

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜZEY KIRIĞI HARİTALAMADA
TERMAL KIZILÖTESİ VERİLERİN KULLANIMI,
6 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ, PAZARCIK DEPREMİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Melike KARAKAŞ GEDİK

Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı

Jeodinamik Programı

HAZİRAN 2025

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**YÜZEY KIRIĞI HARİTALAMADA
TERMAL KIZILÖTESİ VERİLERİN KULLANIMI,
6 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ, PAZACIK DEPREMİ ÖRNEĞİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**Melike KARAKAŞ GEDİK
(602221001)**

Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı

Jeodinamik Programı

**Tez Danışmanı: Doç. Dr. Orkan ÖZCAN
Eş Danışman: Prof. Dr. Cengiz YILDIRIM**

HAZİRAN 2025

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**UTILIZING THERMAL INFRARED DATA
IN SURFACE RUPTURE MAPPING, THE CASE OF
FEB 6, 2023 PAZARCIK EARTHQUAKE, KAHRAMANMARAŞ**

M.Sc. THESIS

**Melike KARAKAŞ GEDİK
(602221001)**

Department of Solid Earth Science

Geodynamics Programme

**Thesis Advisor: Doç. Dr. Orkan ÖZCAN
Thesis Co-Advisor: Prof. Dr. Cengiz YILDIRIM**

JUNE 2025

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 602221001 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Melike KARAKAŞ GEDİK, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “YÜZEY KIRIĞI HARİTALAMADA TERMAL KIZILÖTESİ VERİLERİN KULLANIMI, 6 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ PAZARCIK DEPREMİ ÖRNEĞİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Orkan ÖZCAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Eş Danışman : **Prof.Dr. Cengiz YILDIRIM**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Doç. Dr. Cengiz ZABCI**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Cihan BAYRAKDAR
İstanbul Üniversitesi

Dr. Öğr. Üyesi Semih Sami AKAY
İstanbul Topkapı Üniversitesi

Teslim Tarihi : 30 Mayıs 2025
Savunma Tarihi : 18 Haziran 2025





Aileme,



ÖNSÖZ

6 Şubat 2023 tarihinde meydana gelen ve on binlerce insanın yaşamını yitirmesine neden olan Kahramanmaraş merkezli depremlerin hemen ardından, bu yıkıcı afetin daha iyi anlaşılmasına katkı sağlamak amacıyla İstanbul Teknik Üniversitesi Geliştirme Vakfı, İstanbul Teknik Üniversitesi Araştırma Fonu (Proje Kimliği: MCAP-2023-44517) ve Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu'nun (TÜBİTAK, Proje Kimliği: 123Y189) destekleri ile arazi çalışmaları gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın ana ayağını oluşturan sahadan verilerin toplanması aşaması Doç. Dr. Orkan Özcan, Prof. Dr. Cengiz Yıldırım, Dr. Öğr. Üyesi Semih Sami Akay ve Prof. Dr. Mehmet Akif Sarıkaya tarafından insansız hava aracı kullanılarak gerçekleştirilmiş olup verilerin işlenmesi sürecinde Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü Earth3Bee Laboratuvarı'nın kaynaklarından yararlanılmıştır. Bu konudaki katkıları için hem enstitüye hem de hocalarıma teşekkür ederim.

Yüksek lisans sürecimde pek çok aşamayı eşzamanlı yaşadığımız dostum Sevgi Öztekin Narin'e bu üç yılda her anlamdaki moral, motivasyon ve desteği için teşekkürü borç bilirim.

Bu sürecin başından beri varlıkları ile her daim destek olan başta çok kıymetli anne-babam Kadriye ve Şaban Karakaş'a, abim Zafer Karakaş'a, sevgili ablam Meryem Bayram'a ve eniştem Mahmut Bayram'a, bu sürecin başında tanışıp hayat yolculuğunda yollarımızın kesiştiği kıymetli eşim Yusuf Gedik'e varlıkları ve daimi destekleri için sonsuz teşekkürler.

Haziran 2025

Melike Karakaş Gedik
(Jeoloji Mühendisi)



İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ	ix
İÇİNDEKİLER	xi
KISALTMALAR	xiii
SEMBOLLER	xv
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xix
ÖZET	xxi
SUMMARY	xxiii
1. GİRİŞ	1
2. ÇALIŞMA ALANI.....	5
2.1 Doğu Anadolu Fay Zonu	6
2.2 Jeoloji ve Arazi Örtüsü.....	7
3. ARAÇLAR, VERİ SETLERİ, YÖNTEM	9
3.1 Araçlar	9
3.2 Veri Setleri	10
3.2.1 İHA tabanlı veri setleri.....	10
3.2.1.1 Dijital yükseklik verisi	10
3.2.1.2 Optik görüntü verisi	10
3.2.1.3 Termal kızılötesi verisi.....	11
3.2.1.4 Atmosferik veri seti.....	11
3.2.2 Uydu tabanlı veri setleri	12
3.2.2.1 Normalize edilmiş bitki ve nem farkı indeksleri (NDVI & NDMI) ..	12
3.2.2.2 İkincil sayısal yükseklik modeli verisi	13
3.3 Yöntem	13
3.3.1 Optik ve termal verilerin toplanması.....	13
3.3.2 Optik ve termal verilerin işlenmesi	14
3.3.3 Optik ve termal verilerin analizi	15
3.3.4 NDVI ve NDMI indekslerinin kullanımı	16
3.3.5 Güneşlenme değerlerinin çıkarılması.....	17
4. BULGULAR.....	19
4.1 Sıcaklığın Mekansal Değişimi.....	19
4.2 NDVI ve NDMI Değerlerinin Anomaliler ile İlişkisi	21
4.3 Yüzey Kırığının Tarım Alanları İçerisindeki Termal Bulguları	22
4.4 Yüzey Kırığının Ormanlık Alanlar İçerisindeki TIR Bulguları	28
4.5 Yüzey Kırığının Anakaya Üzerindeki TIR Bulguları	29
5. TARTIŞMA	35
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	39
KAYNAKLAR	41
EKLER	45
ÖZGEÇMİŞ.....	47



KISALTMALAR

ALOS	: Advanced Land Observing Satellite
ASF-DAAC	: Alaska Satellite Facility - Distributed Active Archive Center
DAFZ	: Doğu Anadolu Fay Zonu
IR	: Kızılötesi
IRT	: Kızılötesi Termografi
İHA	: İnsansız Hava Aracı
KAFZ	: Kuzey Anadolu Fay Zonu
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
NDMI	: Normalize Edilmiş Nem Farkı İndeksi
NDVI	: Normalize Edilmiş Bitki Farkı İndeksi
NIR	: Yakın Kızılötesi
NOAA	: National Oceanic and Atmospheric Administration
ÖDF	: Ölüdeniz Fayı
RGB	: Red-Green-Blue
RTK	: Real Time Kinematic
SWIR	: Kısa Dalgaboyu Kızılötesi
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
USGS	: United States Geological Survey



SEMBOLLER

μm : Mikronmetre





ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : İHA uçuşlarına ait örnek atmosferik veriler	12
Çizelge 3.2 : NDVI ve NDMI indeksleri için kullanılan uydular ve özellikleri.....	12
Çizelge 3.3 : İHA görüntülerinin işlenmesine yönelik adımlar	14
Çizelge 4.1 : Arazi çalışmalarına ait mutlak anomali değerlerinin ortalamaları	22
Çizelge 4.2 : NDMI aralıklarına göre mutlak anomali değerlerinin ortalamaları	22



