilgi Sistemlerinin kullanım alanları itibari ile birlikte etkili ve verimli bir şekilde çalışması muhtemeldir. Nitekim ulaşımın mekânsal ve coğrafi yönünü kapsayan sorunların, bu iki sistemin ortak paydada kullanılmasıyla çözüme kavuşturulacağı düşünülmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS); konuma dayalı işlemlerle elde edilen grafik ve grafik olmayan verilerin toplanması (Yomralıoğlu, 2015: 49), depolanması, analizi, yeni verilere ulaşılması, karar destek amaçlı planlama ve yönetim vb. çalışmalar için kullanılan kendine has bir metodolojisi olan bir bilgi sistemidir (Turoğlu, 2016: 4). Akıllı Ulaşım Sistemleri (AUS) ise; trafik güvenliğinin sağlanması, yol kapasitelerinin etkili ve verimli kullanılması, seyahat sürelerinin minimuma indirilmesi, trafik akış hızının artırılması, enerji tasarrufunun sağlanması ve çevre üzerinde olumsuz etkiye sahip faktörlerin azaltılması veya ortadan kaldırılması gibi amaçlara yönelik geliştirilen altyapı, kullanıcı, merkez ve araç arasında çok yönlü veri alışverişi ile ölçme, izleme, kontrol ve analiz mekanizmalarını içeren bilgi iletişim temelli sistemlerdir (UAB, 19 Ocak 2024).

İlgili sistemler kullanılarak ülkemizde birçok alanda farklı uygulamalar geliştirilmiştir. Bunlardan Kaza ve Acil Durum Yönetimi, Yolcu Bilgilendirme Sistemleri ve Algılayıcılar (Sensörler) gibi uygulamalar kullanım alanları bakımından gizli buzlanmanın tespiti ve önlenmesine yönelik olan çalışmamızla ilişkili olduğu görülmektedir.

Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) uygulamaları aracılığıyla arazinin modellenmesi, bilgilerin saklanması ve depolanmasıyla coğrafi yeryüzü daha iyi tanımlanmakta ve arazi hakkında bilgi edinilebilmektedir. Netice itibariyle bu bilgi sistemi mekânsal bağlamda coğrafi yeryüzündeki herhangi bir sorunun çözülebilmesi için kolaylık sağlamaktadır. Ulaşım coğrafyası alanında yapılan çalışmalarda CBS'nin AUS ile etkili ve verimli bir şekilde çalışması mümkündür. Nitekim AUS'ların kullanıcı, araç, merkez ve altyapı arasındaki bilgi alışverişini sağlayan bir sistem olduğu bilinmekle birlikte CBS uygulamalarıyla arazinin tanınması ve AUS uygulamalarıyla da daha önce bahsedilen bilgi alışverişinin sürdürülebilmesi için her iki bilgi sisteminin birbirine entegre şekilde çalışması önem arz etmektedir.

2.1. Kar ve Buzla Mücadelede Dünya'daki Akıllı Ulaşım Sistemi Uygulamaları ve Aktif Teknolojik Yöntemler

Mevcut yolların verimliliğinin, yol güvenliğinin ve trafik akışının artırılması ve zamandan tasarruf etmek için seyahat sürelerinin azaltılması gibi amaçlara yönelik dünyada Akıllı Ulaşım Sistemleri alanında pek çok uygulama kullanılmaktadır (Intelligent Transport Systems, 2021: 5). Ancak çalışmanın kapsamı bağlamında yol ve hava durumunun tespiti ve buzlanma önleyici sistemler başlığı altındaki uygulamalar ele alınacaktır. Bu uygulamalara örnek olarak; Sabit Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi (Road Weather Information System-RWIS), Mobil Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi (Mobile Road Weather Information System-MARWIS), Otomatik Solüsyon Püskürtme Sistemi, Hidronik Buzlanma Önleyici Sistem, Elektriksel İletken Isıtma Kablolarıyla Buzlanma Önleyici Sistem, Elektriksel İletkenlik Özelliği Olan Asfalt Kaplama Sistemi, Toplu Taşıma Araçlarında Kullanılan Otomatik Spreyleme Sistemi, Karbon Fiber Bantlarla Isıtma Sistemi ve V2V (Araçtan Araca İletişim) Sistemi verilebilir.

Herhangi bir bölgedeki ortam koşulları doğrudan sürüş etkinliğini belirlemektedir. Dolayısıyla hava durumu verileriyle yol durumunun belirlenmesi trafiğin işlevselliği, verimliliği ve güvenliği açısından büyük bir önem arz etmektedir. İlgili tespitin verimli bir şekilde kullanıcıyla paylaşılması gerekmektedir. Nitekim bilgi alışverişinin zamanında yapılması ve bilginin hatasız olması sistemin sürdürülebilirliği açısından önemlidir. Dolayısıyla sistem, sorunun belirlenmesi ve aktarılması aşamasında anlamlı ve iyi sonuçlar veren unsurlar üzerine kurulmalıdır.

2.1.1. Sabit Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi

Sabit Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi, yol durumunun tespiti ve gerekli önlemlerin alınması için önemli bir yöntemdir. Yol boyunca yerleştirilmiş olan istasyonlar vasıtasıyla yol hakkındaki anlık meteorolojik veriler belirli bir merkezde toplanmakta, yorumlanmakta ve kullanıcıyla paylaşılmaktadır (KGM, 16 Ocak 2024).

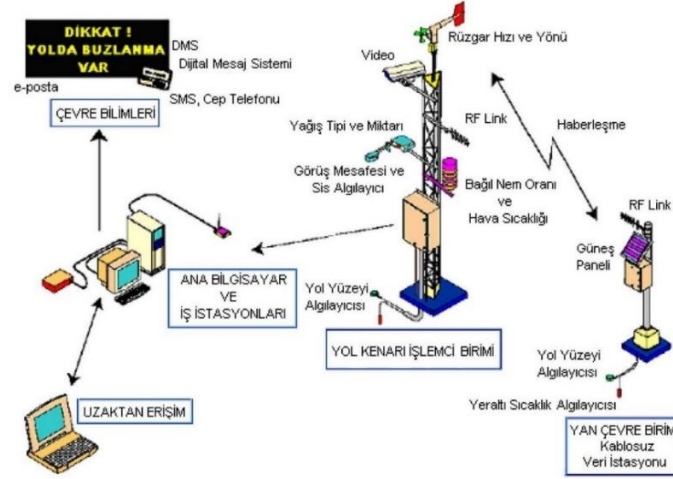


Görsel 2: Sabit Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi

Kaynak: Karayolları Genel Müdürlüğü. “Buzla Mücadele Rehberi”. Erişim 16 Ocak 2024.

<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Yayinlar/YayinPdf/KarveBuzlaM%C3%BCcadeleRehberi.pdf>

Hırvatistan karayolları ajansı Hırvat Caste Ltd. (HC) tarafından sert kış koşullarının hâkim olduğu bölgelere ve ana yol güzergahlarına yol durumunun tespiti için hava durumu izleme istasyonları kurulmuştur. Bu istasyonlardan alınan veriler yol güvenliğini arttırmak ve kış bakım faaliyetlerinin yürütülmesi için HC Bilgi Merkezinde otomatik olarak toplanmakta ve diğer yerel birimlere dağıtılmaktadır (Görsel 2, 3). İstasyonlardan alınan veri bilgileriyle yol bakım faaliyetleri yürütülürken aynı zamanda kar temizleme faaliyetleri ve buz çözücü kimyasal uygulaması gerçekleştirilmektedir. Ayrıca bu bilgi merkezi aracılığıyla halkı uyarmaya yönelik bilgiler de paylaşılmaktadır. Yol güzergahları boyunca yerleştirilen istasyonlarda ölçüm için kullanılan verileri ise sıcaklık, bağıl nem, asfalt yüzey sıcaklığı ve çiy noktası sıcaklığı oluşturmaktadır (Mandzuka, 2015: 29-30).



Görsel 3: Sabit Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi İşleyiş Şeması

Kaynak: Karayolları Genel Müdürlüğü. “Buzla Mücadele Rehberi”. Erişim 16 Ocak 2024.

<https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Yayinlar/YayinPdf/KarveBuzlaM%C3%BCccadeleRehberi.pdf>

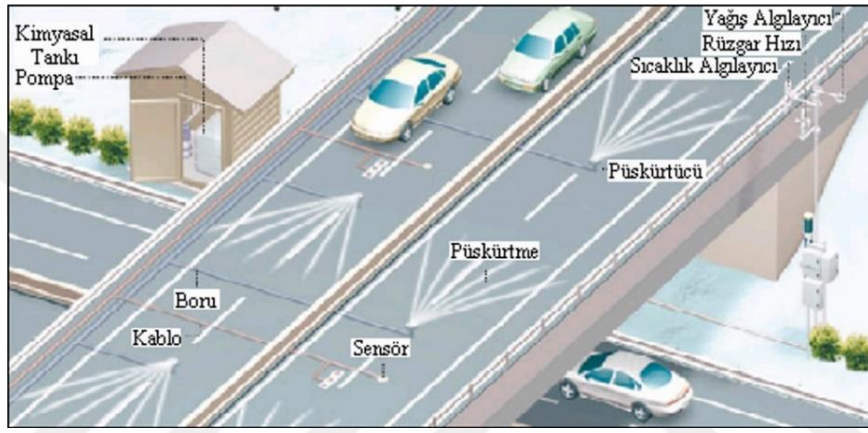
2.1.2. Otomatik Solüsyon Püskürtme Sistemleri

Otomatik solüsyon püskürtme sistemleri, kaplamaya yerleştirilen spreyci ağızlıklarıyla yol yüzeyine kimyasal solüsyon püskürtülmesi ve yol yüzeyi ile buz arasında kimyasal bir tabaka oluşturarak buzlanmayı önlemeyi amaçlayan bir yöntemdir. Bu sistem; depolama tankı, algılayıcı sensörler, bir pompa ve dağıtım sistemi, yanıp sönen uyarıcı levhalar ve bilgi merkezinde bulunan bir kontrol bilgisayarından oluşmaktadır (Görsel 4, 5). Kontrol bilgisayarı, algılayıcı sensörler vasıtasıyla anlık toplanan verileri sürekli olarak sorgulamaktadır. Önceden belirlenmiş olan eşik değerler sağlandığında kontrol bilgisayarı sürücülerini uyarmak için uyarıcı levhaları aktif etmekte ve levha üzerindeki ışıklar yanıp sönmeye başlamaktadır. Aynı zamanda kaplamaya yerleştirilen başlıklar aracılığıyla yol yüzeyine potasyum asetat solüsyonu püskürtülmektedir. Bu uygulama sonucunda yol yüzeyindeki buzlanma anlık olarak önlenmektedir (Goodwin, 2003: 24-25).



Görsel 4: Otomatik Solüsyon Püskürtme Sistemi

Kaynak: REHBERHDS, "Freeze-free Otomatik Buzlanma Önleyici Sistem" Erişim 10 Mart 2024
<http://rehberhds.com/freeze-free-otomatik-buz-onleyici-sistem/?lang=tr>



Görsel 5: Minnesota Otomatik Solüsyon Püskürtme Sistemi

Kaynak: Monsere, C., Bertini, R., Bosa, P., Chi, D., El-Seoud, T. A., & Nolan, C. (2006). Comparison of Identification and Ranking Methodologies for Speed-Related Crash Locations, s.59.

Buzlanma önleyici sistemler, genellikle köprü üzerine kurulmaktadır. Bunun nedeni; köprü kaplaması yüzeyindeki su buharının alt kısımdan esen rüzgâra maruz kalarak daha çabuk soğuması ve daha yaygın bir şekilde yol yüzeyinde buzlanmanın gerçekleşmesidir (Görsel 6). Amerika Birleşik Devletleri'nde Minnesota Eyaletinde Missisipi Nehri ve St. Anthony Şelalesinden gelen su buharı, kış aylarında Interstate 35 köprü kaplaması üzerinde buzlanmaya neden olmakta ve kaza açısından risk oluşturmaktadır. Ayrıca köprüdeki trafik hacminin yüksek olması da buzlanma nedeniyle meydana gelen kaza oranını artırmaktadır. Hem kaza oranını hem de kazalara bağlı trafik tıkanıklığını azaltmak için otomatik solüsyon püskürtme sistemi kurulmuştur (Monsere vd., 2006: 58). Uygulanan yöntem sonucunda aynı yıl içerisinde kazalarda %68 azalma gerçekleşmiştir (Johnson, 2001: 24).



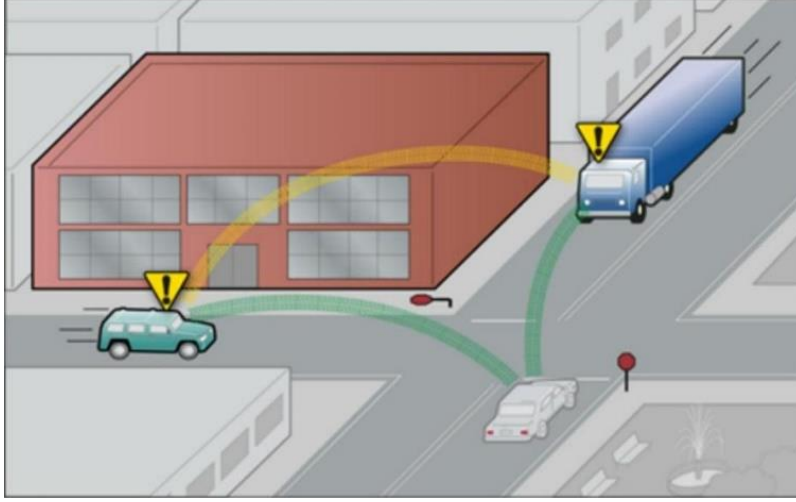
Görsel 6: Köprülerde Buzlanma

Kaynak: FORBES, “The Science of Ice Before Roads”. Erişim 21 Ocak 2024.

<https://www.forbes.com/sites/marshallshepherd/2017/12/19/the-science-of-why-bridges-ice-before-roads/?sh=4a38f99d7cd0> adresinden alınarak yazar tarafından düzenlenmiştir.

2.1.3. Araçtan Araca (V2V) İletişim Sistemi

Araç ve yol güvenliği hizmetleri kazaların önlenmesinde destek alınabilecek bir diğer uygulamalardır. Araçtan araca (V2V) iletişim kullanılarak yüksek binaların olduğu kavşak noktalarında kavşağa yaklaşmakta olan araçlara uyarı gönderilmesi sonucunda kaza riskini önlemeyi amaçlayan uygulamadır (Görsel 7). Nitekim özellikle kör nokta alanı fazla olan diğer araçların görüşünü önemli derecede kısıtlayan kavşaklarda araçların periyodik olarak konumlarının belirtilmesi olası kaza olaylarını engelleyecektir (ITU, 2021: 8, 12). Bu akıllı ulaşım sistemi uygulaması buzlanmanın gerçekleştiği yollarda araçların periyodik olarak konumlarının bilinmesi vasıtasıyla önceden önlem alınarak olası kaza riskini önemli düzeyde düşürebileceği düşünülmektedir.