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Çalışma alanının yer bulduru haritası	5
Şekil 2.2 : Çalışma alanına ait topografik yükseklik haritası	6
Şekil 2.3 : Çalışma alanına ait eğim ve bakı haritası	6
Şekil 2.4 : Çalışma alanına ait litoloji haritası	8
Şekil 3.1 : Arazi çalışması sırasında kullanılan Matrice 300 RTK İHA.	9
Şekil 3.2 : Birinci ve ikinci arazi çalışmaları sonucu toplanan görüntülerin lokasyonel dağılımı	13
Şekil 3.3 : 60 uçuşu içeren 19 uçuş hattının uçuş numaraları ve konumsal dağılımı	14
Şekil 3.4 : Yüzey kırığı üzerindeki örneklem noktaları ve tampon alanların şematik dağılımı.	15
Şekil 3.5 : Alınan verilerde güneşlenme değerlerinin dağılımı	17
Şekil 4.1 : Yüzey kırığının yükseklik profili (a), yüzey kırığı çevresindeki (b) ve kırık üzerindeki (c) TIR sıcaklık değerlerinin dağılımı hava sıcaklığı, litoloji (d) ve güneşlenme değerleri ile birlikte (e).	20
Şekil 4.2 : Sıcaklık anomalilerinin (a), NDVI (b) ve NDMI (c) değerlerinin mekansal dağılımı	21
Şekil 4.3 : Yüzey kırığının sürülü tarla ve çim üzerinde optik ve termal görüntüsü.	23
Şekil 4.4 : Yüzey kırığının yoğun ekinlik alanda optik ve termal görüntüsü.	23
Şekil 4.5 : Şekil 4.4' e ait swath profiller.	24
Şekil 4.6 : Boş tarla içerisindeki yüzey kırığının optik ve termal görüntüleri aşağıda swath profiller.	25
Şekil 4.7 : Sürülü tarlada yüzey kırığının optik ve termal görüntüleri aşağıda swath profil.....	26
Şekil 4.8 : Kırığın türüne göre termal anomalilerin değişimi, aşağıda swath profilleri.	27
Şekil 4.9 : Sık ormanlık alanda yüzey kırığının optik ve termal görüntüsü, aşağıda swath profil.	28
Şekil 4.10 : Peridotit anakayasası üzerinde yüzey kırıklarının optik ve termal görüntüsü, aşağıda swath profilleri	30
Şekil 4.11 : Serpantinit anakayasası üzerinde yüzey kırığının optik ve termal görüntüsü, aşağıda swath profil	31
Şekil 4.12 : Kireçtaşı birimler üzerinde yüzey kırığının optik ve termal görüntüsü, aşağıda swath profiller.	32
Şekil 4.13 : Gabro anakayasası üzerinde yüzey kırığının optik ve termal görüntüleri,aşağıda swath profil	33
Şekil 4.14 : Bazalt kayalıkları üzerinde 4. uçuş hattı için gerçekleşen görüntü alımı (18.03.2023).....	34



YÜZEY KIRIĞI HARİTALAMADA TERMAL KIZILÖTESİ VERİLERİN KULLANIMI, 6 ŞUBAT 2023 KAHRAMANMARAŞ, PAZARCIK DEPREMİ ÖRNEĞİ

ÖZET

Depremler sonrasında kilometrelerce uzunlukta oluşan yüzey kırıklarının izlenmesi ve haritalanması deprem hareketlerinin anlaşılması için oldukça önemlidir. Yüzey kırıklarının genelde uzun alanlara yayılması ve bazı durumlarda yüzeye çıkan kırıkların yanı sıra yüzeyin altında da kırığın devam ettiği bilinmektedir. Bu gibi durumlarda yüzey kırıklarının kesintisiz haritalanmasında fiziksel saha çalışmaları çok uzun zamanlar almaktadır. Uzaktan Algılama kaynakları olan uydu görüntülerinin kullanılması ise hem çözünürlük yetersizliği hem de atmosferik gürültüler nedeniyle zor olabilmektedir. Bu çalışmada, sırasıyla 7.7 ve 7.6 büyüklüğünde meydana gelen Kahramanmaraş depremleri sonrası birinci deprem kaynaklı oluşan yüzey kırığının kesintisiz haritalanması için termal ve optik kamera monte edilmiş İHA kullanılarak 280 kilometre uzunluğundaki yüzey kırığı boyunca 2023 yılı Mart ve Haziran aylarında uçuşlar gerçekleştirilerek, termal ve optik görüntüler alınmıştır.

Uydu ve hava fotoğrafı görüntülerinde yüzey kırıklarının ormanlık alanlarda ve yoğun bitki örtüsü altında takibinin yapılamaması ve dahi optik kamerada görünmeyen bazı fay izleri termal görüntüleme ile belirgin şekilde haritalanabilmesi bu çalışmanın önemini ortaya koymaktadır.

Haritalama süreci, yüzey kırığının çevresine kıyasla oluşan sıcaklık farklarına dayalı olarak gelişen pozitif ve negatif termal anomalilerin termal veri üzerinden izlenmesi ve optik görüntüler ile doğrulanarak haritalanması şeklinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca çalışmada, yüzey kırığı boyunca gözlenen anomalilerin büyüklüğü ve dağılımını etkileyen faktörleri incelemek amacıyla normalize edilmiş bitki ve nem indeksi farkı, hava sıcaklığı, litoloji, bakı, eğim, güneşin yüksekliği ve geliş yönü parametreleri de değerlendirilerek bütüncül bir yaklaşım sunulmak istenmiştir.

Çalışmada anomali farklılıklarının sadece tek bir parametreye göre şekillenmediği aksine nem, bitki indeksi, hava sıcaklığı gibi atmosferik etkilerin yanı sıra güneşe maruziyet ve kırığın türüne bağlı olarak bir arada çoklu parametrelerin etkisiyle oluştuğu ortaya konulmuştur. Bu çalışmayla birlikte ilk kez, bir deprem yüzey kırığı termal görüntüler kullanılarak yaklaşık 280 km boyunca haritalanmıştır. Termal görüntüleme yönteminin haritalama sürecine entegre edilmesi, amacına hizmet ederek başarılı bir veri seti ortaya koymuştur. Bu yöntemin, geleneksel teknikleri tamamlayıcı nitelikte bir araç olarak tercih edilebileceği öngörülmekte olup, deprem davranışlarının ve fay hareketlerinin izlenmesine yönelik gelecekteki çalışmalara da önemli katkılar sağlayacağı değerlendirilmektedir.



UTILIZING THERMAL INFRARED DATA IN SURFACE RUPTURE MAPPING, THE CASE OF FEB 6, 2023 PAZARCIK EARTHQUAKE, KAHRAMANMARAŞ

SUMMARY

Earthquakes are among the most complex natural disasters, often causing significant destruction. Understanding their behaviour and reducing future hazards necessitates the analysis of past events and continuous monitoring of fault movements. Surface ruptures that emerge following earthquakes serve as critical indicators in analysing seismic behaviour and interpreting fault dynamics. This study aimed to produce a continuous map of the surface rupture caused by the first of the two devastating earthquakes (Mw 7.7 and Mw 7.6) that struck on 6 February 2023 along the East Anatolian Fault (EAF), in order to better understand the rupture extent and associated fault dynamics.

To achieve this, thermal and optical cameras mounted on an RTK-equipped drone were used to conduct flights along a 280 km segment of the fault zone. These flights were carried out in March and June 2023, during which imagery was systematically collected along the rupture trace. The use of two separate time periods enabled a seasonal comparison, allowing the investigation of how atmospheric and solar radiation differences influence thermal responses along the rupture. The thermal nature of the data made it highly sensitive to such temporal variations. Furthermore, the flights were conducted at varying times of day under different atmospheric conditions, which also had measurable effects on the thermal signatures recorded. These variations were carefully documented and considered during interpretation.

The images were processed using Agisoft Metashape Professional. The drone images, acquired with an 80% overlap, underwent image alignment and camera calibration to generate dense point clouds. From these clouds, high-resolution (10 cm) digital elevation models (DEMs) and orthophotos were produced and mosaicked to produce a continuous visualisation of the surface rupture along the entire 280 km corridor.

One of the primary challenges in the continuous mapping of the surface rupture using optical images was the inability to visually trace the rupture in areas such as dense vegetation or forested terrain. To overcome this limitation and introduce a novel approach not commonly explored in the literature, continuous mapping of the surface rupture was implemented using thermal imagery. This method aimed to identify subtle thermal anomalies potentially indicative of fresh fault scarps or ruptured surfaces that may not be visible in optical datasets.

Seismic waves generated by the earthquake induce stress within the continental crust, leading to ruptures when forces exceed the strength of the surface. During such events, subsurface soils previously isolated from sunlight and atmospheric exposure emerge to the surface. This study was motivated by the hypothesis that freshly exposed soils may possess higher moisture content, increased porosity, and therefore exhibit distinct thermal properties compared to long-exposed surface materials. These differences, even if visually imperceptible, could manifest as thermal anomalies detectable in infrared imagery.

The analysis of thermal orthophotos revealed distinct relative temperature differences along the surface rupture compared to the surrounding terrain. Throughout the study, these differences were interpreted as rupture-related thermal anomalies. Optical and thermal orthophotos acquired during field campaigns were co-registered, and the surface rupture was manually digitized in a GIS environment using both datasets for maximum accuracy. Along the digitized rupture zone, location points were placed at 7-metre intervals to facilitate high-resolution analysis.

To determine ambient temperature values, auxiliary points were positioned perpendicular to the rupture trace, at a distance of 3 metres on both sides. A 1.5-metre buffer zone was defined around each of these points to calculate average temperatures representative of undisturbed terrain. Surface temperatures were extracted on a pixel basis from the high-resolution thermal orthophotos, and anomaly values were calculated relative to their immediate surroundings. This approach allowed for a more precise thermal characterization of the rupture zone.