Görsel 7: Araçtan Araca İletişim Sistemiyle Kavşak Güvenlik Uyarısı

Kaynak: International Telecommunication Union, (2021). Intelligent Transport Systems Handbook on Land Mobile (including Wireless Access), ITU Publications. Volume: 4. s.8

2.1.4. Mobil Yol Meteoroloji Bilgi Sistemleri

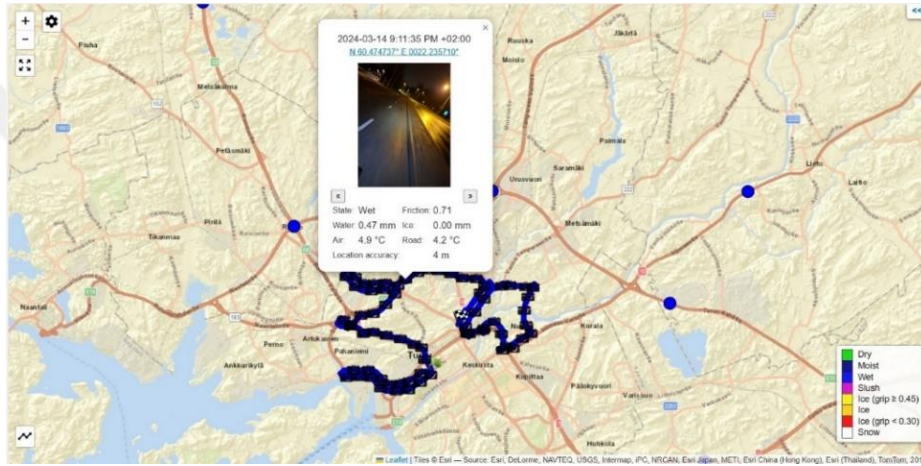
RWIS sistemiyle aynı mantıkta çalışan bu sistemde farklı olarak sabit istasyonlar yerine araçlara monte edilebilen mobil istasyonlar mevcuttur (Görsel 8). Bu mobil istasyonlar aracılığıyla hava ve yol durumu hakkında anlık olarak veri toplanabilmektedir. Yol durumunun tespiti için yol yüzey sıcaklığı, hava sıcaklığı, yoldaki buz oranı, çiy noktası sıcaklığı, havadaki nem oranı ve sürtünme katsayısı gibi veriler kullanılmaktadır. İlgili veriler vasıtasıyla buzlanma açısından risk teşkil eden yol zemini belirlenmekte ve buna göre buzlanmayı önlemeye yönelik çalışmalar yürütülmektedir (KGM, 16 Ocak 2024).



Görsel 8: Mobil Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi

Kaynak: LUFFT, “Marwis Mobile Advanced Road Weather Information Sensor”. Erişim 13 Mart 2024. <https://www.lufft.com/products/road-runway-sensors-292/marwis-mobile-advanced-road-weather-information-sensor-2488/>

Mobil Yol Meteoroloji Bilgi Sistemleri (MARWIS) uygulamasına örnek olarak; web tabanlı ve erişime açık olan “roadweather.online” sitesi verilebilir. Siteden manuel seçim yapılarak istenilen bölgenin anlık yol durum bilgileri elde edilebilmektedir (Görsel 9). Ancak bazı ülkelerin yol durum bilgileri güncel veriyi yansıtmamaktadır. Yol durum bilgilerini kapsayan pencere içerisinde; yolun anlık görüntüsü, hava sıcaklığı, yol yüzey sıcaklığı, yol yüzeyindeki su miktarı, sürtünme katsayısı ve yol yüzeyindeki buzlanma oranı gibi veriler bulunmaktadır. Uygulamadan anlaşılabacağı üzere sistem, Amerika Birleşik Devletleri, Finlandiya ve İzlanda gibi ülkeler başta olmak üzere uluslararası düzeyde pek çok ülkede aktif olarak kullanılmaktadır.

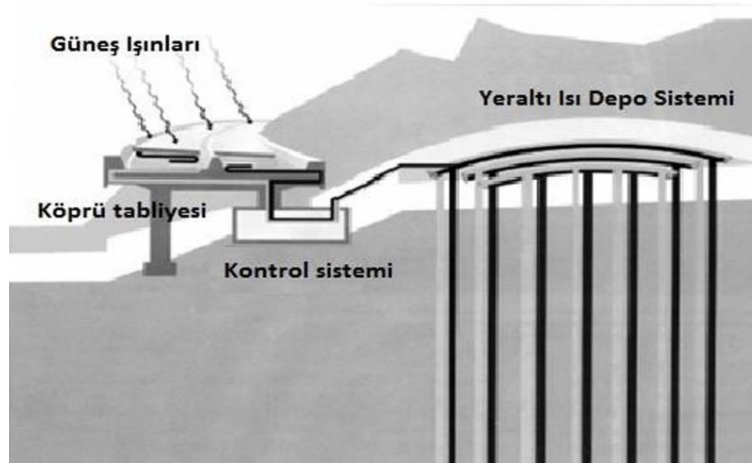


Görsel 9: Road Weather Web Sitesi Mobil Yol Meteoroloji Bilgi Sistemi

Kaynak: Road Weather, Erişim 14 Mart 2024. roadweather.online - RCMY025_20240314_2029

2.1.5. Hidronik (Jeotermal) Buzlanma Önleyici Sistemler

Bu tür sistemler, yer altından çıkarılan jeotermal suyun ısı eşanjörü tarafından propilen glükol karışıma aktarılması ve asfalt altına yerleştirilen polietilen borular vasıtasıyla devir daim yaptırılarak yol yüzeyindeki buzun önlenmesini amaçlamaktadır. Propilen glükol karışımının kullanılmasının sebebi suyun donma noktasını düşürmektir (Zhang vd., 2009: 5).



Şekil 4: SERSO Hidronik Sistemi

Kaynak: Rauber, M. (1995). Energy from road surfaces. Caddet Renewable Energy Newsletter, 1, 25-27.

Jeotermal buzlanma önleyici sisteme benzer bir uygulama; 1994 yılında İsviçre’de bir köprü üzerinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 4). Uygulamanın amacı, yaz aylarında 60 °C üzerine kadar çıkabilen ısıyı yer altı ısı alıcılarında depolamak ve kış aylarında bu ısıdan faydalanarak yol yüzeyindeki olası buzlanmayı önlemektir (Rauber, 1995). Jeotermal kaynaklara sahip olan alanlarda ve buzlanma riskinin bulunduğu karayollarında bu sistem etkili bir şekilde kullanılabilir.

2.1.6. Elektriksel İletkenlik Özelliği Olan Asfalt Kaplamalar

Minsk tarafından 1968 yılında geliştirilmiş olan bu yöntem, asfalt beton içerisine katılan iletken malzemelerin asfalt içerisinden geçirilen akımla ısıtılması ve yüzeydeki kar/buz gibi oluşumların eritilmesi esasına dayanmaktadır (Görsel 10). İletken asfaltın 48 W/m² ortalama güç üretimi ile 30 dakika içerisinde kaplama sıcaklığının -1,1 °C’den 15,6 °C’ye yükseltilebildiği ifade edilmiştir (Yehia & Tuan, 1998: 57). İletken asfalt buz çözücü sistemi; akımı taşıyan iletken kablolar, iletken kaplama karışımı, hava durumunu ölçen sensörler ve kontrol-izleme sisteminden oluşmaktadır (Minsk, 1968; Gürer vd., 2022: 11-12).



Görsel 10: İletken Asfalt Kaplaması ile Kar ve Buz Eritme İşlemi

Kaynak: Li, C., Ge, H., Sun, D., & Zhou, X. (2021). Novel conductive wearing course using a graphite, carbon fiber, and epoxy resin mixture for active de-icing of asphalt concrete pavement. *Materials and Structures*, 54, 1-17.

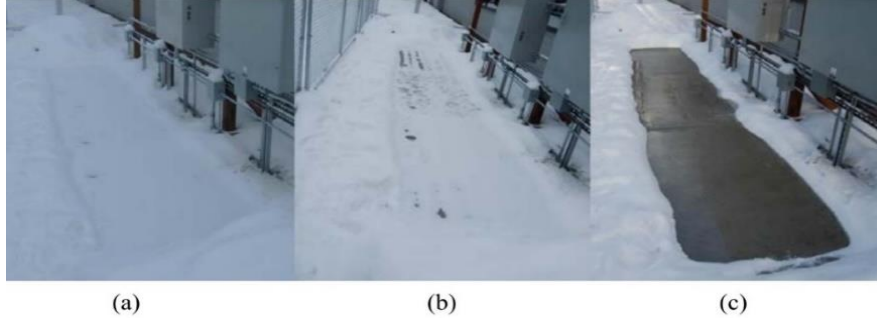
2.1.7. Karbon Fiber Bantlarla Isıtma

Yang tarafından 2011 yılında yapılan çalışma sonucunda dokuma karbon fiber kumaşı kullanılarak bir ısıtma sistemi geliştirilmiştir (Yang, 2011: 29-31). Belirli aralıklarla kaplama altına yerleştirilen kumaşlarla 16 buz çözme testi ve 3 buzlanmayı önleme testi uygulanmıştır (Görsel 11). Gerçekleştirilen testler sonucunda karbon fiber kumaşların elektrikli ısıtma için kullanılabileceği sonucuna varılmıştır (Görsel 12). Bu ısıtma sistemi uygulamasının karayollarındaki buzlanmayı önleyebileceği düşünülmektedir.



Görsel 11: Karbon Fiber Bantların Zemin İçerisine Yerleştirilmesi ve Betonla Kaplanması İşlemi

Kaynak: Yang, T. (2011). Experimental study on an electrical deicing technology utilizing carbon fiber tape. *University of Alaska Anchorage*. s. 22, 23.



Görsel 12: Zeminin Isıtma Öncesi (a), Esnası (b) ve Sonrasındaki (c) Durumu

Kaynak: Yang, T. (2011). Experimental study on an electrical deicing technology utilizing carbon fiber tape. University of Alaska Anchorage. s. 19.

2.1.8. Toplu Taşıma Araçlarında Kullanılan Otomatik Spreyleme Sistemi

Bu sistem buzlanmayı önlemek için uluslararası düzeyde etkili ve verimli bir şekilde kullanılmaktadır. Aynı zamanda ilgili sistem diğer kamu hizmet araçları vasıtasıyla da aktif bir şekilde uygulanabilmektedir (Görsel 13). Bu sistem, buzlanmanın tespiti ve önlenmesi için; dış ortam sıcaklık sensörü, depo-motor kontrol sistemi, spreyleme kontrol sistemi, araç hız kontrol sistemi, bağlantı ekipmanları ve gösterge paneli gibi donanımlara sahiptir (Gökdemir, 2013: 52, 54).



Görsel 13: Toplu Taşıma Araçlarında Kullanılan Otomatik Spreyleme Uygulaması

Kaynak: Gökdemir, T. (2013). Buzlanma Erken Uyarı Sistemi Uygulamaları ve İstanbul Örneği. Fen Bilimleri Enstitüsü. Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi. Yüksek Lisans Tezi. s. 52.

2.2. Kar ve Buzla Mücadelede Türkiye’deki Akıllı Ulaşım Sistemleri Uygulamaları ve Aktif Teknolojik Yöntemler

2.2.1. Buzlanma Erken Uyarı Sistemi (BEUS)

İstanbul’da buzlanmanın tespiti ve buzlanma dolayısıyla trafik güvenliğini ve seyrini etkileyebilecek olumsuz faktörleri ortadan kaldırmak amacıyla kritik güzergahlara 60

adet “Buzlanma Erken Uyarı Sistemi” kurulmuştur. Hava ve yol durumunu ölçen istasyon vasıtasıyla buzlanma tespit edilebilmekte ve gerekli uyarı bilgileri mobil uygulamalar, web sitesi vasıtasıyla halkla paylaşılmaktadır (Görsel 14, 15). Bu uygulama sayesinde buzlanma 3 saat öncesinden tahmin edilebilmekte ve buzlanmanın gerçekleştiği bölgeye ekip görevlendirilerek buz çözücü maddeler (tuz veya kimyasal solüsyon) yardımıyla buzlanma önlenmektedir (AKOM, 16 Mart 2024).



Görsel 14: Akıllı Ulaşım Sistemi (AUS) ile Buzlanma Erken Uyarı Sistemi (BEUS) Konsepti

Kaynak: AKOM, Afet Koordinasyon Merkezi. “Hazırlık-Planlama Çalışmaları”. Erişim 16 Mart 2024.
Hazırlık – Planlama Çalışmaları – AKOM (ibb.istanbul)

Bu sistemin, buzlanmanın tespiti için etkili bir uygulama örneği olduğu söylenilebilir. Ancak buzlanmayı önlemek için bölgeye ekiplerin görevlendirilmesi emek tasarrufu açısından bir dezavantaj olarak görülmektedir. BEUS’un kurulduğu güzergahlara sabit buzlanmayı önleyici aparatlar yerleştirilebilir. Bu sayede bölgeye ekip görevlendirmeye gerek kalmadan buzlanma önlenebilecek ve emek tasarrufu sağlanabilecektir.



Görsel 15: BEUS (Buzlanma Erken Uyarı Sistemi)

Kaynak: UYM, Ulaştırım Yönetim Merkezi. “Trafik Ölçüm ve Gözlem”. Erişim 17 Mart 2024. UYM | Trafik Ölçüm ve Gözlem (ibb.gov.tr)

2.2.2. Elektriksel İletken Isıtma Kablolarıyla Buzlanmanın Önlenmesi

Bu sistemde iletken ısıtma kabloları, şerit sayısına göre tekerlek izleri boyunca kaplama yüzeyi altına yerleştirilmektedir (Görsel 16). Kaplama içerisine yerleştirilen sensörler veya kameralar vasıtasıyla buzlanma veya yüzeydeki kar tespit edilebilmektedir. Tespit için kullanılan bu unsurlar buzlanma tehlikesi anında iletken ısıtma kablolarını devreye sokarak olası buzlanmayı önlemektedir (Zhang vd., 2009: 5).



Görsel 16: Elektriksel İletken Isıtma Kablolarının Teker İzleri Boyunca Kaplama Zeminine Yerleştirilmesi

Kaynak: Joerger, M. D., & Martinez, F. C. (2006). Electric Heating of I-84 in Ladd Canyon, Oregon (No. FHWA-OR-RD-06-17). Oregon. Dept. of Transportation. s. 10.

Bu sistem Amerika Birleşik Devletleri'nde Oregon Ulaştırma Bakanlığı tarafından Ladd Kanyonu projesi olarak Interstate Highway I-84 karayolunun 1 mil'lik bölümünde uygulamaya alınmıştır (Joerger & Martinez, 2006: 15). Sistem, ilgili güzergâh üzerinde kurulduktan sonra sert kış koşullarına rağmen herhangi bir trafik sorunu meydana gelmemiş ve uygulama uygun bir maliyetle yol güvenliğini sağlama hususundaki hedefine ulaşmıştır (Görsel 17).



Görsel 17: İletken Isıtma Kablo Sisteminin Uygulama Sonrasındaki Kar ve Buzu Eritmesi İşlemi

Kaynak: Joerger, M. D., & Martinez, F. C. (2006). Electric Heating of I-84 in Ladd Canyon, Oregon (No. FHWA-OR-RD-06-17). Oregon. Dept. of Transportation. s. 13.

Ayrıca bu sistem, Protokol yolu olarak bilinen Ankara-Esenboğa Havalimanı (Kuzey Ankara Çevre Yolu) güzergahında kullanılmış ve uygulama neticesinde hava muhalefetlerinin trafik üzerindeki olumsuz etkisi minimuma indirilmiştir. İletken ısıtma kablolarının kaplama altına yerleştirildiği 6 şeritlik yolda lastik izi uygulaması gerçekleştirilmiştir. Ayrıca kaplama yüzeyi altına yerleştirilen iletken kabloların arasına nem ve sıcaklığı algılayan sensörler yerleştirilmiştir. Bu sensörler vasıtasıyla sıcaklık değerlerinin -4°C altına düştüğü ve belirli düzeyde nem algılandığı durumda sistem otomatik olarak devreye girerek yol yüzeyindeki kar ve buzu eritmektedir (Görsel 18). Bu sistem sayesinde ilgili güzergahta trafik akışı sorunsuz bir şekilde devam etmektedir (Mechanic Dergisi, 19 Mart 2024).



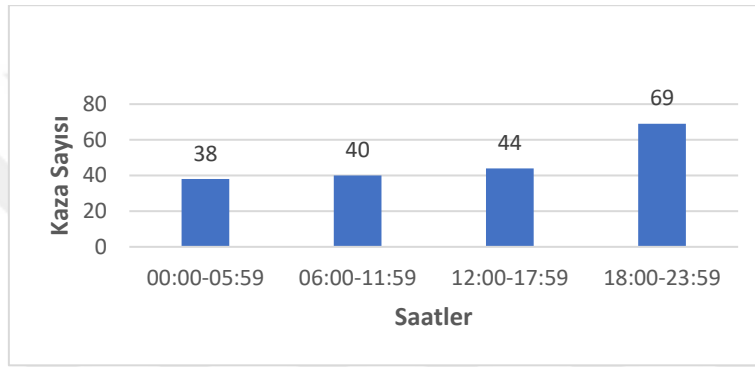
Görsel 18: Kuzey Ankara Çevre Yolunda Uygulanan İletken Isıtma Kablo Sistemi

Kaynak: Mechanic Dergisi, “Ankara Protokol Yolu Danfoss-DEVI Sayesinde Ulaşım Açık”. Erişim 19 Mart 2024. Ankara Protokol Yolu Danfoss-DEVI Sayesinde Ulaşım Açık | Mechanic Dergisi

3. BÖLÜM: BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Kazaların Zamansal Analizi

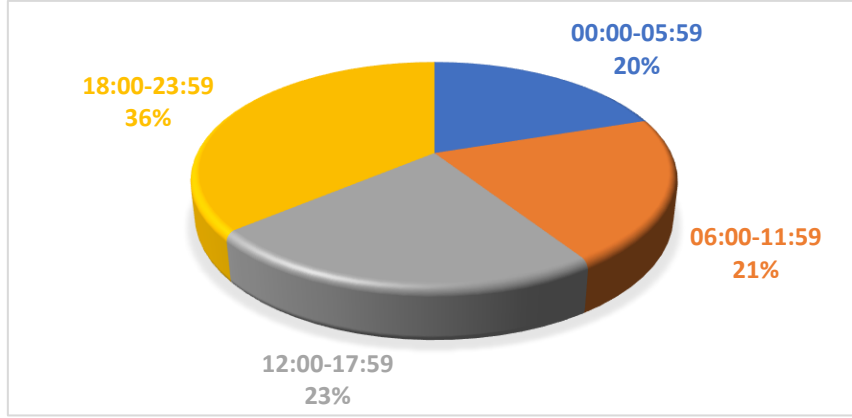
Araştırma sahasındaki karlı ve buzlu yol yüzeyinde meydana gelen kazalar, %36'lık dilimle akşam saat 18.00 ile 23.59 arasında gerçekleşmiştir. Kazaların %23'ü ise öğle ve akşam saatleri (12.00-17.59) arasında gerçekleşmiştir. Sabah ve öğle saatleri (06.00-11.59) arasındaki zaman diliminde ise %21'lik bir kaza payı söz konusudur. Kazaların en az gerçekleştiği zaman dilimini ise %20'lik oranla gece saat 00.00 ile takriben güneşin doğuşuna kadar (saat 05.59) olan zaman dilimi oluşturmaktadır.



Grafik 8: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlere Göre Dağılımı

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

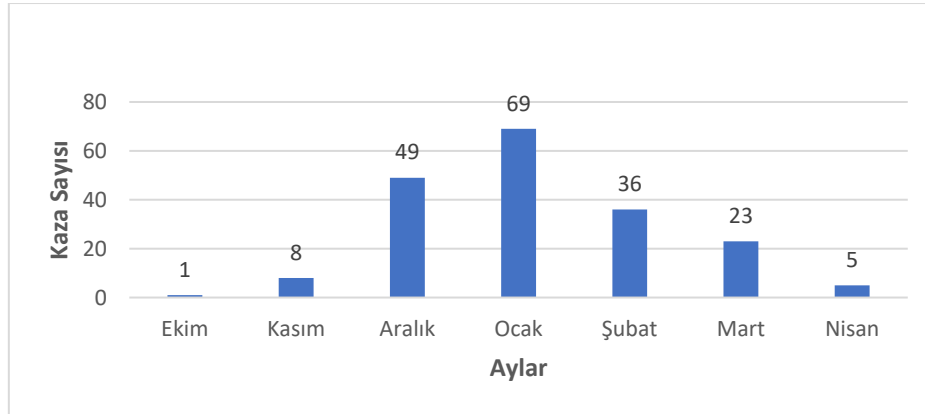
Neticede güneşin radyasyon etkinliğini yitirdiği gece saatlerinde (18.00-05.59) 107 kaza saptanırken güneş radyasyonunun etkin olduğu gündüz saatlerinde (06.00-17.59) 84 kaza tespit edilmiştir (Grafik 8). Değerler yüzdesel olarak ele alındığında; kazaların %56'sı gece saatlerinde gerçekleşirken %44'ü ise gündüz saatlerinde meydana gelmiştir (Grafik 9). Elde edilen bulgular neticesinde kaza istatistiklerinde güneş radyasyonu etkisinin doğrudan etkili olduğu düşünülmektedir. Elbette ki bu durum özelinde trafik yoğunluğunun da etkisi göz ardı edilmemelidir.



Grafik 9: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlere Göre Yüzdesel Dağılımı

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Çalışma kapsamında karlı ve buzlu yol yüzeylerinde gerçekleşen kazalar ele alındığında, en fazla kazanın Ocak (69), Aralık (49), Şubat (36) ve Mart (23) aylarında; en az kazanın ise Kasım (8) Nisan (5) ve Ekim (1) aylarında gerçekleştiği görülmektedir (Grafik 10). Nitekim sahanın mevsim özellikleri baz alındığında elde edilen bulgular şaşırtıcı değildir. Sıcaklıkların 0 °C altına düşmeye başladığı Ekim ayında ilk kazalar meydana gelirken bu kazalar, sıcaklıklarda eksi değerlerin görülebildiği Nisan ayına kadar devam etmektedir. Ancak bu kazaların Ocak ayında en yüksek değere ulaştığı görülmektedir. Kazaların yoğunlaştığı ve önlemlerin sıkılaştırılması gerektiği Ocak ayı çalışmanın kara noktası olarak nitelendirilebilir.

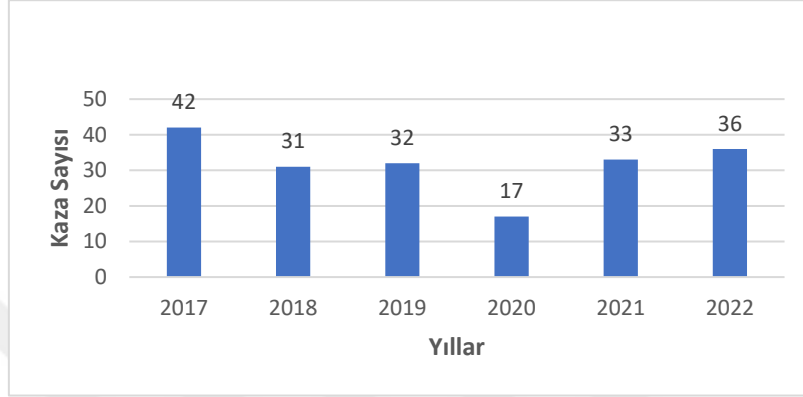


Grafik 10: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Aylara Göre Dağılımı

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

2017-2022 yılları arasındaki dönemde kaza sayılarında sürekli bir dalgalanma söz konusudur. Nitekim 2017 yılında 42 kaza meydana gelmişken 2018 yılında bu sayı 31'e

düşmüş ve 2019 yılında 32'ye yükselmiştir. 2020 yılında ise kaza sayısı 17'ye kadar düşmüştür. Bu sert düşüşe, Covid-19 salgınının 2020 yılı trafik yoğunluğu üzerindeki muhtemel etkisinin neden olduğu düşünülmektedir (Grafik 11). 2021 yılında ise bu sayı 33'e yükselmiştir. 2021 yılından itibaren kaza sayısındaki artışın trafik yoğunluğuyla bağlantılı olarak salgında normalleşme evresine geçildiğinin bir göstergesi olduğu ifade edilebilir. 2022 yılında ise kaza sayısı, 36'ya yükselerek artış eğilimini sürdürmüştür.



Grafik 11: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Yıllara Göre Dağılımı

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Karayollarındaki buzlanmanın tespiti için birçok buzlama önleyici sistem; hava sıcaklığı, yüzey sıcaklığı, rüzgâr şiddeti, nispi nem ve bulutluluk gibi verileri gözlemleyerek risk düzeyini belirlemektedir. Dolayısıyla çalışma kapsamında bu veriler analize dahil edilmiş ve elde edilen bulgular aşağıda açıklanmıştır.

Araştırma sahasındaki karlı ve buzlu yol yüzeylerinde gerçekleşen kazaların saatlik meteoroloji verileri baz alındığında; ilgili kazalarda ortalama -3,7 hava sıcaklığı, -1,8 toprak sıcaklığı, 1,1 rüzgâr şiddeti, %80,0 nispi nem ve 4,9 bulutluluk değerleri elde edilmiştir. Standart sapma değerlerine bakıldığında ise Nispi Nem verisinde 12,8 değeriyle önemli bir farklılaşmanın olduğu görülmektedir. İlgili veriyi sırasıyla; sıcaklık (4,2), bulutluluk (2,8) ve toprak sıcaklığı (2,0) verileri takip etmektedir. Değerler arasında en az farklılaşmanın olduğu veriyi ise rüzgâr şiddeti (1,0) oluşturmaktadır. Verilerin daha iyi anlaşılabilmesi ve yorumlanabilmesi için mod değerleri önem arz etmektedir. Nitekim çalışma kapsamında kazaların en çok hangi saatlik meteorolojik veri değerlerinde tekrar ettiğini tespit etmek ve meydana gelmesi muhtemel kazaları önlemek için mod ve frekans değerlerinin bilinmesi büyük bir kolaylık sağlayacaktır. Kaza saatlerindeki meteoroloji verileri baz alındığında ilgili verilerin mod değerlerini; hava sıcaklığı -1,0 (frekans değeri:

8), toprak sıcaklığı -1,8 (frekans değeri: 12), rüzgâr şiddeti 0,5 (frekans değeri: 24), nispi nem 94,0 (frekans değeri: 11) ve bulutluluk 7,0 (frekans değeri: 67) oluşturmaktadır (Tablo 10).

Meteoroloji Verileri	Ortalama	Standart Sapma	Varyans	Mod	Medyan	Minimum Değer	Maksimum Değer	Ranj
Sıcaklık (°C)	-3,7	4,2	17,4	-1,0	-3,1	-17,9	8,4	26,3
10 cm Toprak Sıcaklığı (°C)	-1,8	2,0	4,1	-1,8	-1,8	-7,0	10,9	17,9
Rüzgâr Şiddeti (m/sn)	1,1	1,0	1,0	0,5	0,7	0,0	4,6	4,6
Nispi Nem (%)	80,0	12,8	164,9	94,0	82,0	51,0	99,0	48,0
Bulutluluk (8 okta)	4,9	2,8	7,7	7,0	6,0	0,0	8,0	8,0

Tablo 10: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlik Hava Durumu İstatistikleri

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Araştırma sahasında meydana gelen kazaların hangi veri değeri aralıklarında ve ne sıklıkta meydana geldiğini tespit etmek için ilgili meteoroloji verilerine frekans analizi uygulanmış, analiz sonucunda elde edilen bulgular aşağıda tablolar yardımıyla açıklanmaya çalışılmıştır. Kazaların gerçekleştiği hava sıcaklığı verileri baz alındığında; 3, 4, 5 ve 6. sınıf numaralarına sahip olan frekans gruplarının kazaların yaklaşık %88'ini oluşturduğu görülmektedir. Bu bağlamda -11,7 ile 0,6 °C hava sıcaklığı değer aralıklarında kazaların %88'inin gerçekleştiğini ifade etmek mümkündür (Tablo 11).

Sınıf Sayısı	Alt sınıf	Üst Sınıf	Sınıf Değeri	Frekans	Oran (%)
1	-17,9	-14,9	-16,4	1	0,6
2	-14,8	-11,8	-13,3	4	2,4
3	-11,7	-8,7	-10,2	24	14,5
4	-8,6	-5,6	-7,1	28	17,0
5	-5,5	-2,5	-4	53	32,1
6	-2,4	0,6	-0,9	41	24,8
7	0,7	3,7	2,2	9	5,5
8	3,8	6,8	5,3	3	1,8
9	6,9	9,9	8,4	2	1,2

Tablo 11: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlik Hava Sıcaklığı Frekans Değerleri

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Kazaların saatlik toprak sıcaklığı frekans değerlerine bakıldığında; 2, 3 ve 4. sınıf numaralarına sahip frekans gruplarında bir yoğunlaşma söz konusudur. Nitekim kazaların %91'i -4,9 ile 1,3 toprak sıcaklığı değer aralıklarında gerçekleşmiştir. Bu kazaların %71,6'sı ise -4,9 ile -0,8 değerleri arasında gerçekleşmiştir (Tablo 12).

Sınıf Sayısı	Alt sınıf	Üst Sınıf	Sınıf Değeri	Frekans	Oran (%)
1	-7	-5	-6	7	3,7
2	-4,9	-2,9	-3,9	44	23,5
3	-2,8	-0,8	-1,8	90	48,1
4	-0,7	1,3	0,3	36	19,3
5	1,4	3,4	2,4	9	4,8
6	3,5	5,5	4,5	0	0,0
7	5,6	7,6	6,6	0	0,0
8	7,7	9,7	8,7	0	0,0
9	9,8	11,8	10,8	1	0,5

Tablo 12: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlik Toprak Sıcaklığı Frekans Değerleri

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Kazaların saatlik rüzgâr şiddeti frekans değerleri incelendiğinde; 1 ve 2. sınıf numaralarına sahip frekans gruplarının kazaların %71,1'ini oluşturduğu görülmektedir. Bu kazalar, 0 ile 1,1 m/sn rüzgâr şiddeti değerleri arasında gerçekleşmiştir (Tablo 13). Buna ek olarak rüzgâr şiddeti veri grubunun mod değerine bakılarak burada farklı bir yorum da yapılabilir. Mevzubahis veri grubunda 0,5 değeri mod değerini teşkil etmektedir (frekans değeri: 24). Bu değer, alt sınıf değeri olarak alındığında ve frekans değerleri yüksek olan diğer değerler de bu gruba dahil edildiğinde 0,5 ile 2,1 m/sn rüzgâr şiddeti değerleri arasında 111 kazanın gerçekleştiği tespit edilmiştir (%59,3).