In locations selected for detailed analysis, swath profiles measuring 12 metres in length and 4 to 10 metres in width were created, centered on the rupture trace. These profiles facilitated comparison between temperature values directly on the rupture and those of

adjacent undisturbed areas to the north and south. As a result, the spatial extent and magnitude of local thermal anomalies were precisely delineated and interpreted in the context of multiple overlapping environmental and structural parameters.

To enhance the interpretation of thermal anomalies, additional environmental datasets were integrated into the analysis. A lithological map of the study area was consulted, and Landsat 8 imagery with minimal cloud coverage was used to derive both NDMI (Normalized Difference Moisture Index) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) layers, providing insight into vegetation cover and surface moisture. Furthermore, slope and aspect maps were generated from the DEMs to capture topographic influences. In order to better evaluate solar-related thermal variability, the solar azimuth and altitude for each data acquisition timestamp were calculated. These parameters were then used to estimate site-specific solar exposure values, which were compared against the extracted thermal data. This approach enabled a more holistic interpretation of the thermal anomalies by relating them to surface orientation, vegetation density, lithological context, and sun parameters at the moment of image capture.

The results of this study confirm the practical success of using thermal imaging in surface rupture mapping. This method has proven particularly effective in detecting rupture traces beneath dense forest cover areas where optical and satellite imagery often fail. Moreover, thermal anomalies provided clear ruptural continuity in agricultural fields with high vegetation density, forested slopes, and even in open terrains where fault lines were not visually distinguishable in optical imagery. These findings demonstrate that thermal data can function as a powerful supporting method to traditional optical imaging, allowing the surface rupture to be continuously traced with greater confidence.

Thermal anomalies were found to be strongly influenced by environmental conditions, showing a clear positive correlation with ambient temperature and solar exposure. In regions characterized by forest cover, shade, low air temperature, and high moisture content, anomaly values tended to be lower. Conversely, higher thermal anomalies were recorded in hot, barren, or bedrock-dominated areas. Despite this variability, thermal signatures associated with the rupture were distinctly observable in both field campaigns, regardless of season. These observations reinforce the robustness of

thermal imaging in capturing rupture characteristics even under different environmental conditions.

Ultimately, the thermal map generated from this study demonstrates that temperature signatures are influenced not only by localized thermal contrasts but also by broader surface processes and the regional energy balance. The findings support the conclusion that thermal infrared imagery offers a valuable, complementary tool to conventional optical methods for detecting and mapping surface ruptures caused by large-magnitude earthquakes.



1. GİRİŞ

Depremler sonucu oluşan yüzey kırıklarının haritalanması fayın kırılma davranışı, fay üzerinde biriken yamulma miktarı, farklı faylar arasında stress transferi, deformasyon zonunun genişliği ve kayma dağılımı gibi sismik tehlike analizleri için önemli parameteler hakkında bilgi edinmemizi sağlar.

Yakın zamana kadar deprem sonrası saha gözlemlerinin 1:25000'lik topoğrafya haritalarının işlenmesi şeklinde gerçekleşen yüzey kırıklarının haritalanması, eşsismik kayma dağılımı ve deformasyon zonu genişliği ölçümleri günümüzde uydu görüntüleri ya da İnsansız Hava Aracı (İHA) aracı teknolojileri kullanılarak yapılmaktadır. Bunlardan uydu görüntüleri tabanlı haritalamalarda optik sensörlü sistemler kullanılmakta olup günümüzde kullanımda olan en yüksek çözünürlüğe sahip optik görüntüleme yapabilen WorldView-3 ticari uydusu görev planına bağlı olarak 1- 4 günde bir aynı alandan geçerek 1,24 metre çözünürlüğe sahip çok bantlı görüntüler alabilmektedir. Ancak açık erişime sahip 10 metre (RGB) çözünürlüklü Sentinel-2 uydusu (5 gün periyotlarla) ve 30 metre çözünürlüğe sahip çok bantlı Landsat 8-9 uyduları (16 günlük periyotlarla) bu özelliklerinden dolayı en çok tercih edilen uydulardır. Bununla beraber bu uydu görüntülerinin çözünürlükleri deprem yüzey kırığını oluşturan kırık yapılarının detaylı haritalanması için yeterli değildir. Bunu aşmak için son zamanlarda ise optik kameraya sahip İHA ile alınmış görüntüler kullanılmaya başlanmıştır. Bu yöntem geniş alanları yüksek çözünürlükte (<10 cm) hızlı bir şekilde taramayı aynı zamanda çalışma sırasında gözden kaçan alanların tekrar tekrar incelenebilmesine de imkan vermesi açısından büyük bir olanak sunmaktadır.

Bugüne kadar İHA ile yapılan çalışmalarda optik hava fotoğrafları toplanmakta ve bunlar üzerinden çalışılmaktadır. Çözünürlükleri çok yüksek olsa da bu fotoğrafların kullanımında da bazı kısıtlamalar bulunmaktadır. Özellikle yoğun bitki örtüsü, karla kaplı zeminlerde yüzey kırığının tespiti veya zayıf renk zıtlığına sahip litolojik birimlerin farkını ayırt etmekte yetersiz kalabilmektedir. Bu sorunu çözmeye katkı koymak amacıyla çalışmada optik fotoğraflarla birlikte termal kızıl kızılötesi (infrared,

IR) görüntüleme teknolojisi, yüzey sıcaklık varyasyonlarını algılama kapasitesi sayesinde alternatif bir yaklaşım sunmuştur.

Termal sensörler, nesnelerin yaydığı kızılötesi radyasyonu algılayarak dünya yüzeyindeki sıcaklık değişimlerini ortaya koyarlar. (Frodela vd., 2017). Kızılötesi Termografi (IRT) yöntemi endojen ısı kaynaklarının tespitinde (Lunina ve Gladkov, 2022), karstik alanlarda gelişen düden yapılarının belirlenmesinde (Lee vd., 2016), yamaç stabilitesinin değerlendirilmesinde (Melis vd., 2020) kayalardaki kırık ağlarının ana kaya ile olan bağlantı derecesinin analizinde (Grechi vd., 2021, Fioruccio vd., 2018) başarıyla uygulanmıştır.

Termal sensörler bitki örtüsü, anakaya, farklı jeolojik birimler ve yapıların ayırt edilmesinde de kullanılmıştır. Sabins (1969) Güney Kalifornia da yaptığı yaptığı çalışmada kumul, bitki örtüsü ve silttaşı gibi farklı türdeki malzemelerin ayırt edilmesinde hava aracına monte edilmiş termal tarayıcıları kullanmış, bölgenin pankromatik hava fotoğraflarında belirli litolojik veya topografik fark olmamasına rağmen termal görüntüleme ile farklı yapıdaki kumtaşı tabakalarının kontrast oluşturması ile bölgedeki antiklinal yapısını ortaya koymayı başarmıştır.

1966 yılında (Wallace ve Moxham) San Andreas Fay hattının izlenmesine yönelik yapılan çalışmada fay nedeniyle hareket eden eski dere yatakları, toprak kaymaları, fayın oluşturduğu mikrotopoğrafyaya bağlı su bariyeri etkisi ve bunun sonucunda oluşan toprak nemi farklılıkları ve farklı kayaç birimlerini termal görüntüleme ile analiz edilebilmiştir. Çalışmada gün doğmadan hemen önce ve hemen sonra görüntüler alınmış olup gün doğmadan alınan görüntülerde anomalilerin daha belirgin görüldüğünü ortaya koymuştur.

Fay hatlarının IR görüntüleme ile izlenmesine yönelik bir başka çalışma da Tronin (1996) tarafından Orta Asya'da 10 yıl boyunca 10000'den fazla NOAA uydusunun gece görüntüsü analiz ederek yapılan birkaç santigrat derecelik pozitif anomali olarak gözlenen Kopetdag fay hattı ve Karatau Fay hattına karşılık gelen sırasıyla 25 – 50 km genişliklerinde, 500 – 300 km uzunluklarında kararlı lineer anomaliler tespit etmiştir. Bu anomalilerin jeolojik ve hidrojeolojik yapıların sabit özelliklerinden kaynaklı olduğunu ortaya sürmüştür. Uydu görüntüleri ile yapılan bu çalışmada fay hattının başarılı bir tespiti görülmekle beraber uydudan sağlanan görüntülerin çözünürlüklerinin düşük olması nedeniyle (1.1 km) faya ait morfolojik yapıları ortaya

koyamamıştır. Benzer bir çalışma da Wu ve diğ. (2012) tarafından Landsat uydu görüntüleri kullanarak Batı Sichuan Havzası'ndaki Güney Longmen Dağları bindirme kuşağı bölgesinde yapılan çalışmada 3B sismik jeofizik verisi üzerinde IR termal anomalileri değerlendirerek anomali alanlarının tektonik fayların eğim doğrultusu ile koralasyon gösterdiğini, fayların birleşim yerlerinde daha yüksek sıcaklık zirveleri oluşturduğu tespit edilmiştir.