Sınıf Sayısı	Alt sınıf	Üst Sınıf	Sınıf Değeri	Frekans	Oran (%)
1	0	0,5	0,25	76	40,6
2	0,6	1,1	0,85	57	30,5
3	1,2	1,7	1,45	15	8,0
4	1,8	2,3	2,05	18	9,6
5	2,4	2,9	2,65	4	2,1
6	3	3,5	3,25	9	4,8
7	3,6	4,1	3,85	6	3,2
8	4,2	4,7	4,45	2	1,1

Tablo 13: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlik Rüzgâr Şiddeti Frekans Değerleri

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Kaza anındaki rüzgâr yönlerinin frekans değerlerine bakıldığında ise Batı (W) 25, Batı Kuzeybatı (WNW) 12, Kuzeybatı- Batı Kuzeybatı (NW-WNW) 8, Batı Güneybatı (WSW) 7, Batı- Batı Kuzeybatı (W-WNW) 7, Doğu (E) 7 en fazla tekrar eden rüzgâr yönlerini oluşturmaktadır.

Kazaların saatlik nispi nem frekans değerleri incelendiğinde; 7, 8 ve 9. sınıf numaralarına sahip frekans gruplarında bir yoğunlaşma söz konusudur (Tablo 14). Ancak diğer veri gruplarına nispeten nispi nem verisi frekans grupları arasında daha normal bir dağılım göstermektedir. Nitekim yoğunlaşmanın olduğu 3 frekans grubunun oransal değeri %50'nin altında kalmaktadır (48,7). Dolayısıyla çoğunluğu sağlamak için ilgili frekans gruplarına 10. frekans grubu da eklenmiştir. Netice itibarıyla kazaların, 81 ile 100 (%) nispi nem değerleri aralığında %56,7'sinin gerçekleştiği tespit edilmiştir.

Sınıf Sayısı	Alt sınıf	Üst Sınıf	Sınıf Değeri	Frekans	Oran (%)
1	51	55	53	8	4,3
2	56	60	58	7	3,7
3	61	65	63	16	8,6
4	66	70	68	18	9,6
5	71	75	73	17	9,1
6	76	80	78	15	8,0
7	81	85	83	31	16,6
8	86	90	88	23	12,3
9	91	95	93	37	19,8
10	96	100	98	15	8,0

Tablo 14: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlik Nispi Nem Frekans Değerleri

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Kazaların saatlik bulutluluk değerlerine incelendiğinde; 7, 8, 9 ve 1. sınıf numaralarına sahip frekans grupları, en fazla frekans değerine sahip grupları oluşturmaktadır. Nitekim kazaların %60,4'ü 6 ile 8,9 bulutluluk değeri arasında gerçekleşmiştir (Tablo 15). Kazaların 34'ü ise 0 ile 0,9 bulutluluk değerleri arasında meydana gelmiştir (%18,2).

Sınıf Sayısı	Alt sınıf	Üst Sınıf	Sınıf Değeri	Frekans	Oran (%)
1	0	0,9	0,45	34	18,2
2	1	1,9	1,45	1	0,5
3	2	2,9	2,45	10	5,3
4	3	3,9	3,45	7	3,7
5	4	4,9	4,45	8	4,3
6	5	5,9	5,45	14	7,5
7	6	6,9	6,45	30	16,0
8	7	7,9	7,45	67	35,8
9	8	8,9	8,45	16	8,6

Tablo 15: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Saatlik Bulutluluk Frekans Değerleri

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Mevzubahis meteoroloji verileri buzlanma nedeniyle meydana gelen kazaların tespiti için önem arz etmektedir. Ancak ilgili kazalar, buzlanmadan farklı sis vb. birçok neden sonucunda gerçekleşmiş olabilir. Dolayısıyla aynı gün içerisinde buzlu ve karlı yol yüzeyinde tekrar eden kazaların irdelenmesinin daha doğru sonuçların elde edilmesine olanak sağlayacağı düşünülmektedir. Bu bağlamda buzlanma nedeniyle meydana gelen kazaların hava durumu verileriyle olan ilişkisini açıklayabilmek için aynı gün içerisinde meydana gelen (4 ve üzeri) kazaların saatlik hava durumu değerleri ele alınmıştır.

Aynı gün içerisinde tekrar eden kaza verilerini; 11.02.2017, 01.03.2018, 27.02.2019 ve 18.03.2020 tarihlerinde meydana gelen kazalar oluşturmaktadır. İlgili günlerde; 18.03.2020 tarihinde 5 kaza ve diğer 3 günde aynı gün içerisinde 4 kaza olmak üzere toplamda 17 kaza gerçekleşmiştir. Bu kazaların gerçekleştiği saatler ile hava sıcaklığı (°C), rüzgâr şiddeti (m/sn), 10 cm toprak sıcaklığı (°C), bulutluluk (8 okta) ve bağıl nem (%) gibi saatlik meteoroloji verileri analiz edilmiştir. Elde edilen bulgular, aşağıda grafik ve tablolar yardımıyla açıklanmaya çalışılmıştır.

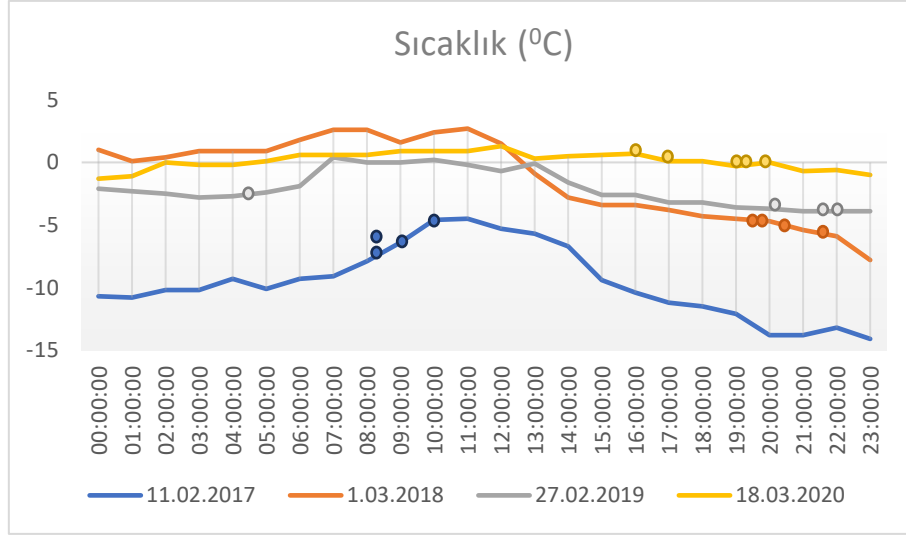
Hava sıcaklığı verisi ile kaza saatleri ele alındığında, kazaların çoğunlukla -8 °C ile 0 °C arasında dağılışı gösterdiği görülmektedir. Nitekim sadece 18.03.2020 tarihindeki 16 ve 17:00 saatlerindeki 2 kazanın (sırasıyla 0,7 ve 0,1) 0 °C'nin üzerinde gerçekleştiği

görülmektedir (Tablo 16). Kazaların gerçekleşmeden önceki sıcaklık grafikleri göz önünde bulundurulduğunda ise 11.02.2017 tarihindeki kazaların sıcaklık değerlerinde bir artış söz konusu iken, diğer günlerdeki kazaların ise sıcaklık değerlerindeki ani bir düşüşten yaklaşık 3-4 saat sonra gerçekleştiği tespit edilmiştir. Örneğin 01.03.2018 tarihindeki sıcaklık grafiği göz önüne alındığında; 11:00 ile 14:00 arasında sıcaklık değeri 2,7 °C'den -2,8 °C (fark 5,5 °C)'ye düşmüştür. Sonrasındaki süreçte sıcaklık değerlerindeki bu düşüş devam etmiş ve ilki 19:30'da olmak üzere 19:30-21:30 saatleri arasında art arda 4 kaza meydana gelmiştir. İlgili gündeki kazaların -4,5 °C ila -5,9 °C sıcaklık değerleri arasında gerçekleştiği görülmektedir. 27.02.2019 ve 18.03.2020 tarihlerindeki sıcaklık grafikleri incelendiğinde ise kazalardan yaklaşık 3 saat öncesine kadar sıcaklık değerlerinde sırasıyla 2,5 °C ve 1 °C'lik düşüşler gözlemlenmiştir. Genel olarak kazaların gerçekleşme esnasında ve öncesindeki sıcaklık grafiklerine bakıldığında 2-3 saatlik zaman dilimindeki ani sıcaklık düşüşlerinden sonra kazaların gerçekleştiği görülmektedir (Grafik 12). Dolayısıyla kazaların gerçekleşmesinde ani sıcaklık düşüşünün, belirleyici etken bir faktör olduğu ifade edilebilir.

Tarih Saat	11.02.2017	01.03.2018	27.02.2019	18.03.2020	Tarih Saat	11.02.2017	01.03.2018	27.02.2019	18.03.2020
0	-10,7	1	-2,1	-1,3	12	-5,3	1,5	-0,7	1,3
1	-10,8	0,1	-2,3	-1,1	13	-5,7	-0,9	-0,1	0,3
2	-10,2	0,4	-2,5	0	14	-6,7	-2,8	-1,6	0,5
3	-10,2	0,9	-2,8	-0,2	15	-9,4	-3,4	-2,6	0,6
4	-9,3	0,9	-2,7*	-0,2	16	-10,4	-3,4	-2,6	0,7*
5	-10,1	0,9	-2,4	0,1	17	-11,2	-3,8	-3,2	0,1*
6	-9,3	1,8	-1,9	0,6	18	-11,5	-4,3	-3,2	0,1
7	-9,1	2,6	0,4	0,6	19	-12,1	-4,5*	-3,6	-0,3*
8	-7,9*	2,6	0	0,6	20	-13,8	-4,7*	-3,7*	0*
9	-6,4*	1,6	0	0,9	21	-13,8	-5,4*	-3,9*	-0,7
10	-4,6*	2,4	0,2	0,9	22	-13,2	-5,9*	-3,9*	-0,6
11	-4,5	2,7	-0,2	0,9	23	-14,1	-7,8	-3,9	-1

Tablo 16: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Hava Sıcaklığı (°C) Değerleri

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır (*: Trafik kazalarını temsil etmektedir).



Grafik 12: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Hava Sıcaklığı (°C) Grafiği

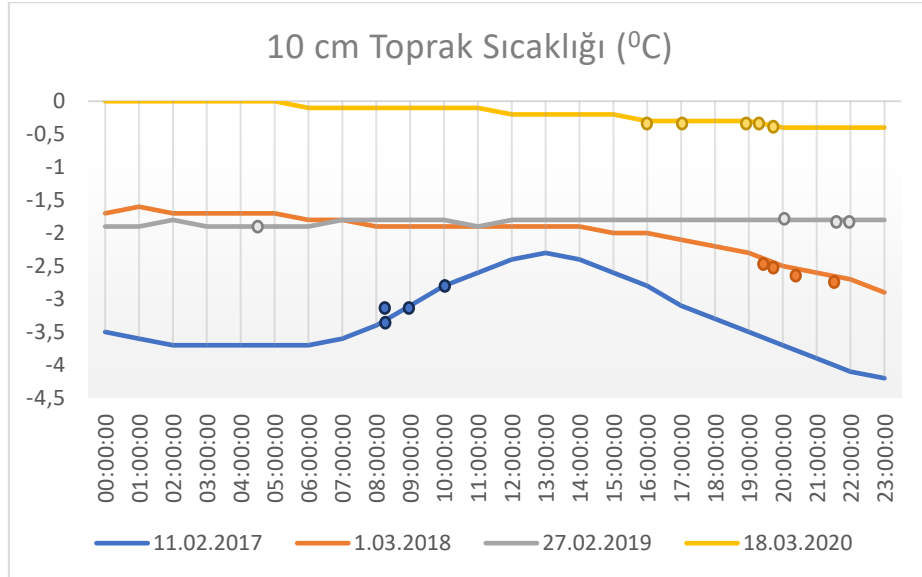
Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

10 cm toprak sıcaklığı verisi ile kaza saatleri karşılaştırıldığında; kazaların -0,3 °C ile -3,4 °C arasında dağılış gösterdiği görülmektedir. İlgili 17 kaza verisinden 12'si ise -1,8 °C ile -3,4 °C arasında meydana gelmiştir (Tablo 17). Kazaların gerçekleştiği günlerdeki toprak sıcaklığı değerlerine bakıldığında ise 01.03.2018 ve 18.03.2020 tarihlerindeki kazaların toprak sıcaklığı değerlerinde düşüş yaşanırken gerçekleştiği görülmüştür. 11.02.2017 tarihindeki kazalar ise hava durumu sıcaklığında olduğu gibi değerlerde artış gözlenirken gerçekleşmiştir. 27.02.2019 tarihindeki toprak sıcaklığı grafiğinde ise kaza anındaki değerlerde küçük değişiklikler (fark 0,1) gözlenmiştir. Nitekim ilgili günün toprak sıcaklığı grafiğine bakıldığında; grafik değerlerinde herhangi bir dalgalanmanın olmadığı ve sabit değerler gösterdiği açıktır. Kazaların gerçekleşme saatinden önceki sürece bakıldığında hava durumu sıcaklığındaki gibi değerlerde düşüş gözlemlense de ani düşüşlerin yaşanmadığı görülmektedir (Grafik 13). Ancak yine de toprak sıcaklığı değerlerinin 0 °C'nin altına düştüğü durumlarda kazaların gerçekleşme sıklığının arttığını ifade etmek mümkündür.

Tarih Saat	11.02.2017	01.03.2018	27.02.2019	18.03.2020	Tarih Saat	11.02.2017	01.03.2018	27.02.2019	18.03.2020
0	-3,5	-1,7	-1,9	0	12	-2,4	-1,9	-1,8	-0,2
1	-3,6	-1,6	-1,9	0	13	-2,3	-1,9	-1,8	-0,2
2	-3,7	-1,7	-1,8	0	14	-2,4	-1,9	-1,8	-0,2
3	-3,7	-1,7	-1,9	0	15	-2,6	-2	-1,8	-0,2
4	-3,7	-1,7	-1,9*	0	16	-2,8	-2	-1,8	-0,3*
5	-3,7	-1,7	-1,9	0	17	-3,1	-2,1	-1,8	-0,3*
6	-3,7	-1,8	-1,9	-0,1	18	-3,3	-2,2	-1,8	-0,3
7	-3,6	-1,8	-1,8	-0,1	19	-3,5	-2,3*	-1,8	-0,3*
8	-3,4*	-1,9	-1,8	-0,1	20	-3,7	-2,5*	-1,8*	-0,4*
9	-3,1*	-1,9	-1,8	-0,1	21	-3,9	-2,6*	-1,8*	-0,4
10	-2,8*	-1,9	-1,8	-0,1	22	-4,1	-2,7*	-1,8*	-0,4
11	-2,6	-1,9	-1,9	-0,1	23	-4,2	-2,9	-1,8	-0,4

Tablo 17: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik 10 cm Toprak Sıcaklığı (°C) Değerleri

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır (*: Trafik kazalarını temsil etmektedir).