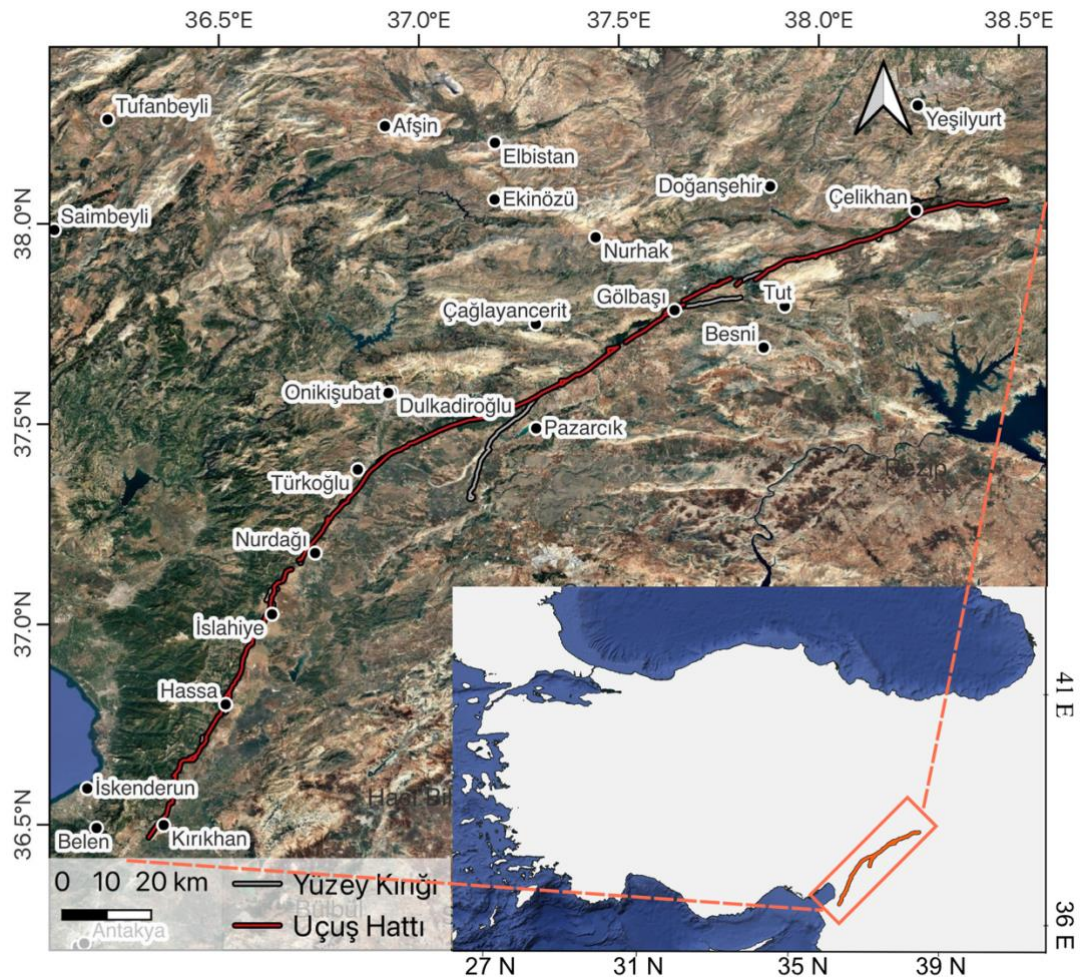
Bu öncü çalışmalar jeolojik yapıların tespitinde, bitki örtüsünün ayrıştırılmasında ve fay hatlarının belirlenmesinde termal kızıl ötesi görüntülerin kullanılabileceği ortaya koymuştur.

Bununla birlikte, büyük depremlerin yüzey kırıklarını haritalamak için bugüne kadar termal kızıl ötesi teknolojisi hiç uygulanmamıştır. Bu çalışmada önceki yaklaşımlardan farklı olarak termal kızılötesi görüntüleme yeni yüzey kırıklarının haritalamadaki potansiyelini görmek amacıyla, 6 Şubat 2023' de gerçekleşen Pazarcık depreminin (Mw 7.7, Kandilli) yüzey kırığı boyunca İHA kullanılarak elde edilen yüksek çözünürlüklü termal ve optik görüntüler analiz edilmiştir. 280 kilometrelik hat boyunca farklı tarih, saat ve çevresel koşullarda toplanan optik ve termal görüntüler üzerinden yüzey kırığının termal sinyalleri araştırılmıştır. Termal görüntü ve optik hava fotoğraflarını kullanarak yaptığımız haritalamada termal görüntülerin optik hava fotoğrafları gibi deprem yüzey kırığını gösterdiği hatta optik hava fotoğraflarının yetersiz kaldığı deprem yüzey kırığının orman örtüsü altında ilerlediği alanlarda da termal görüntülerin yüzey kırığını tespit edebildiğini ve gelecek deprem yüzey kırıklarının haritalanmasında kullanılabilecek bir teknoloji olduğunu göstermiştir.



2. ÇALIŞMA ALANI

Bu çalışma 6 Şubat 2023 tarihinde ardışık olarak meydana gelen merkez üsleri sırası ile Pazarcık ve Elbistan olmak üzere Mw. 7.7 ve Mw 7.6 büyüklüğündeki depremlerinin ilkinin yüzey kırığına yoğunlaşmaktadır. Bu deprem sonucu güneyde Kırıkhan kuzeyde Çelikhan'ın kuzeyine kadar uzanmaktadır (Şekil 2.1). Şekil 2.2'de çalışma alanına ait topografik yükseklik haritası görülmektedir.



Şekil 2.1 : Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Yüzey kırığı Türkiye'nin Doğu ve Güneydoğu Anadolu bölgesinde güneybatı-kuzeydoğu doğrultulu olarak konumlanmıştır. Hatay'dan Türkoğlu'na kadar Amik Ovası ve Amanos Dağları'nın eteklerini takip etmektedir (Şekil 2.3). Amik Ovası'nın ortalama yüksekliği 550 metredir. Yüzey kırığı Türkoğlu'nda büküm yaparak

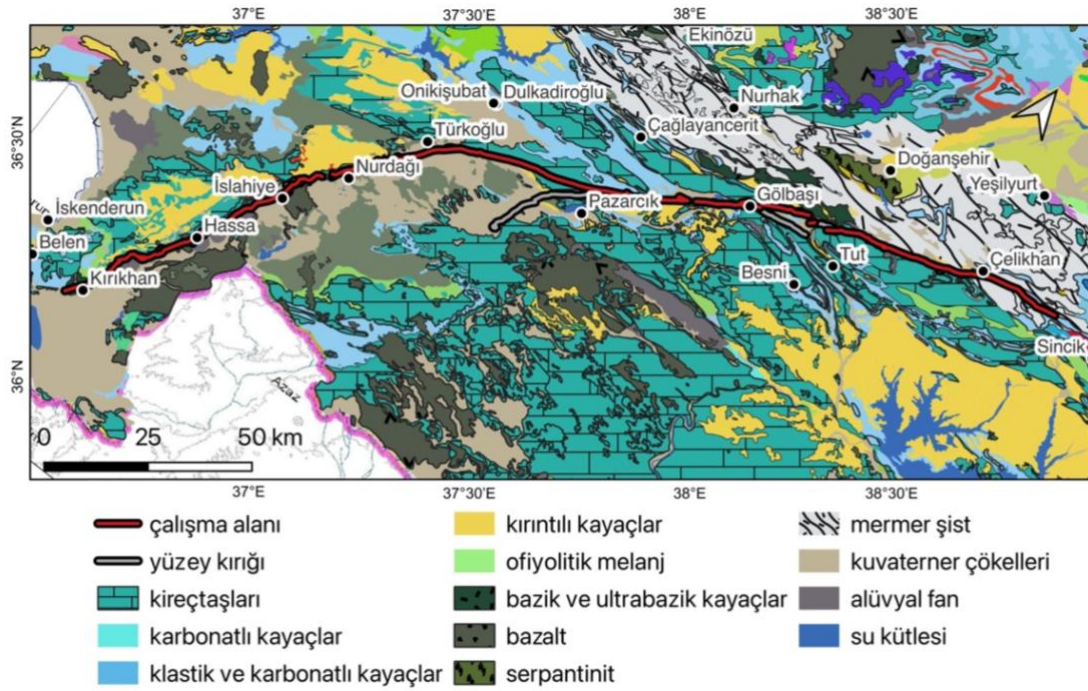
Doğu Anadolu Fay Zonu'nu (DAFZ) oluşturmaktadır (McKenzie, 1972; Dewey ve diğ., 1986; Şengör ve Yılmaz, 1981). Doğu Anadolu Fay Zonu kuzeydoğuda Avrasya ve Arap levhalarının arasındaki hareketin dağıldığı Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ), Doğu Anadolu Fay Zonu (DAFZ), Varto Fay Zonu'nun birleştiği Karlıova Üçlü Eklemini ile sınırlanmaktadır (Arpat ve Şaroğlu, 1972; Gülen ve diğ., 1987). Türkoğlu yakınlarında Ölüdeniz Fayı (ÖDF) ile birleşerek Kahramanmaraş Üçlü Eklemini oluşturmaktadır (Jackson ve McKenzie, 1984; Hempton, 1987; Muehlberger ve Gordon, 1987).

Fay zonu üzerindeki toplam yer değiştirme yaklaşık 22 ila 27 kilometredir (Arpat and Şaroğlu, 1972, 1975; Yalein, 1978). Kinematik düzeltme yapılarak elde edilen bulgulara göre ise 30 mm/yıl olarak tespit edilmiştir (McClusky ve diğ., 2000). Çalışmada dil birliği oluşması açısından 2013 yılında Duman ve Emre tarafından önerilen fay bölümlenmesi kullanılmıştır.

DAFZ üzerindeki depremlerin uzun tekrarlanma periyotları ile gerçekleştiği bilinmektedir. Tarihsel bulgular DAFZ' nun Pazarcık segmentinde 1114 yılında ($M = 6.9$) ve 1513'de gerçekleşen (Karabacak ve diğ., 2011; Duman ve Emre, 2013) tarihsel depremlerin olduğu bilinmektedir. 1872 yılında Amik Ovası'nda gerçekleştiği bilinen deprem ($M_w 7.2$) ve 1893 yılında yaşanan Malatya depremi ($M_w 7.1$) bölgedeki fayların hala aktif olduğunu göstermektedir (Ambraseys 2009, Güvercin, 2022). Amanos segmentindeki bilinen tarihi deprem ise 1822 tarihinde gerçekleşmiştir (Duman ve Emre, 2013). 6 Şubat 2023 Kahramanmaraş depremlerinin gerçekleşmesi ile Pazarcık segmentinde 500 yıldan fazla, Amanos segmentinde ise 200 yılı aşkın bir süre sonra deprem meydana gelmiştir.

2.2 Jeoloji ve Arazi Örtüsü

Kırık hattının en kuzeydoğusunda Çelikhane-Sincik arasında Karbonifer ve Mesozoyik yaşlı yer yer şistli mermer birimleri bulunmaktadır. Güneybatıya inildiğinde yüzey kırığının zayıflık zonu olan şistli mermer birimler ve kireçtaşları arasında yerleştiği görülmektedir. Devamında Gölbaşı-Pazarcık arasında yüzey kırığı kireçtaşları ve Pliosen-Kuvaterner yaşlı kırıntılı çökeller içerisinde seyretmektedir. Türkoğlunun güneyinde Hassa'ya kadar büyük ölçüde kuvaterner çökelleri içerisinde devam edip Kırıkhan çevresinde yer yer bazik ve ultrabazik kayalar içerisinde gözlenmektedir.



Şekil 2.4: Çalışma alanına ait litoloji haritası (Akbaş ve diğ., 2011 temel alınarak hazırlanmıştır).

Optik görüntülerde yüzey kırığı Çelikhan'ın güneydoğusunda gabro anakayası ve bu gruba dahil edilen ofiyolit kayalar ile birlikte, alüvyal birimlerin içerisinde belirgin olarak izlenmektedir. Gölbaşı'nda karbonatlı kayalar, Kartal çevresinde ise ofiyolitik kayalar yüzey kırığı boyunca gözlenmektedir. Pazarcık-Türkoğlu ve Nurdağı-Kırıkhan arasında yüzey kırığı sık sık bahçelerin ve ormanlık alanların içerisinde geçmektedir. Bölge genelinde anakaya, bahçeler, ormanlık alanlar ve tarım arazileriyle kaplı olduğundan çoğunlukla görülememektedir. En güneyde, Kırıkhan dolaylarında ise kumtaşı klastik sedimanları, ofiyolitik kayalar, yer yer serpantinitler ve alüvyal birimlerin içerisinde geçmektedir. Burada ofiyolitik birimler dışındaki alanlar genellikle bitki örtüsü ile kaplı ya da sürülmüş tarla konumunda olup yerel halk tarafından tarım alanı olarak kullanılan düzlükler ve ovalardan geçtiği görülmektedir.

3. ARAÇLAR, VERİ SETLERİ, YÖNTEM

3.1 Araçlar

Bu çalışmada, Matrice 300 RTK çok rotorlu insansız hava aracı (İHA) kullanılarak 200 ila 500 metre irtifalarda uçuşlar gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.1). Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) desteği sayesinde, elde edilen görüntüler santimetre düzeyinde konumsal doğrulukla kaydedilmiştir. Görüntüleme sürecinde, %85 örtüşme oranı ile veri toplayabilen zoom ve geniş açılı (wide) optik sensörlere sahip Zenmuse P1 kamerası ile optik, Zenmuse H20T kamerası ile hem optik hem de termal veriler elde edilmiştir. Optik görüntüler 10 santimetreden yüksek mekansal çözünürlükte, termal görüntüler ise 30 santimetre mekansal çözünürlükle toplanmıştır. Yüzey kırığının merkezde konumlandığı bir uçuş planı çerçevesinde görüntü alımı gerçekleştirilmiştir. Kullanılan İHA sisteminin hem optik hem de termal verileri gerçek zamanlı olarak izleyip kaydedebilen bir ekran arayüzüne sahip olması uçuş sırasında rotaya müdahale etme esnekliği tanımış olup optik ve termal görüntüler arasında anlık geçiş yapılarak yüzey kırığının görüntü alımı esnasında takibini mümkün kılmıştır.



Şekil 2.1 : Arazi çalışması sırasında kullanılan Matrice 300 RTK İHA.

3.2 Veri Setleri

Bu çalışmada kullanılan veri setleri, insansız hava aracı (İHA) sistemi ile elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntülerden ve uydu tabanlı görüntülerin analizinden oluşmaktadır. İlk veri kaynakları; termal ve optik drone görüntüleri olmak üzere bu görüntülerin işlenmesinden elde edilen dijital yüzey modeli, eğim ve bakı verileridir. Her bir uçuş anına ait meteoroloji istasyonlarından derlenmiş atmosferik veriler dronenotebook.com platformundan temin edilmiştir. Landsat-8 uydu görüntülerinden türetilen NDVI (Normalize Edilmiş Bitki Farkı İndeksi) ve NDMI (Normalize Edilmiş Nem Farkı İndeksi) değerleri, termal kızılötesi sıcaklık değerlerinin bitki örtüsü yoğunluğu ve nemlilik koşulları gibi çevresel faktörlerden etkilenip etkilenmediğini değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.

3.2.1 İHA tabanlı veri setleri

İnsansız hava aracına monte edilmiş optik ve termal kameralar ile elektromanyetik dalga sensörleri, farklı dalga boyu aralıklarında veri toplayabilmekte; bu verilerden görüntülerle birlikte nokta bulutu ve sayısal yükseklik modeli üretilebilmektedir. Üretilen verilerden uçuş tarihi, uçuş saati, konum bilgisi verileri elde edilebilmektedir.

3.2.1.1 Dijital yükseklik verisi

Dijital yükseklik verisi yeryüzündeki herhangi bir noktanın deniz seviyesinden yüksekliği bilgisini sayısal olarak temsil eden raster tabanlı veri setidir. Yaklaşık 10 cm mekânsal çözünürlüğe sahip bu veri seti optik görüntülerden elde edilmiş olup alan bazlı incelemelerde mikrotopografya etkisinin değerlendirmek amacıyla swath profil alımında kullanılmıştır.