Grafik 13: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik 10 cm Toprak Sıcaklığı (°C) Grafiği

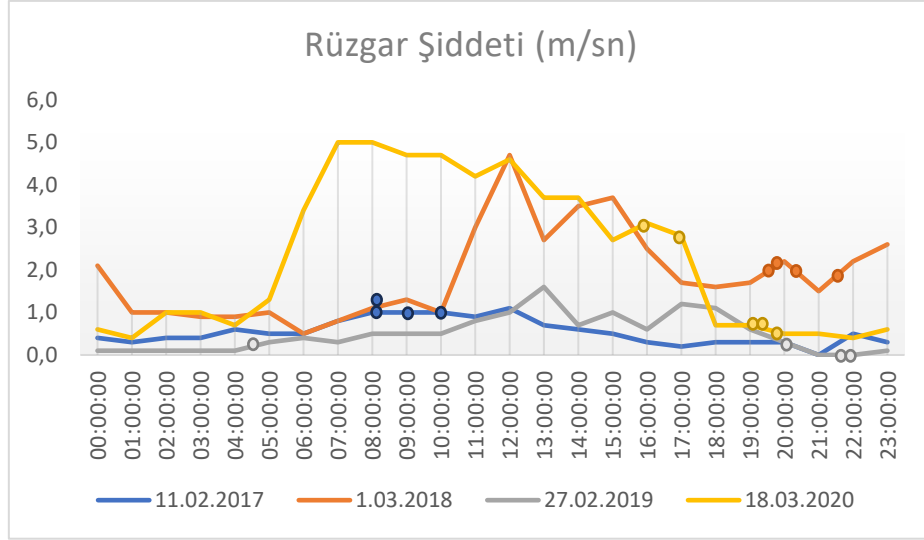
Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Rüzgâr şiddeti verisi ile kaza saatleri karşılaştırıldığında; 17 kazadan 12'sinin 1,0 ve üzeri rüzgâr şiddetinde gerçekleştiği görülmektedir. 27.02.2019 tarihindeki kazalar hariç diğer günlerdeki kazaların geneli rüzgâr şiddetinde bir artışın söz konusu olduğu durumda gerçekleşmiştir. Nitekim 11.02.2017 tarihindeki rüzgâr şiddeti değerleri göz önünde bulundurulduğunda; kaza saatinden 2 saat öncesine kadar rüzgâr şiddeti 0,5 m/sn iken kaza anında 1,0 m/sn olarak ölçülmüştür (Tablo 18). Benzer olarak 18.03.2018 tarihinde kaza saatinden 1 saat öncesine kadar rüzgâr şiddeti 2,7 iken kaza anında bu değer 0,4 artarak 3,1 olarak gözlemlenmiştir. Aynı şekilde 01.03.2018 tarihindeki rüzgâr şiddeti değerleri incelendiğinde; değerlerin artış eğiliminde olduğu durumda kazaların gerçekleştiğini ifade etmek mümkündür. Rüzgâr şiddeti verilerinin yer aldığı grafikten de anlaşılabileceği üzere değerler çok fazla dalgalanma göstermektedir (Grafik 14). Bu nedenle rüzgâr şiddeti ile kazalar arasında net bir bağlantı kurulamamaktadır. Ancak kaza anındaki rüzgâr şiddeti değerlerinin dağılım oranı göz önünde bulundurulduğunda 1,0 m/sn rüzgâr şiddeti eşik değeri olarak tanımlanabilir.

Tarih Saat	11.02.2017	01.03.2018	27.02.2019	18.03.2020	Tarih Saat	11.02.2017	01.03.2018	27.02.2019	18.03.2020
0	0,4	2,1	0,1	0,6	12	1,1	4,7	1,0	4,6
1	0,3	1,0	0,1	0,4	13	0,7	2,7	1,6	3,7
2	0,4	1,0	0,1	1	14	0,6	3,5	0,7	3,7
3	0,4	0,9	0,1	1	15	0,5	3,7	1,0	2,7
4	0,6	0,9	0,1*	0,7	16	0,3	2,5	0,6	3,1*
5	0,5	1,0	0,3	1,3	17	0,2	1,7	1,2	2,8*
6	0,5	0,5	0,4	3,4	18	0,3	1,6	1,1	0,7
7	0,8	0,8	0,3	5	19	0,3	1,7*	0,6	0,7*
8	1,0*	1,1	0,5	5	20	0,3	2,2*	0,3*	0,5*
9	1,0*	1,3	0,5	4,7	21	0,0	1,5*	0,0*	0,5
10	1,0*	1,0	0,5	4,7	22	0,5	2,2*	0,0*	0,4
11	0,9	3,0	0,8	4,2	23	0,3	2,6	0,1	0,6

Tablo 18: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Rüzgâr Şiddeti (m/sn) Değerleri

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır (*: Trafik kazalarını temsil etmektedir).



Grafik 14: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Rüzgâr Şiddeti (m/sn) Grafiği

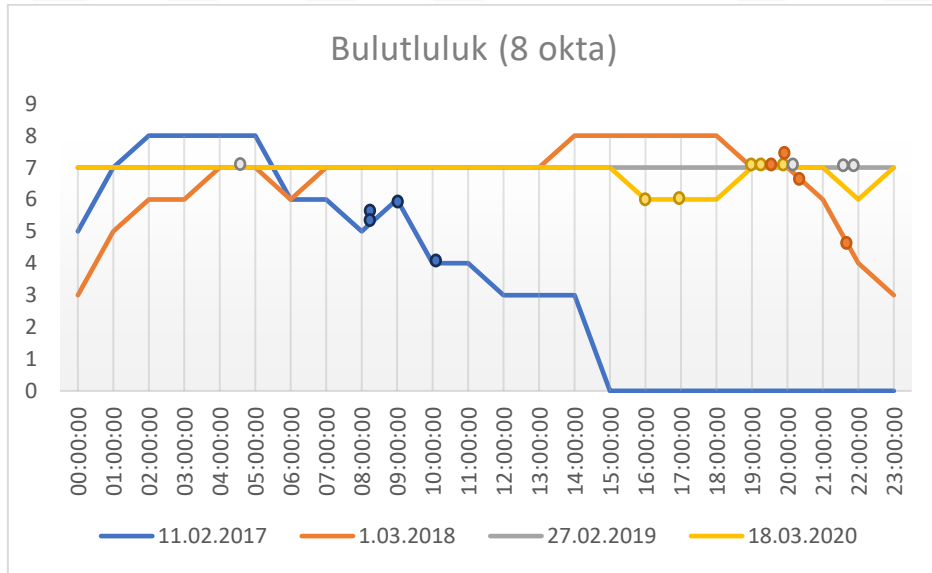
Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Kaza anındaki bulutluluk değerleri göz önünde bulundurulduğunda; bu değerlerin 4-7 okta arasında değiştiği görülmektedir (Tablo 19). Bulutluluk grafiğinin günlük zaman dilimindeki seyrine bakıldığında ise kazalar ile bulutluluk değerindeki farklılık (artış veya azalış) arasında herhangi bir ilişki kurulamamıştır (Grafik 15). Ancak ele alınan 17 kazadan 14'ünün (%82) bulutluluk değeri kaza anında 6 ve üzeri olarak ölçülmüştür. Bu kazalardan 9'unun ise bulutluluk değeri 7 olarak gözlemlenmiştir. Kaza anındaki bulutluluk değerlerini içeren veriler ışığında; gökyüzünün en az %50 oranında (4 okta) bulutlarla kaplı olduğu durumda kazaların gerçekleşme ihtimalinin arttığını ifade etmek mümkündür. Ayrıca 6 okta değerinin ise kazaların yoğunlaşmaya başladığı bir eşik değer olarak tanımlanması mümkündür.

Tarih Saat	11.02.2017	01.03.2018	27.02.2019	18.03.2020	Tarih Saat	11.02.2017	01.03.2018	27.02.2019	18.03.2020
0	5	3	7	7	12	3	7	7	7
1	7	5	7	7	13	3	7	7	7
2	8	6	7	7	14	3	8	7	7
3	8	6	7	7	15	0	8	7	7
4	8	7	7*	7	16	0	8	7	6*
5	8	7	7	7	17	0	8	7	6*
6	6	6	7	7	18	0	8	7	6
7	6	7	7	7	19	0	7*	7	7*
8	5*	7	7	7	20	0	7*	7*	7*
9	6*	7	7	7	21	0	6*	7*	7
10	4*	7	7	7	22	0	4*	7*	6
11	4	7	7	7	23	0	3	7	7

Tablo 19: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Bulutluluk (8 okta) Değerleri

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır (*: Trafik kazalarını temsil etmektedir).



Grafik 15: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Bulutluluk (8 okta) Grafiği

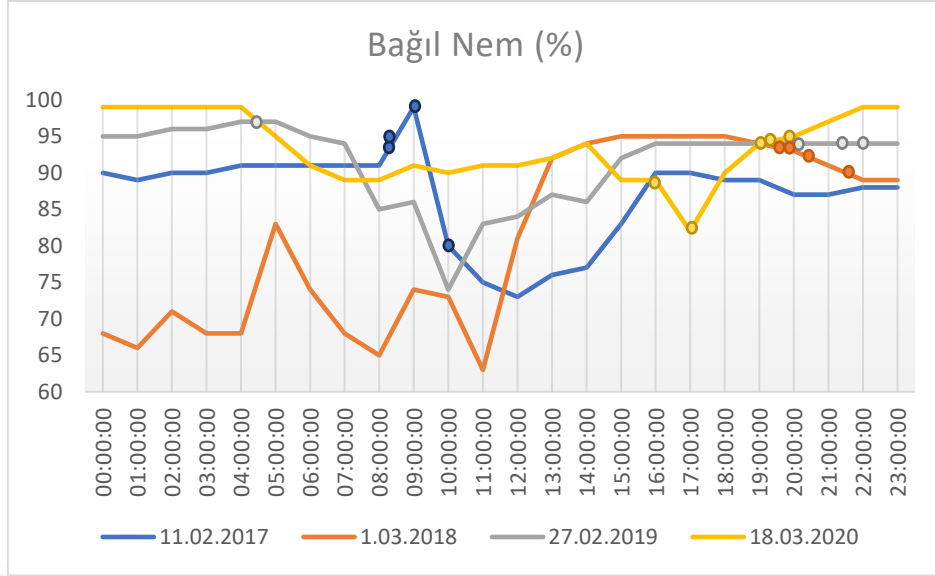
Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Saatlik bağıl nem değerleri ile kaza saatleri baz alındığında; kaza anındaki bağıl nem değerlerinin %80 ila 99 arasında değiştiği görülmektedir. Bağıl nem değerlerinin yer aldığı grafik seyri incelendiğinde kazaların büyük bir çoğunluğunun bağıl nem değerindeki ani bir artış esnasında veya sonrasındaki süreçte gerçekleştiğini ifade etmek mümkündür (Grafik 16). Nitekim 01.03.2018 tarihindeki bağıl nem değerleri incelendiğinde kaza gerçekleşmeden önce öğlen saatlerinde (11-13.00) bağıl nem değerinde %29'luk bir artış meydana gelmiştir. Benzer olarak 27.02.2019 tarihinde ise art arda 3 kaza gerçekleşmeden önce 10-13.00 saatleri arasında bağıl nem değerinde %13'lük bir artış gözlemlenmiştir. Aynı şekilde 18.03.2020 tarihinde art arda gerçekleşmiş olan 3 kazanın hemen öncesinde 17-19.00 saatleri arasında bağıl nem değerinde %13'lük bir artış söz konusu olmuştur. Saatlik bağıl nem verileriyle farklı tarihlerde gerçekleşen fakat aynı gün içerisinde birçok kez tekrar eden 17 kaza incelendiğinde; %89 bağıl nem değeri eşik değeri olarak kabul edilebilir. Nitekim bu değerin altında sadece 2 kaza (%80 ve %82) gerçekleşmiştir (Tablo 20).

Tarih Saat	11.02.2017	01.03.2018	27.02.2019	18.03.2020	Tarih Saat	11.02.2017	01.03.2018	27.02.2019	18.03.2020
0	90	68	95	99	12	73	81	84	91
1	89	66	95	99	13	76	92	87	92
2	90	71	96	99	14	77	94	86	94
3	90	68	96	99	15	83	95	92	89
4	91	68	97*	99	16	90	95	94	89*
5	91	83	97	95	17	90	95	94	82*
6	91	74	95	91	18	89	95	94	90
7	91	68	94	89	19	89	94*	94	94*
8	91*	65	85	89	20	87	93*	94*	95*
9	99*	74	86	91	21	87	91*	94*	97
10	80*	73	74	90	22	88	89*	94*	99
11	75	63	83	91	23	88	89	94	99

Tablo 20: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Bağıl Nem (%) Değerleri

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır (*: Trafik kazalarını temsil etmektedir).



Grafik 16: Kazaların Yoğunlaştığı Günlerdeki Saatlik Bağıl Nem (%) Grafiği

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü ve Meteoroloji Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak hazırlanmıştır.

Erzurum kent merkezinde 21-22 Mart 2024 tarihlerinde etkili olan kar yağışı ve soğuk hava, kent genelindeki yollarda buzlanmaya sebep olmuş ve 48 aracın karıştığı 17 ayrı trafik kazasında 12 kişi yaralanmıştır (Fotoğraf 1, 2). Refik Saydam Caddesi'nde meydana gelen zincirleme trafik kazasında ise 9 kişi yaralanmıştır (NTV, 24 Mart 2024).