3.2.1.2 Optik görüntü verisi

Optik görüntüler, elektromanyetik spektrumun görünür dalga boyu aralığında (400–700 nm) veri toplayan sensöre sahip Zenmuse P1 kamerası aracılığıyla üretilmiştir. Çalışmada İHA kullanımının başlıca nedeni yüksek çözünürlüğe sahip olmasıdır. Yer yer santimetre genişliğinde gözlenebilen yüzey kırılgının yüksek doğrulukla haritalanabilmesi yüksek mekansal çözünürlüğe sahip olması ile doğru orantılıdır. Güncel olarak çok bantlı görüntüleme yapabilen en yüksek çözünürlüklü uydu olan

WorldView-3 uydusu, multispektral modda 1.24 metre çözünürlük sunmakta iken bu çalışmada kullanılan görüntülerin mekânsal çözünürlüğü 10 santimetreden daha yüksek olup, bu yönüyle uydu görüntülerine kıyasla çok daha ayrıntılı veri sağlamaktadır.

Wide görüntülerin genişliği 500 metre olup çözünürlüğü 10 santimetre iken, zoom görüntülerinin genişliği ise 150 metre olup çözünürlüğü 5 santimetredir. 5 santimetre çözünürlüğe sahip verilerde yapılan denemeler sonucunda veri işleme aşaması çok uzun sürdüğünden bu çalışmada 10 santimetre çözünürlüklü görüntüler kullanılmıştır.

3.2.1.3 Termal kızılötesi verisi

Toplanan termal kızılötesi veriler üç temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar piksel değeri, radyometrik bilgi ve jeoreferans bilgisidir. Piksel değeri 30*30 santimetrelilik bir yüzeyden toplanan pikselin değerini ifade etmektedir. Radyometrik bilgi, görüntülerin kalibrasyonu sırasında kullanılarak bu piksel değerlerinin gerçek yüzey sıcaklıklarına dönüştürülmesini sağlamaktadır. Görüntü alımı sırasında kullanılan Gerçek Zamanlı Kinematik (RTK) sistemi sayesinde ise her bir piksel yüksek hassasiyetle coğrafi olarak konumlandırılmıştır. Bu sayede termal veriler, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) analizleri için uygun hâle getirilmiştir.

Bu çalışmada alınan termal görüntülerin çözünürlüğü 30 santimetredir. Günümüzde temel kızılötesi bantta veri sağlayan uydu tabanlı sistemlerin sunduğu en yüksek mekansal çözünürlüğün 30 metre ile sınırlı olduğu göz önünde bulundurulduğunda bu fark İHA tabanlı termal görüntülemenin farkını ortaya koymaktadır. Söz konusu yüksek çözünürlük özellikle yüzey kırıklarının detaylı haritalanmasına ve deprem kaynaklı deformasyonların tespitinde özgün ve yeni yaklaşımların geliştirilmesine olanak tanımıştır.

3.2.1.4 Atmosferik veri seti

Her bir uçuş hattı için uçulan gün ve saate göre meteorolojik istasyonlardan derlenen bilgiler kullanılmıştır. Derlenen atmosferik değişkenler arasında; bulutluluk oranı (%), görüş mesafesi (m), hava sıcaklığı (°C), rüzgar hızı (m/s), rüzgar yönü (azimutal açı) ve bağıl nem (%) bilgileri yer almaktadır (Çizelge 3.1). Bu veriler özellikle termal görüntülerin yorumlanmasında çevresel koşulların etkisini değerlendirmek amacıyla kullanılmıştır.

Çizelge 3.1: İHA uçuşlarına ait örnek atmosferik veriler.

<i>Zaman</i>	<i>Tarih</i>	<i>X Koordinat</i>	<i>Y Koordinat</i>	<i>Bulutluluk</i>	<i>Görüş Mesafesi</i>	<i>Hava Sıcaklığı</i>	<i>Rüzgar Hızı</i>	<i>Rüzgar Yönü</i>	<i>Bağıl Nem</i>
18:03	31.05.23	354095,20	4162322,81	27	24	21	13	0	47
10:33	31.05.23	354780,23	4162865,53	5	24	20	6	0	41
10:33	31.05.23	354781,28	4162872,45	5	24	20	6	0	41

3.2.2 Uydu tabanlı veri setleri

Uydu tabanlı veri setleri NDVI, NDMI ve sayısal yükseklik modeli oluşturulmak için kullanılmış olup NDVI ve NDMI için Landsat 8 uydusu, ikincil amaçla kullanılan sayısal yükseklik modeli için ise ALOS PALSAR uydusuna ait görüntüler kullanılmıştır.

3.2.2.1 Normalize edilmiş bitki ve nem farkı indeksleri (NDVI & NDMI)

Arazi örtüsü ve nemlilik gibi çevresel parametrelerin analizinde kullanılan farklı uydu görüntüleri mevcut olmakla birlikte NDVI ve NDMI değerlerinin analizi için Google Earth Engine platformunun kullanım kolaylığı sebebiyle Landsat 8 uydusuna ait görüntüler tercih edilmiştir. Bu uydu, ABD Jeoloji Araştırmaları Kurumu (USGS) ve Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (NASA) tarafından yürütülen Landsat programı kapsamında faaliyet göstermektedir. Landsat 8, her 16 günde bir aynı bölgeden geçiş yaparak 30 metre mekânsal çözünürlükte veriler üretmektedir.

Çizelge 3.2:NDVI ve NDMI indeksleri için kullanılan uydular ve özellikleri.

<i>Uydu</i>	<i>NDVI Bantları (RED/NIR)</i>	<i>NDMI Bantları (NIR/SWIR)</i>	<i>Çözünürlük</i>
<i>Landsat 8</i>	B4 / B5	B5 / B6	30 m
<i>Sentinel-2</i>	B4 (RED) / B8 (NIR)	B8 / B11 (SWIR1)	10–20 m
<i>MODIS</i>	B1 / B2	B2 / B6	250–500 m

NDVI ve NDMI verileri için arazi çalışması aşamalı yapıldığından verilerin alındığı tarihe en yakın görüntüler tercih edilmiştir. Pazarcık-Kırıkhan arasını oluşturan birinci arazi çalışmasını kapsayan alan için bulutluluk nedeniyle en yakın 22 Şubat 2023 tarihli görüntü, ikinci arazi çalışmasını kapsayan Pazarcık-Sincik arası için ise 30 Haziran 2023 tarihli Landsat 8 görüntüleri kullanılmıştır.

3.2.2.2 İkincil sayısal yükseklik modeli verisi

Küçük ölçekli haritalarda yüksek çözünürlüklü görüntülerle çalışmanın dezavantajlarını gidermek amacıyla Alaska Satellite Facility (ASF) Distributed Active Archive Center (DAAC) portalı üzerinden erişilen 12.5 m çözünürlüğe sahip ALOS PALSAR L-band radar verileri genel yükseklik eğrisinin elde edilmesinde ve küçük ölçekli haritalarda altlık olarak kullanılmıştır.

3.3. Yöntem

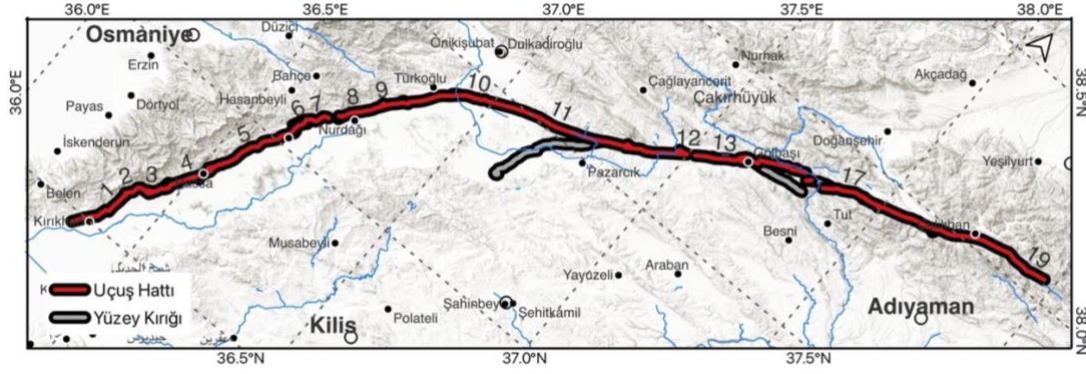
Çalışmada öncelikle arazi kısımları tamamlanmış olup toplanan optik ve termal veriler işlenerek Coğrafi Bilgi Sistemleri yazılımlarında kullanılabilir formata getirilmiştir. Ardından analizler yapılmış ve elde edilen bulguları daha kapsamlı yorumlamaya izin verecek NDVI, NDMI ve güneşlenme değerleri hesaplanmıştır.

3.3.1 Optik ve termal verilerin toplanması

Optik ve termal görüntüler Kahramanmaraş depremlerini izleyen ilkbahar (Mart 2023) ve yaz (Mayıs, Haziran 2023) aylarında olmak üzere iki farklı arazi çalışması sonucunda 15 günde toplanmıştır (Şekil 3.2). Toplamda 60 uçuş yapılmış ~280 kilometrelik alan görüntülenmiştir (Şekil 3.3). 60 uçuş toplamda 19 uçuş hattına bölünerek veriler işlenmiştir. Uçuş hatlarına ait bilgiler ekler kısmında belirtilmiştir. Her bir uçuş uzunluğu birkaç kilometreden 8 kilometreye kadar değişebilmektedir. Hava koşulları, dronun batarya ve bellek kapasitesi uçuşun uzunluğunu belirleyen önemli sınırlamalar olmuştur.



Şekil 3.2: Birinci ve ikinci arazi çalışmaları sonucu toplanan görüntülerin lokasyonel dağılımı.



Şekil 3.3: 60 uçuşu içeren 19 uçuş hattının uçuş numaraları ve konumsal dağılımı.
(*Her bir uçuşa ait görüntü, alınan gün, saat ve bulutluluk bilgileri için Ek A'ya bakınız)

3.3.2 Optik ve termal verilerin işlenmesi

Termal görüntüler R-JPEG formatında kaydedilmiş olup optik görüntülerle birlikte işlenebilmeleri amacıyla radyan değerlerine dönüştürülmüştür. Bu dönüşümün ardından, tüm görüntüler 16-bit TIFF formatına aktarılmış ve fotogrametri yazılımı olan Agisoft Metashape Pro kullanılarak dört aşamalı Structure from Motion (SfM) algoritmasına tabi tutulmuştur. Bu süreç; (i) görüntü hizalama, (ii) yoğun nokta bulutu oluşturma, (iii) sayısal yüzey modeli (SYM) üretimi ve (iv) ortomozaik üretimi adımlarını içermektedir. Elde edilen coğrafi referanslı ortomozaiklerden dijital yüzey modelleri üretilmiştir. Termal ve optik görüntülerin üst üste çakıştırılması yoluyla yüzey kırıklarının coğrafi dağılımını daha net bir şekilde ortaya koyarak çalışma alanının daha kapsamlı şekilde haritalanmasına olanak sağlamıştır.

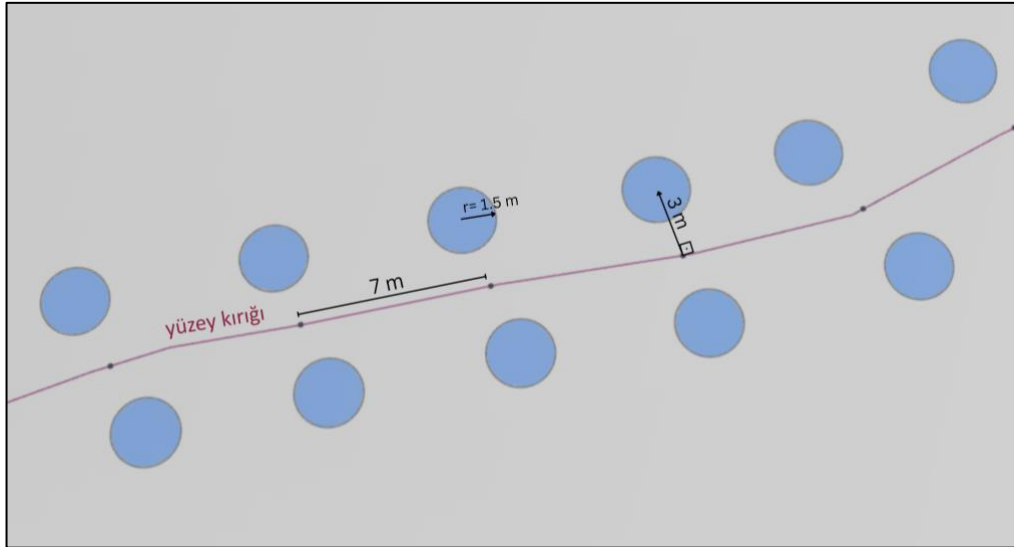
Çizelge 3.3: İHA görüntülerinin işlenmesine yönelik adımlar.

1. R-JPEG formatında alınan görüntülerin optik görüntülerle beraber işlenebilmesi amacıyla radyan değerlerine dönüştürülmesi,
2. UAV ile alınan görüntüler 16-bitt TIFF formatında işlenerek üç aşamalı ön işleme tabi tutulması
a. Görüntü kalibrasyonu
b. Histogram uyarlama
c. Coğrafi referanslama
3. Optik ve termal görüntülerin deprem sonrası yüzey kırığı tespitinde kullanılması

3.3.3 Optik ve termal verilerin analizi

Elde edilen optik ve termal kamera görüntüleri kullanılarak yüzey kırığı haritası oluşturulmuştur. Bu harita temel alınarak yüzey kırığı üzerinde 7 şer metre ara ile noktalar konuşmuştur. Yüzey kırığının çevresel sıcaklığını tespit etmek amacı ile yüzey kırığına dik olacak şekilde her iki tarafa 3 metre uzaklıkta noktalar atanmış ve çevresel sıcaklıkları daha doğru şekilde yansıtabilmesi için bu noktalara 1,5 metre yarıçapında bir tampon alan oluşturulmuştur (Şekil 3.4). Bu işlem yüzey kırığı üzerindeki anomali değerlerini düşürüp yansıtıcı olabileceğinden yüzey kırığı üzerindeki noktalara tampon alan uygulanmamıştır. Termal anomaliler, yüzey kırığı üzerindeki sıcaklık değerleri ile çevresel ortalama sıcaklık değerleri arasındaki farklar üzerinden tanımlanmıştır. Yüzey kırığı üzerindeki her bir noktanın termal sıcaklık değerinden ona karşılık gelen çevresel noktaların ortalama sıcaklık değerleri çıkarılarak anomali değeri hesaplanmıştır. Bu tanımlamada yüzey kırığı üzerindeki noktaların sıcaklık değerleri doğrudan alınmış, noktaya karşılık gelen tampon alanların sıcaklık değerleri ise ortalaması hesaplanarak alınmıştır. Bu yöntemle yüzey kırığı üzerindeki anomali değerleri mekansal olarak elde edilmiştir.

Anomali değeri = (Yüzey kırığı üzerindeki noktanın temal piksek değeri) – (yüzey kırığına dik her iki yönde 3 m mesafedeki 2 noktanın tampon alanlarının ortalama değeri)



Şekil 3.4: Yüzey kırığı üzerindeki örneklem noktaların ve tampon alanların şematik dağılımı.

Yüzey kırığı üzerindeki noktalar boylam koordinatlarına göre sıralanarak yüzey kırığı üzerindeki TIR sıcaklığı, anomali değerleri ve çevresindeki ortalama TIR sıcaklık değerlerine ait grafikler elde edilmiştir. Gerekli görülen alanlarda swath profiller alınarak sıcaklık verilerinin sistematik şekilde incelenmesi daha anlamlı veri analizi yapılmasına olanak tanımıştır.

Swath profilleri basit çizgi profillerindeki keyfiliği önlemek amacıyla belirlenen alana ait temel çizgiden aynı mesafede bulunan piksel değerlerinin istatistiksel parametreleri (minimum, ortalama, maksimum vb.) hesaplamak için geliştirilen sayısal yükseklik modeli (SYM) tabanlı bir yöntem olarak kabul edilir (Telbisz et al., 2013). Çalışmada swath profillerin çıkarılmasında açık kaynaklı ve Python tabanlı bir yazılım olan PyOSP kullanılmıştır. Bu çalışmada geniş bir profil hattı boyunca sıcaklık verilerinin sistematik bir şekilde işlenmesine ve yüzey anomalilerinden daha anlamlı bir veri analizi yapılmasına olanak tanımıştır.

3.3.4 NDVI ve NDMI indekslerinin kullanımı

Termal sinyallerin bitki örtüsüyle nasıl etkileşime girdiğini anlayabilmek, bitki örtüsünün varlığı ve yoğunluğu hakkında bilgi sağlamak için NDVI değerleri analiz edilmiştir. Her arazi çalışması için görüntülerin alındığı tarihlere en yakın ve bulutluluğu en düşük görüntüler olan 22.02.2023 ve 30.06.2023 tarihli Landsat-8 görüntüleri kullanılmıştır.

Bitki örtüsünün yağunluğunu tespit etmek amacıyla NDVI indeksinin hesaplanması için Landsat 8 uydusu 0.64 – 0.67 μm (RED) , 0.85 – 0.88 μm (NIR) dalgaboyunda sırasıyla bant 4 ve bant 5 kullanılmış olup aşağıdaki denklem uygulanmıştır.