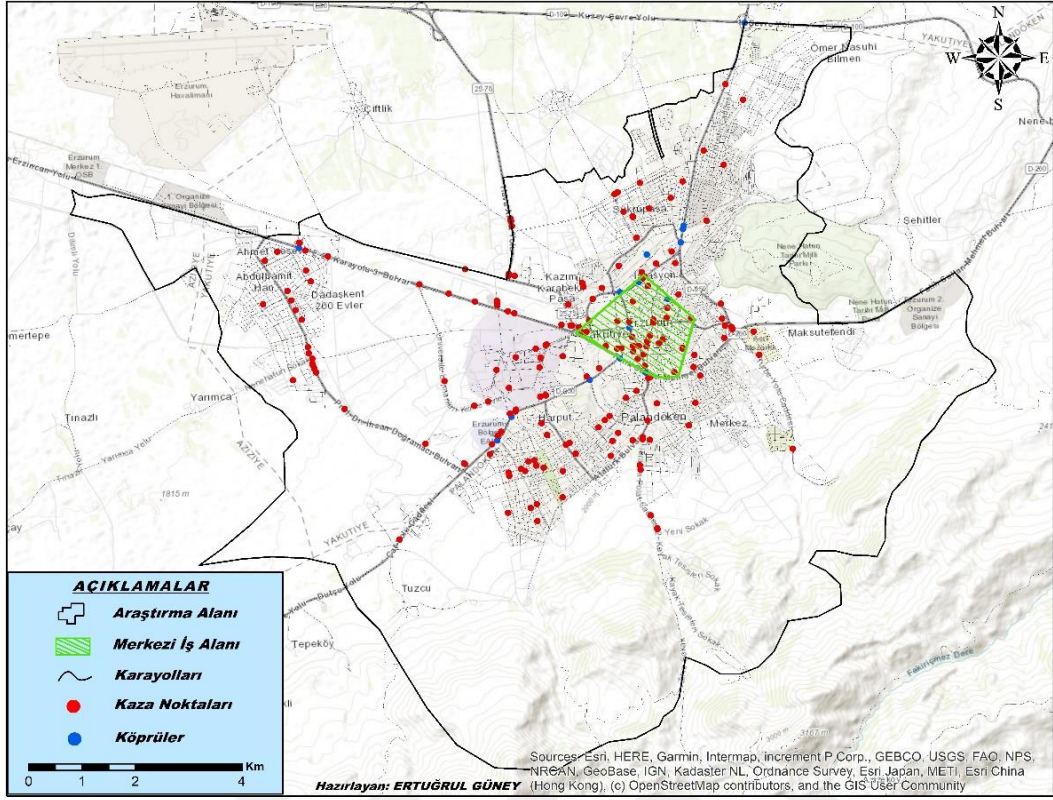
Fotoğraf 1: Refik Saydam Caddesinde Meydana Gelen Zincirleme Trafik Kazası
(22.03.2024)

Kaynak: Milliyet, “Erzurum’da Buzlanma Kazayı Beraberinde Getirdi 30 Araç Birbirine Girdi”. Erişim 24 Mart 2024. <https://www.milliyet.com.tr/gundem/erzurumda-buzlanma-kazayi-beraberinde-getirdi-30-arac-birbirine-girdi-7100252> ve Gazete Duvar, “Erzurum’da Buzlanma 48 Aracın Karıştığı 17 Kazada 12 Kişi Yaralandı”. Erişim 24 Mart 2024. <https://www.gazeteduvar.com.tr/erzurumda-buzlanma-48-aracin-karistigi-17-kazada-12-kisi-yaralandi-haber-1678544>

3.2. Kazaların Mekânsal Analizi

3.2.1. Kaza Risk Düzeyinin Belirlenmesi

2017-2022 yılları arasında karlı ve buzlu yol yüzeylerinde meydana gelen kaza noktalarının dağılımları incelendiğinde araştırma sahasının merkezinde bir yoğunlaşmanın olduğu ifade edilebilir (Harita 10). Nitekim kazaların merkez noktası, yoğunlaşmanın olduğu alana oldukça yakındır. Trafik kazalarındaki bu yoğunlaşmada; iş merkezlerinin yoğunluk gösterdiği ve hareketliliğin sürekli olarak yaşandığı Merkezi İş Alanının etkili olduğu söylenebilir. Yaralı sayısı ağırlıklandırılarak elde edilmiş olan Kernel yoğunluk analizi haritasına bakıldığında; kaza riskinin yüksek olduğu belirgin 3 nokta göze çarpmaktadır. Bu noktalardan en belirgin olanı daha önce de bahsedilen araştırma sahasının merkezinde yer alan bölgedir (Harita 11). İlgili riskli bölge, Muratpaşa Mahallesinin neredeyse tamamını kapsamaktadır. Rabiana Mahallesinin ise Hasanbasrı ve Taşmescit’in batıda kalan kesimini bu riskli bölge içerisine dahil etmek mümkündür.



Harita 10: Araştırma Sahasındaki Kaza Noktalarının Dağılışı

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

Muratpaşa Mahallesi'nde kaza riski yüksek olan güzergahları; Saray Bosna Caddesi (3 kaza), Atatürk Bulvarı (3 kaza, Fotoğraf 2, 3) ve Merkez Yönetim Caddesi (2 kaza) oluşturmaktadır. Bu mahalledeki diğer riskli güzergahları ise 3. Hacı Ahmet Sokak, Vaniefendi Caddesi, İsmetpaşa Caddesi, Köşk Caddesi ve Sigorta Sokak oluşturmaktadır. Rabiana Mahallesi'nde ise riskli güzergahları; Palandöken Caddesi (2 kaza) ve Yenikapı Caddesi (1 kaza, Fotoğraf 4) oluşturmaktadır.



Fotoğraf 2: Muratpaşa Mahallesi Atatürk Bulvarında Meydana Gelen Trafik Kazası
(22.03.2024)

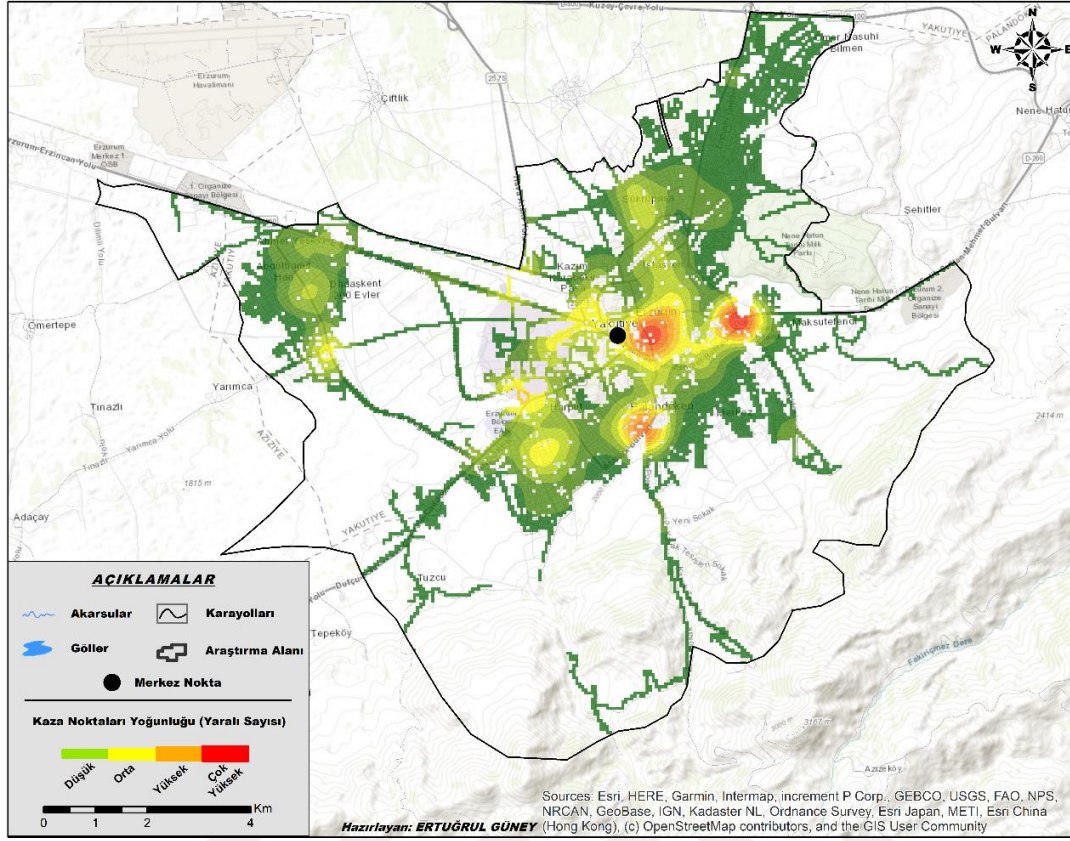
Kaynak: Gazete Duvar, “Erzurum’da Buzlanma 48 Aracın Karıştığı 17 Kazada 12 Kişi Yaralandı”.
Erişim 24 Mart 2024. <https://www.gazeteduvar.com.tr/erzurumda-buzlanma-48-aracin-karistigi-17-kazada-12-kisi-yaralandi-haber-1678544>

Yüksek riskli lokasyonlardan bir diğerini ise Abdurrahman Gazi Yolu Caddesi ile Erzurum-Ağrı Transit karayolunun kesiştiği kavşak oluşturmaktadır. Bu bölgedeki yüksek riskli güzergahları; Ahmet Yesevi Caddesi (2 kaza) ve Erzurum-Ağrı Karayolu (1 kaza) oluşturmaktadır. Ek olarak kavşak çevresinde birçok kaza meydana gelmiştir. Nitekim kavşak merkezinden çapı 800 m olan bir daire çizildiğinde, bu daire sınırları içerisinde 7 kazanın yer aldığı görülmektedir.



Fotoğraf 3: Mustafa Durak Sakarya Köprülü Kavşağında Meydana Gelen Buzlanma
(30.03.2023)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.



Harita 11: Araştırma Sahasında Meydana Gelen Kazaların Kernel Yoğunluk Analizi

Kaynak: Emniyet Genel Müdürlüğü verilerinden yararlanılarak yazar tarafından hazırlanmıştır.

Sonuncu yüksek riskli lokasyonu ise İbrahim Polat Caddesi (Palandöken Yolu) ile Atatürk Bulvarı'nın kesiştiği kavşak oluşturmaktadır. Bu bölgedeki yüksek riskli güzergahları; İbrahim Polat Caddesi (4 kaza) ve Atatürk Bulvarı (2 kaza) oluşturmaktadır. İlgili bölgedeki dikkate değer diğer riskli güzergahları ise Zübeyde Hanım Caddesi (2 kaza), Ebu İshak Caddesi (2 kaza) ve Mimar Sinan Caddesi (1 kaza) teşkil etmektedir.

Risk düzeyine göre orta derecede riskli lokasyonları ise; Üniversite Kavşağı, Şehir Hastanesi Kavşağı, Adnan Menderes Mahallesi'ndeki Yaren Sokak ve yakın çevresi, Kazım Karabekir Stadyumu Kavşağı, Havaalanı Yolu (Recep Tayyip Erdoğan Fuar Alanı önündeki kavşak) ve Dadaşkent Semtindeki Prof. Dr. İhsan Doğramacı Bulvarı oluşturmaktadır. Bu lokasyonlara ek olarak Refik Saydam Caddesi (6 kaza) ve devamında Çat Yolu Caddesi (4 kaza) üzerinde kayda değer sayıda kaza tespit edilmiştir.



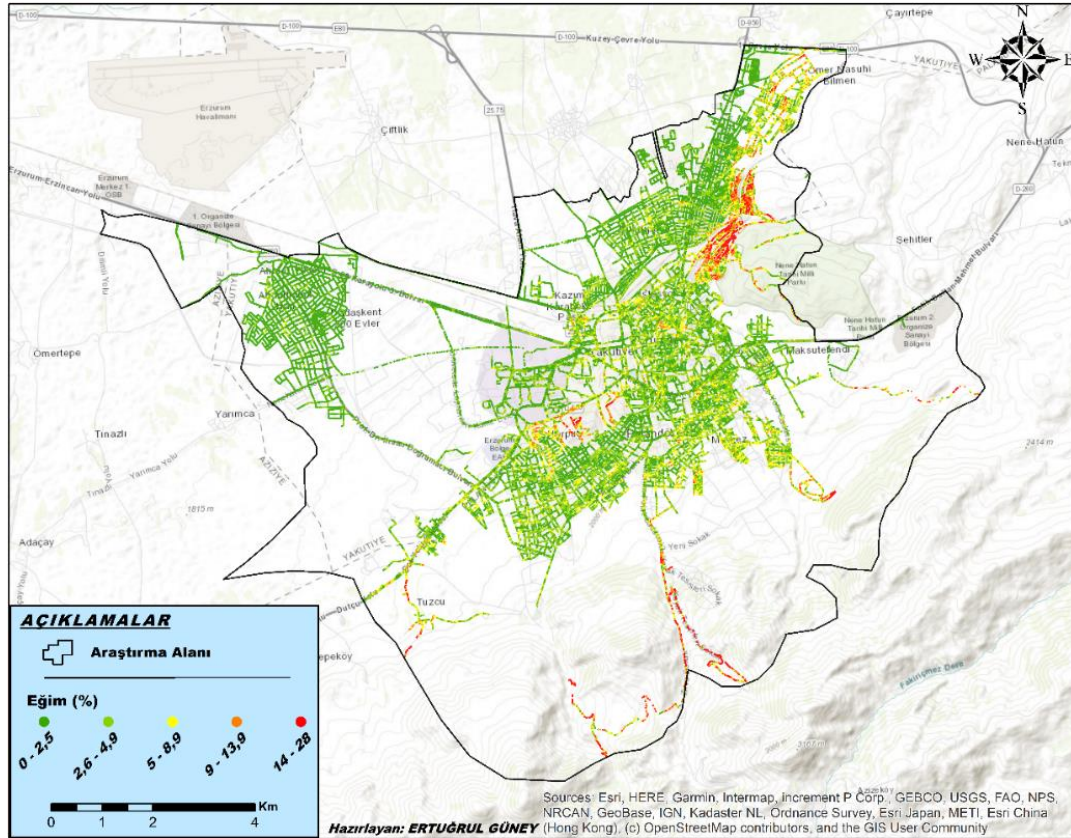
Fotoğraf 4: Rabia Ana Mahallesi Yenikapı Caddesinde Meydana Gelen Trafik Kazası
(17.12.2023)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Burada bahsedilmesi gereken bir diğer husus ise Erzurum-Erzincan Karayolu (Dadaşkent Yolu) ve Erzurum-Bingöl Karayolu (Refik Saydam ve Çat Yolu Caddesi) gibi güzergahların, rüzgarların buzlanma üzerindeki etkisine oldukça açık olmasıdır. Nitekim bu güzergahlar, rüzgarların etkinliğini önleyici beşerî unsurlardan yoksundur. Dolayısıyla rüzgâr frekansının ve şiddetinin yüksek olduğu gün ve saatlerde hava koşullarının da buzlanmaya uygun olduğu durumlarda ilgili güzergahlarda buzlanma riskinin yüksek olduğu söylenilebilir.

Araştırma sahasında vuku bulan kazaların sıcak nokta analizi incelendiğinde, %95 güven aralığındaki sıcak noktaları; Havaalanı Yolu (Recep Tayyip Erdoğan Fuar Alanı önündeki kavşak, ETÜ-YÜTAM önündeki kavşak), Erzurum-Dadaşkent Yolu (Kazım Karabekir Stadyumu kavşağı, Atatürk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi ile Dadaşkent yolunu birbirine bağlayan kavşak) ve son olarak Erzurum Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Şantiyesi'ne bağlanan tali yol ile Somunoğlu Caddesi'nin kesişim noktası oluşturmaktadır (Harita 12).

Kazaların %90 güven aralığındaki sıcak noktalarını; Org. Selahattin Demircioğlu Caddesi (Fuar Alanı Yolu Kavşağı ve Kazım Karabekir Sokak ayrım noktası), Atatürk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yolu ile Şehir Hastanesi Yolunu birbirine bağlayan kavşak noktası oluşturmaktadır.



Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Bakı faktörü güneşlenme süresini ve radyasyon şiddetini doğrudan etkilemektedir. Burada beşerî unsurlar da güneşlenme süresinde önemli bir etken olarak görülebilir. Ancak ilgili çalışma, daha detaylı bir araştırmayı gerekli kılmaktadır. Bundan dolayı saha hakkında genel bir izlenim sağlamak için beşerî unsurlar göz ardı edilmiş, sadece morfolojik özellikler bakı analizine dahil edilmiştir.



Fotoğraf 5: Muratpaşa Mahallesinde Eğimli Yollarda Meydana Gelen Trafik Kazaları
(18.12.2023)

Kaynak: Erzurumlular, Erişim 18 Aralık 2023. <http://www.erzurumlular.com.tr/>



Fotoğraf 6: Muratpaşa Mahallesi 3. Hacı Ahmet Sokaktaki Eğim Derecesi Yüksek
Yollar (17.12.2023)

Kaynak: Yazar tarafından oluşturulmuştur.

Araştırma sahasındaki ulaşım akslarının bakı durumu incelendiğinde; kuzey yönlü yolların çoğunlukta olduğunu fark etmek mümkündür (Harita 14). Dolayısıyla bu durum,

sağanın etkin bir şekilde güneş radyasyonundan yararlanamadığını gözler önüne sermektedir. Ancak güney yönlü bazı ulaşım aksları da mevcuttur. Bu yolları; tepelik alanların güney yamaçlarındaki ulaşım ağı, Dadaşkent ve Hilalkent semtlerinde bulunan bazı yollar oluşturmaktadır. Nitekim Gaziler ve Şehitler Semtlerindeki tepelik alanların güneye bakan yamaçları güneş radyasyonundan etkili bir şekilde yararlanabilmektedir. Ayrıca eğim değerleri 0'a yakın alanlar da diğer alanlara nispeten güneş radyasyonundan etkili bir şekilde yararlanmaktadır. Bahsi geçen özellikteki ulaşım ağlarına, Dadaşkent ve Hilalkent semtlerinin bazı kesimlerinde rastlanmaktadır.

Harita 14: Araştırma Sahasındaki Karayollarının Bakı Haritası

Ulaşım akslarındaki bakı durumunun güney yönlü bir özellik göstermesi, mevzubahis yollarda güneşlenme süresini arttıracak ve nispeten bu yollardaki sıcaklık değerleri ortalamanın üzerinde olacaktır. Bu yüzden araştırma sahasındaki yolların bakı durumunun analize dahil edilmesi çalışma kapsamında önem arz etmektedir.

SONUÇ

Erzurum kent merkezinin iklim ve coğrafi özellikleri göz önünde bulundurulduğunda buzlanma nedeniyle meydana gelebilecek kazalara son derece müsait bir ortam mevcuttur. Nitekim Erzurum, Doğu Anadolu Bölgesinin en yüksek irtifaya sahip yerleşmelerinden birini teşkil etmektedir. Yükselti faktörünün yanında Erzurum kenti, iklim özellikleri bakımından oldukça uzun ve sert kış koşullarının yaşandığı bir yerleşme özelliği göstermektedir. Çalışma kapsamında kış mevsiminde (karlı ve buzlu yol yüzeylerinde) gerçekleşmiş olan kazaların irdelenmesi, risk düzeyi yüksek olan bölge ve güzergahların belirlenmesi için önem arz etmektedir. Bu bölge ve güzergahların tespiti gerçekleştirildikten sonra çalışmanın amacına ulaşabilmesi ve kazaların önlenmesi için gerekli çalışmaların da titizlikle yürütülmesi gerekmektedir.

Kazaların aylık ve saatlik dağılımlarına bakıldığında; kazaların en fazla gerçekleştiği ay olarak Ocak ayı (69) öne çıkmaktadır (Aralık: 49 ve Şubat: 36). Günlük zaman dilimlerine göre kazalar sınıflandırıldığında ise güneşin radyasyon etkinliğini yitirdiği gece saatlerinde (18.00-05.59) 107 kaza tespit edilmiştir (%56). Bu kazaların 69'u ise 18.00-23.59 saatleri arasında gerçekleşmiştir. Elde edilen bulgular neticesinde Ocak ayı ve 18.00-05.59 saatleri zamansal boyutta dikkat edilmesi gereken bir kara nokta olarak atfedilebilir.

Kazaların saatlik meteoroloji verilerine uygulanan frekans analizi göz önünde bulundurulduğunda, ilgili kazaların büyük bir çoğunluğu; -11,7 ile 0,6 hava sıcaklığı (%88), -4,9 ile -0,8 toprak sıcaklığı (%71,6), 0,5 ile 2,1 rüzgâr şiddeti (%59,3), 81 ile 99 nispi nem (%56,7), 6 ile 8,9 bulutluluk (%60,4) değer aralıklarında meydana gelmiştir. Bunlara ek olarak kazaların yoğunlaştığı günlerdeki değerler de burada paylaşılabılır. Mevzubahis kazalardaki değer aralıkları ve veri grubu içerisindeki yüzdesel ağırlıklar; hava sıcaklığı 0 ile -8 (%88), toprak sıcaklığı -1,8 ile -3,4 (%70), rüzgar şiddeti 1,0 ile 3,1 (%70), nispi nem 89 ile 99 (%88) ve bulutluluk 6 ile 7 (%82) şeklindedir. Ayrıca kaza günlerinin sıcaklık grafiği incelendiğinde, kazaların ani bir sıcaklık düşüşü sonrasındaki süreçte gerçekleştiği tespit edilmiştir. İlgili değer aralıkları kaza riskini önceden tahmin edebilmek için meteorolojik bir ölçüt olarak kullanılabilir. Bu veriler yardımıyla risk tahmini yapılabilir ve gerekli çalışmalar yürütülebilir.

Kazalar mekânsal boyutta incelendiğinde, yüksek riskli bölgeleri; Saray Bosna Caddesi, Atatürk Bulvarı, Merkez Yönetim Caddesi, Abdurrahman Gazi Yolu Caddesi ile

Erzurum-Ağrı Transit karayolunun kesiştiği kavşak (Ahmet Yesevi Caddesi), Org. Eşref Bitlis Bulvarı (İbrahim Polat Caddesi ve Atatürk Bulvarı) oluşturmaktadır. Orta riskli bölgeleri ise Üniversite Kavşağı, Şehir Hastanesi Kavşağı, Adnan Menderes Mahallesindeki Yaren Sokak ve yakın çevresi, Kazım Karabekir Stadyumu Kavşağı, Havaalanı Yolu (Recep Tayyip Erdoğan Fuar Alanı önündeki kavşak) ve Dadaşkent Semtindeki Prof. Dr. İhsan Doğramacı Bulvarı oluşturmaktadır. Bunlara ek olarak Refik Saydam Caddesi ve devamındaki Çat Yolu Caddesi diğer riskli güzergahları teşkil etmektedir. Karayolları Genel Müdürlüğü web sitesinden temin edilen taşıt trafik hacmi verilerine incelendiğinde; bahsi geçen güzergahlardan Erzurum-Ağrı Transit karayolunun kesiştiği kavşak, Org. Eşref Bitlis Bulvarı, Üniversite Kavşağı, Şehir Hastanesi Kavşağı ve Refik Saydam Caddesi günlük en az 20.000 aracın ulaşım yükünü çekmektedir. Dolayısıyla kazalar ile trafik yoğunluğu arasında doğrusal bir ilişki kurulabilmektedir. Ayrıca bu duruma ek olarak; Merkezi İş Alanı ile kazalar arasında da bir bağlantının olduğunu ifade etmek mümkündür. Nitekim iş merkezlerinin yoğunlukta olduğu ve hareketliliğin sürekli olarak yaşandığı lokasyonlarda da trafik hacmi bir hayli artmaktadır. Trafik hacmi ile bağlantılı olarak da kaza risk düzeyi, bu lokasyonlarda daha yüksek düzeydedir. Kaza riskini önlemeye yönelik ilk çalışmalar, bu güzergâh ve lokasyonlardan başlatılmalıdır.

Kaza noktalarının birbirleriyle olan mesafe ilişkisine göre anlamlılık düzeyi hakkında çıktı sağlayan sıcak nokta analizi sonuçlarına göre %95 güven aralığında bulunan noktaların yer aldığı güzergahları; Havaalanı Yolu (ETÜ-YÜTAM önündeki kavşak ve Recep Tayyip Erdoğan Fuar Alanı önündeki kavşak), Erzurum-Dadaşkent Yolu (Kazım Karabekir Stadyumu kavşağı, Atatürk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi ile Dadaşkent yolunu birbirine bağlayan kavşak) ve son olarak Erzurum Büyükşehir Belediyesi Fen İşleri Şantiyesi ile Somunoğlu Caddesi'nin bağlantı noktası oluşturmaktadır. Kazaların %90 güven aralığındaki sıcak nokta güzergahlarını ise Org. Selahattin Demircioğlu Caddesi (Kazım Karabekir Sokak ve Fuar Alanı yolu ayrımı), Atatürk Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yolu ile Şehir Hastanesi Yolunun kesiştiği kavşak oluşturmaktadır. İlgili nokta ve güzergahlar da dikkat edilmesi gereken sıcak noktaların yoğunlaştığı lokasyonları tanımlamaktadır. Bu noktaların, güven aralığı düzeyine göre önlem aşamalarında dikkate alınması önem arz etmektedir.

Buzlanma nedeniyle meydana gelmesi muhtemel kazaların risk düzeyleri belirlenirken eğim ve bakı durumunun da analize dahil edilmesi gerekmektedir. Nitekim bakı durumu, ulaşım akslarının güneş radyasyonu etkinliğini ve nihayetinde yereydeki sıcaklık değerlerini farklılaştırmaktadır. Eğim durumu ise yüzeydeki olası buzlanma sonucunda sürücünün kontrol kabiliyetini önemli derecede etkilemektedir. Araştırma sahasındaki Gaziler ve Şehitler Semtlerindeki tepelik alanların güneye bakan yamaçları ve eğim değerleri 0'a yakın olan Dadaşkent ve Hilalkent semtlerinin bazı kesimlerindeki yollar etkili bir şekilde güneş radyasyonundan yararlanmaktadır. Nispeten, bahsi geçen bölgeler haricindeki diğer ulaşım akslarının ise güneş radyasyonu etkinliğinin düşük seviyede olduğu söylenebilir. Eğim derecesi yüksek olan güzergahlara da bu noktada ayrı bir parantez açılmalıdır. Nitekim araştırma sahasının yaklaşık %60'ı %2,5 ve üzeri eğim yüzdesine sahip morfolojiden oluşmaktadır. Araştırma sahasındaki eğim yüzdesi yüksek olan ulaşım akslarını, Gazi Muhtar Paşa Caddesine Doğu yönden bağlanan yollar (Dağ Mahallesi); Demiryolu Üstü Sokak ve yakın çevresindeki yollar (Şehitler); Hilalkent Semtindeki Orhangazi Caddesi, Osmangazi Caddesi ve Fabrikaönü Sokak; İbrahim Polat Caddesi (Palandöken Yolu), Abdurrahman Gazi Yolu Caddesi (Türbe Yolu), Tuzcu Mahallesi Yolu, Mevlâna Caddesi, Zeynep Sokak (Adnan Menderes Mahallesinde), 3. Hacı Ahmet Sokak ve Dere Sokak (Muratpaşa Mahallesinde) buzlanma nedeniyle kaza risk düzeyinin artabileceği güzergahları oluşturmaktadır. İlgili ulaşım akslarının da önlem aşamasında dikkate alınması elzemdir.

Mekânsal boyutta ele alınan kazalar ile araştırma sahasının eğim ve bakı özellikleri incelendiğinde; morfolojik özellikler bakımından risk teşkil eden lokasyonlarda kazaların görülme sıklığının düşük seviyede olduğu ifade edilebilir. Bu duruma etken olarak, eğimi yüksek olan yollardaki hız sınırı ve neticede yaralanmalı kaza oranının oldukça düşük olması gösterilebilir. Daha detaylı ve doğru sonuçların elde edilebilmesi için maddi hasarlı kazaların da EGM tarafından veri setlerine işlenmesi gerekmektedir.

Çalışma kapsamında, ulusal ve uluslararası düzeyde karayollarındaki kar ve buzu önlemeye yönelik aktif olarak uygulanan birçok akıllı ulaşım sistemi ve buzlanma önleyici sistem incelenmiştir. İncelenen yöntem ve sistemlerden hareketle; Erzurum kent merkezi için sistemin uygulanabilirliği de göz önünde bulundurularak Erzurum Büyükşehir Belediyesi ile Meteoroloji Genel Müdürlüğü arasında oluşturulacak ortak bir bilgi paylaşım merkezi vasıtasıyla kaza riskinin minimum düzeye indirileceği

düşünülmektedir. İlgili bilgi merkezinde, Meteoroloji Genel Müdürlüğünden girdi olarak alınan saatlik hava durumu tahmini verileriyle risk değer aralıkları otomatik olarak karşılaştırılacak buna göre buzlanma öncesi bir risk tahmini yapılacaktır. Buzlanma riskinin oluşması durumunda toplu taşıma araçlarına (risk bölge ve güzergahlarında geçen hatlar üzerinde) ve diğer kamu araçlarına (özellikle gece saatlerinde çalışmalarını yürüten çöp toplama ve temizlik araçları) kurulmuş olan spreyleme düzeneğinin otomatik olarak devreye girmesiyle risk anlık olarak ortadan kaldırılabilecektir. İlgili sistemde ölçüm, araç üzerinde değil otomatik olarak merkezde yapılmaktadır. Bu farklılık sayesinde, sistemin kurulumu daha kolay olacak ve mali açıdan ise önemli düzeyde tasarruf sağlanacaktır.

Çalışma kapsamında sunulabilecek diğer bir öneri ise lastik izi uygulamasıdır. Elektriksel iletkenliğe sahip olan kabloların tekerlek izi boyunca kaplama altına yerleştirilmesi sonucunda buzlanma nedeniyle olası kazalar önlenebilecektir. Sistem kapsamında enerji tasarrufunun sağlanması ve sistemin ihtiyaç duyduğu enerjinin sistem içerisinde üretilmesi amacıyla risk bölgelerine kurulumu gerçekleştirilecek olan güneş enerjisi panelleriyle uygulamanın işlevselliği ve verimliliği arttırılacaktır. Önceki uygulama önerisinde olduğu gibi bu uygulamada da Meteoroloji Genel Müdürlüğü verileri risk tahmini için kullanılabilecek ve buzlanma riskinin yüksek olduğu değer aralıklarında otomatik olarak sistem devreye girecektir. Bu sayede buzlanma nedeniyle meydana gelen trafik kazalarında önemli düzeyde bir düşüşün gözleneceği öngörülmektedir.

KAYNAKÇA

- Akyol, İ. (1944). Türkiye'de basınç, rüzgarlar ve yağış rejimi. *Türk Coğrafya Dergisi*, (5-6), 1-34.
- Andrey, J., Mills, B., Leahy, M., & Suggett, J. (2003). Weather as a chronic hazard for road transportation in Canadian cities. *Natural hazards*, 28, 319-343.
- Arınç, K. (2013). *Türkiye'nin İç Bölgeleri-Doğal, İktisadi, Sosyal ve Siyasal Yönleriyle*. Erzurum: Biyosfer Araştırmaları Merkezi.
- Atalay, İ. & Mortan, K. (2017). *Türkiye Bölgesel Coğrafyası*. İstanbul: İnkılap Yayınları.
- Atalay, İ. (1978). *Erzurum Ovası ve Çevresinin Jeolojisi ve Jeomorfolojisi*. Ankara: Atatürk Üniversitesi Yayınları.
- Atalay, İ. (1992). *Türkiye Coğrafyası*. İzmir: Ege Üniversitesi Basımevi.
- Monsere, C., Bertini, R., Bosa, P., Chi, D., El-Seoud, T. A., & Nolan, C. (2006). *Comparison of Identification and Ranking Methodologies for Speed-Related Crash Locations*.
- Bijleveld, F., & Churchill, T. (2009). The influence of weather conditions on road safety. *SWOV*.
- Birinci S., Kaymaz Ç. K., Kızılkın Y. (2022). "Erzurum İlinde Coğrafya Araştırmaları" kitabı içerisinde "Erzurum İlinin İklim Özellikleri". İstanbul: Kriter Yayınevi.
- Black, A. W., & Mote, T. L. (2015). Effects of winter precipitation on automobile collisions, injuries, and fatalities in the United States. *Journal of transport geography*, 48, 165-175.
- Cumhuriyet. "Yeni Demiryollarımız" (5 Eylül 1933), 5. <https://www.gastearsivi.com/gazete/cumhuriyet/1933-09-05/5>
- Çoruh, H. (2002). Erzurum'daki Türk ve Ermeni Nüfusu Gösteren 1847 Tarihli Nüfus Defteri. *Ermeni Araştırmaları*, (6): 95-115.
- Derwin, D., Booth, P., Zaleski, P., Marsey, W., & Flood, W. (2003). *Snowfree®, heated pavement system to eliminate icy runways* (No. 2003-01-2145). SAE Technical Paper.
- DiLorenzo, T., & Yu, X. (2023). Use of ice detection sensors for improving winter road safety. *Accident Analysis & Prevention*, 191, 107197.
- Duran, F. & Teke, M. (2019). Akıllı Yol Durum Sensörü Tasarımı. *International Journal of Engineering Research and Development*, 11 (1), 396-401.
- Eisenberg, D. (2004). The mixed effects of precipitation on traffic crashes. *Accident analysis & prevention*, 36(4), 637-647.

- Ergin K., Güçlü U., ve Uz Z. (1967). *Türkiye ve Yakın Civarının Deprem Kataloğu*, İ.T.Ü. Arz Fiziği Enstitüsü Yay: 24 İstanbul: Boğaziçi Üniversitesi Kandilli Rasathanesi ve Deprem Araştırma Enstitüsü.
- Erol, O. (1993). Ayrıntılı jeomorfoloji haritaları çizim yöntemi. *İstanbul Üniversitesi Deniz Bilimleri ve Coğrafya Enstitüsü Bülteni*, 10(10), 19-37.
- Erol, O. (2014). *Genel Klimatoloji*. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- Fındıkoğlu, Z. F. (1967). Erzurum Şehirleşmesi ve Gecekondu Problemi, İstanbul Üniversitesi İktisat Fakültesi Mecmuası, 26 (1-4), İstanbul.
- Gailius, D. & Jačėnas, S. (2007). Ice detection on a road by analyzing tire to road friction ultrasonic noise. *Ultrasonics/Sound, 62*(2), 17-20.
- Getis, A., & Ord, J. K. (1992). The analysis of spatial association by use of distance statistics. *Geographical analysis*, 24(3), 189-206.
- Goodwin, L. C. (2003). *Best practices for road weather management: Version 2.0* (No. FHWA-OP-03-081). Road Weather Management Program (US).
- Gökdemir, T. (2013). Buzlanma Erken Uyarı Sistemi Uygulamaları ve İstanbul Örneği. Fen Bilimleri Enstitüsü. Kentsel Sistemler ve Ulaştırma Yönetimi. Yüksek Lisans Tezi.
- Guha-Sapir D., Vos, F., Below, R. ve Ponserre, S. (2011). Annual Disaster Statistical Review 2010: The Numbers and Trends. Brussels: CRED; 2011.
- Güngördü, E. (2010). *Türkiye'nin Coğrafyası*. Ankara: Gazi Kitabevi Tic. Ltd. Şti.
- Gürer, C., Fidan, U., & Korkmaz, B. E. (2022). Investigation of using conductive asphalt concrete with carbon fiber additives in intelligent anti-icing systems. *International Journal of Pavement Engineering*, 24(1), 2077941.
- Haque, F., Huq, A. S., Ishmam, Z. S., & Fuad, M. M. (2022). Visualizing the Hot Spots of Adverse Weather Induced Traffic Accidents in Bangladesh (No. TRBAM-22-03996).
- Harirforoush, H., Bellalite, L., & Bénié, G. B. (2019). Spatial and temporal analysis of seasonal traffic accidents. *Am. J. Traffic Transp. Eng*, 4(7), 10-11648.
- International Telecommunication Union, (2021). *Intelligent Transport Systems Handbook on Land Mobile (including Wireless Access)*, ITU Publications. Volume: 4
- Joerger, M. D., & Martinez, F. C. (2006). *Electric Heating of I-84 in Ladd Canyon, Oregon* (No. FHWA-OR-RD-06-17). Oregon. Dept. of Transportation.
- Johnson, C. (2001). *I-35W and Mississippi River Bridge Anti-Icing Project Operational Evaluation Report* (No. 2001-22).

- Karpat, K. H. (2003). Osmanlı Nüfusu (1830-1914) Demografik ve Sosyal Özellikleri, Tarih Vakfı Yurt Yayınları:133, İstanbul.
- Khan, G., Qin, X., & Noyce, D. A. (2008). Spatial analysis of weather crash patterns. *Journal of transportation engineering*, 134(5), 191-202.
- Konukçu, E., Gündoğdu H., Doğanay H., Seyidoğlu, B., Okçu, N. S., Karabey T. (1989). *Şehr-i Mübarek Erzurum*. Erzurum: Erzurum Belediyesi Yayınları.
- Koşay, H. Z. (1961). Pulur Kazısı 1960. *Türk Arkeoloji Dergisi*, (16), 25-28.
- Koşay, H. Z., & Turfan, K. (1959). Erzurum-Karaz kazısı raporu. *Belleten*, 23(91), 349-414.
- Kuehnle, A., & Burghout, W. (1998). Winter road condition recognition using video image classification. *Transportation research record*, 1627(1), 29-33.
- Küçük, C. (1995). Erzurum. *TDV İslam Ansiklopedisi*, 11, 321-329.
- Lee, J. K., Huh, Y., & Park, J. (2022). Geospatial simulation system of mountain area black ice accidents. *Applied Sciences*, 12(11), 5709.
- Li, C., Ge, H., Sun, D., & Zhou, X. (2021). Novel conductive wearing course using a graphite, carbon fiber, and epoxy resin mixture for active de-icing of asphalt concrete pavement. *Materials and Structures*, 54, 1-17.
- Liu, T., Pan, Q., Sanchez, J., Sun, S., Wang, N., & Yu, H. (2017). Prototype decision support system for black ice detection and road closure control. *IEEE Intelligent Transportation Systems Magazine*, 9(2), 91-102.
- Mandžuka, S. (2015). Intelligent transport systems. *Intelligent Transport Systems*, Zagreb: Department Faculty of Transport and Traffic Science University of Zagreb, 1-2.
- Minsk, L. D. (1968). Electrically conductive asphalt for control of snow and ice accumulation. *Highway Research Record*, (227).
- Mitas, A., Bernaś, M., Bugdol, M., & Ryguła, A. (2011). The concept of neural network applications to the analysis of weather parameters for risk prediction. *Zeszyty Naukowe Politechniki Białostockiej. Informatyka*, (8), 45-59.
- Mohammed, A. A., Ambak, K., Mosa, A. M. & Syamsunur, D. (2019). A review of the traffic accidents and related practices worldwide. *The Open Transportation Journal*, 13, 65-83.
- Nokhandan, M. H. (2006). Statistical analysis of weather related Road Accidents in Iran.
- Onur, A. (1961). Erzurum ve Çevresinde Kar Yağışlı ve Karla Örtülü Günler, *Türk Coğrafya Dergisi*, (21), 97-111.

- Orhan, F., & Güney, E. (2023). Erzurum'un Metropol İlçelerindeki Yerleşmelerin Alansal Gelişim Süreci ile Jeomorfolojik Birimler Arasındaki İlişkinin CBS ve UA Yöntemleriyle Analizi. *Erzincan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*, 16(2), 156-180.
- Özlü, T., Haybat, H., & Zerenoglu, H. (2021). Trafik Kazalarının Zamansal ve Mekânsal İncelenmesi: Eskişehir Şehir Örneği. *International Journal of Geography and Geography Education* (43), 136-158. <https://doi.org/10.32003/igge.746447>
- Rauber, M. (1995). Energy from road surfaces. *Caddet Renewable Energy Newsletter*, 1, 25-27.
- Sheather, S. J. (2004). Density estimation. *Statistical science*, 588-597.
- Shi, X., & Fu, L. (2018). Sustainable Winter Road Operations.
- Silverman, B. W. (1998). *Density estimation for statistics and data analysis*. Routledge.
- Sözer, A. N. (1970). *Erzurum Ovası'nın Beşeri ve İktisadi Coğrafyası*, Atatürk Üniversitesi Yayınları, Erzurum.
- Şahin, C. (2006). *Türkiye Fiziki Coğrafyası*. Ankara: Gündüz Eğitim ve Yayıncılık.
- Taç, Ş. G. (2018). Karayolu Ulaşımında Meydana Gelen Trafik Kazalarının Önlenmesinde Akıllı Ulaşım Sistemlerinin Etkisi. *Akıllı Ulaşım Sistemleri ve Uygulamaları Dergisi*, 1(2), 12-21.
- Taşyürek, M. (2009). *Erzurum "Bir İpek Yolu Şehri"*. İstanbul: Birey Yayıncılık.
- Tharmakularajah, L., Döring, J., & Krieger, K. L. (2020). Infrared-based sensor system for contactless monitoring of wetness and ice. *Journal of Sensors and Sensor Systems*, 9(1), 133-141.
- Tournefort M. P. (1718). *Relatian d'un voyage du Levant*, Amsterdam, I, 111.
- Turan, O., (1971). *Selçuklular zamanında Türkiye: Siyasi tarih, Alp Arslan'dan Osman Gazi'ye (1071-1318)*. İstanbul: Turan Neşriyat Yurdu.
- Turoğlu, H. (2016). *Coğrafi Bilgi Sistemlerinin Temel Esasları*. İstanbul: Çantay Kitabevi.
- Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. (2023). Ulaşım ve Erişimde Erzurum (2002-2023).
- Yang, T. (2011). *Experimental study on an electrical deicing technology utilizing carbon fiber tape*. University of Alaska Anchorage.
- Yehia, S. A., & Tuan, C. Y. (1998). Bridge deck deicing. <https://digitalcommons.unomaha.edu/civilengfacproc/1/>

Yomralıoğlu, T. (2015). *Coğrafi Bilgi Sistemleri Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. Trabzon: İber Ofset.

Zhang, J., Das, D.K., Peterson, R. (2009). “Selection of Effective and Efficient Snow Removal and Ice Control Technologies for Cold-Region Bridges”. *Journal of Civil, Environmental and Architectural Engineering*, 3(1): 1-14.

İnternet Kaynakları

AKOM, Afet Koordinasyon Merkezi. “Hazırlık-Planlama Çalışmaları”. Erişim 16 Mart 2024. Hazırlık – Planlama Çalışmaları – AKOM (ibb.istanbul)

ASF Data Search, Erişim 5 Ocak 2021. <https://search.asf.alaska.edu/#/>

Erzurumlular, Erişim 18 Aralık 2023. <http://www.erzurumlular.com.tr/>

ESRI, ArcGIS Pro. Erişim 25 Mayıs 2024. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-statistics/h-how-hot-spot-analysis-getis-ord-gi-spatial-stati.htm>

ESRI, ArcGIS Pro. Erişim 26 Mayıs 2024. <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/tool-reference/spatial-analyst/how-kernel-density-works.htm>

FORBES, “The Science of Ice Before Roads”. Erişim 21 Ocak 2024. <https://www.forbes.com/sites/marshallshepherd/2017/12/19/the-science-of-why-bridges-ice-before-roads/?sh=4a38f99d7cd0>

Gazete Duvar, “Erzurum’da Buzlanma 48 Aracın Karıştığı 17 Kazada 12 Kişi Yaralandı”. Erişim 24 Mart 2024. <https://www.gazeteduvar.com.tr/erzurumda-buzlanma-48-aracin-karistigi-17-kazada-12-kisi-yaralandi-haber-1678544>

KGM, Karayolları Genel Müdürlüğü. “Buzla Mücadele Rehberi”. Erişim 16 Ocak 2024. <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Yayinlar/YayinPdf/KarveBuzlaM%C3%BCcadeleRehberi.pdf>

KGM, Karayolları Genel Müdürlüğü. “Taşıt Trafik Hacim Haritaları”. Erişim 16 Mart 2024. <https://www.kgm.gov.tr/SiteCollectionDocuments/KGMdocuments/Trafik/trafikhacimharitasi/2023HacimHaritalari/Bolge12.pdf>

LUFFT, “Marwis Mobile Advanced Road Weather Information Sensor”. Erişim 13 Mart 2024. <https://www.lufft.com/products/road-runway-sensors-292/marwis-mobile-advanced-road-weather-information-sensor-2488/>

Mechanic Dergisi, “Ankara Protokol Yolu Danfoss-DEVI Sayesinde Ulaşım Açık”. Erişim 19 Mart 2024. Ankara Protokol Yolu Danfoss-DEVI Sayesinde Ulaşım Açık | Mechanic Dergisi

MGM, Meteoroloji Genel Müdürlüğü. “Resmi İstatistikler”. Erişim 03 Ekim 2023. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ERZURUM>

- Milliyet, “Erzurum’da Buzlanma Kazayı Beraberinde Getirdi 30 Araç Birbirine Girdi”. Erişim 24 Mart 2024. <https://www.milliyet.com.tr/gundem/erzurumda-buzlanma-kazayi-beraberinde-getirdi-30-arac-birbirine-girdi-7100252>
- NTV, “Erzurum’da Buzlama ve Kar Yağışı Kazalara Neden Oldu”. Erişim 24 Mart 2024. <https://www.ntv.com.tr/turkiye/erzurumda-buzlanma-ve-kar-yagisi-kazalara-neden-oldu,1Rx9iNOTdkegQA12XNuyBg>
- REHBERHDS, "Freezefree Otomatik Buzlanma Önleyici Sistem" Erişim 10 Mart 2024 <http://rehberhds.com/freezefree-otomatik-buz-onleyici-sistem/?lang=tr>
- Road Weather, Erişim 14 Mart 2024. roadweather.online - RCMY025_20240314_2029
- TÜİK, Türkiye İstatistik Kurumu. “Trafik Kaza İstatistikleri”. Erişim 15 Aralık 2023. <https://data.tuik.gov.tr/Kategori/GetKategori?p=ulasirma-ve-haberlesme-112&dil=1>
- UAB, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. “Akıllı Ulaşım Sistemleri”. Erişim 12 Ocak 2024. <https://hgm.uab.gov.tr/akilli-ulasim-sistemleri-aus>
- UAB, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. “Akıllı Ulaşım Sistemleri”. Erişim 12 Ocak 2024. <https://hgm.uab.gov.tr/akilli-ulasim-sistemleri-aus>
- UAB, Ulaştırma ve Altyapı Bakanlığı. “Akıllı Ulaşım Sistemleri”. Erişim 19 Ocak 2024. <https://hgm.uab.gov.tr/akilli-ulasim-sistemleri-aus>
- UYM, Ulaşım Yönetim Merkezi. “Trafik Ölçüm ve Gözlem”. Erişim 17 Mart 2024. UYM | Trafik Ölçüm ve Gözlem (ibb.gov.tr) 17.03.2024

ÖZ GEÇMİŞ

Ad Soyad: Ertuğrul GÜNEY	
Eğitim Bilgileri	
Lisans	
Üniversite	Erzincan Binali Yıldırım Üniversitesi
Fakülte	Fen-Edebiyat Fakültesi
Bölümü	Coğrafya
Makale ve Bildiriler	
1. Orhan, F., & Güney, E. (2023). Erzurum’un Metropol İlçelerindeki Yerleşmelerin Alansal Gelişim Süreci ile Jeomorfolojik Birimler Arasındaki İlişkinin CBS ve UA Yöntemleriyle Analizi. <i>Erzincan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi</i>, 16(2), 156-180.	