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} + \text{RED}) / (\text{NIR} - \text{RED}) \quad (3.1)$$

Bitki örtüsünün ve yüzeyin nem içeriğini ölçmek için ise NDMI indeksi kullanılmıştır. Böylece termal değerlerin nem bilgisi ile ilişkisi değerlendirilmek istenmiştir. NDMI indeksi 0.85 – 0.88 μm (NIR) ve 1.57 – 1.65 μm (SWIR1) dalgaboylarında olan sırasıyla bant 5 ve bant 6 bilgileri kullanılarak aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır.

$$\text{NDMI} = (\text{NIR} - \text{SWIR1}) / (\text{NIR} + \text{SWIR1}) \quad (3.2)$$

3.3.5 Güneşlenme değerlerinin çıkarılması

Her bir noktanın güneş ışınlamına maruz kalma miktarını nicel olarak değerlendirebilmek amacıyla, güneşlenme değeri, topoğrafyanın geometrik özellikleri olan eğim, bakı ve görüntülerin alındığı ana ait güneş yönü ve yüksekliğine ait parametreler kullanılarak hesaplanmıştır. Bu hesaplama, Lambert'in kosinüs yasasına dayanan aşağıdaki trigonometrik model aracılığıyla gerçekleştirilmiştir:

$$I = \sin(h) \cdot \cos(s) + \cos(h) \cdot \sin(s) \cdot \cos(a_s - a) \quad (3.3)$$

Burada:

I : Güneşlenme değeri,

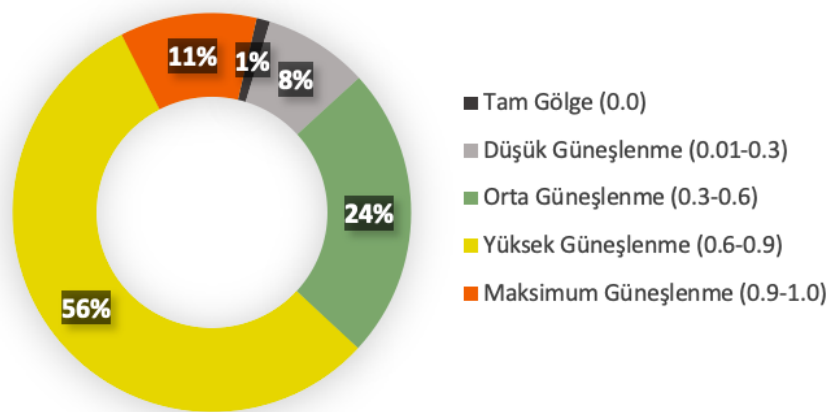
h : güneş yüksekliği açısı (solar altitude),

a_s : güneş azimutu (solar azimuth),

s : eğim açısı (slope),

a : bakı (aspect)

Bu formül, gelen güneş ışınının yönü ile arazinin yüzey normali arasındaki açısal ilişkiye göre, yüzeyin aldığı doğrudan ışınlam oranını hesaplar. Eğimli yüzeyler, güneş ışınlarına dik konumlandığında maksimum güneşlenme değeri olan 1'e ulaşırken, güneş ışını ile yüzey normali arasında geniş açılar olduğunda güneşlenme değeri sıfıra yaklaşmaktadır. Negatif sonuçlar fiziksel olarak gölgeyi ifade ettiğinden, bu değerler sıfıra eşitlenmiştir. Bu yöntem sayesinde, her bir pikselin veya noktanın arazideki konumuna ve zaman dilimine özgü olarak aldığı göreceli güneşlenme miktarı belirlenmiştir. Sahada toplanan verilere bakıldığında verilerin %80'lik kısmının yüksek ve orta güneşlenme etkisinde bulunduğu görülmüştür (Şekil 3.4).



Şekil 3.5: Alınan verilerde güneşlenme değerlerinin dağılımı.



4. BULGULAR

Çalışmada, termal sıcaklık verilerinin diğer çevresel verilerle ilişkisini ortaya koymak amacıyla yüzey kırığına ait sıcaklık değerleri, anomali değerleri ve bu anomalilerin çevresel parametrelerle olan ilişkileri incelenmiştir. Böylece yüzey kırığının termal izinin yalnızca mutlak sıcaklıklarla değil, aynı zamanda çevresel bağlamda anlam kazanıp kazanmadığı da değerlendirilmiştir.

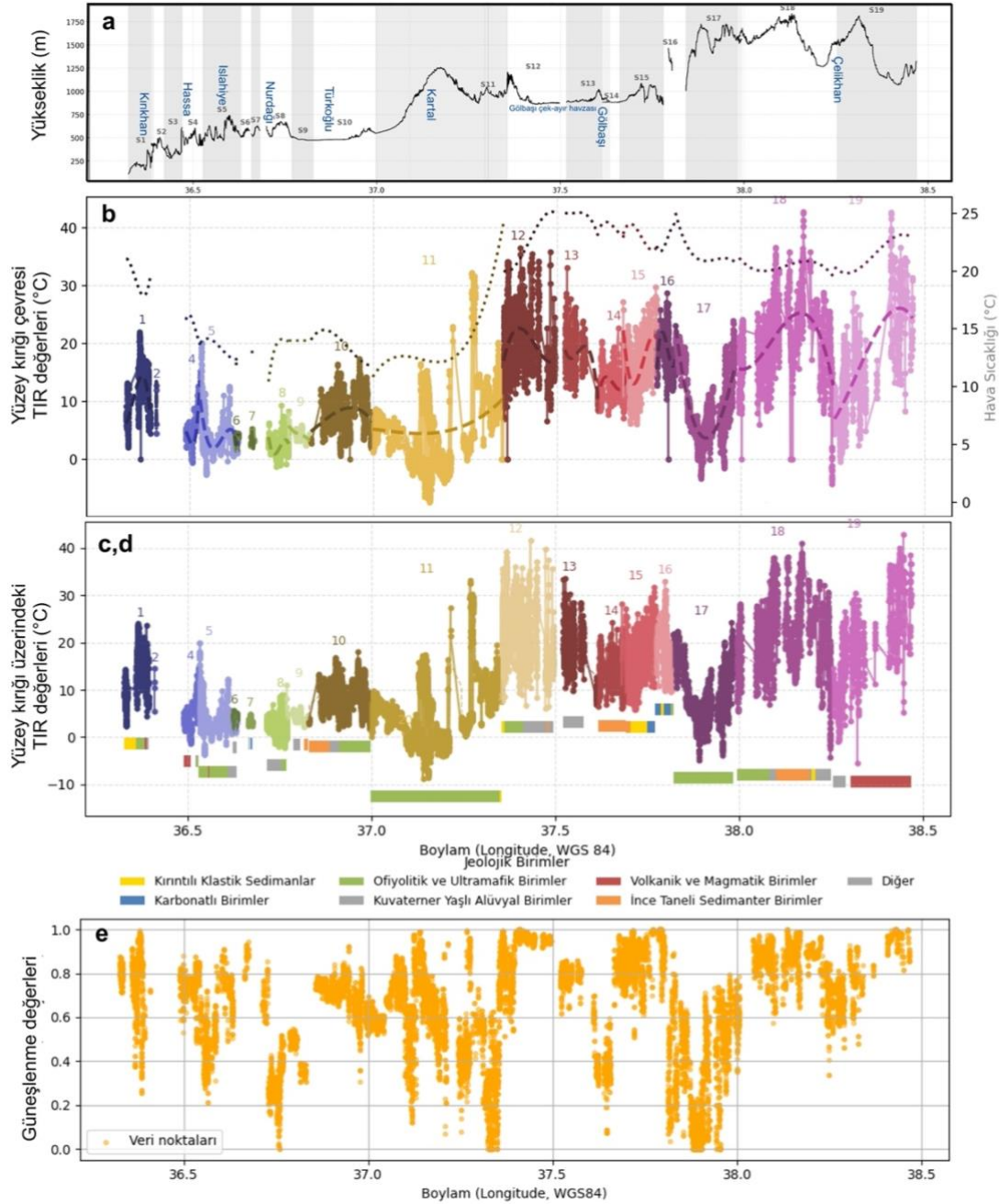
4.1 Sıcaklığın Mekansal Değişimi

Sıcaklık değerlerinin mekansal dağılımı kırığının üzerindeki ve çevresindeki sıcaklık değerleri bunun yanı sıra çevresine kıyasla oluşturduğu sıcaklık farkına dayanan anomali değerleri üzerinden incelenmiştir. Termal sıcaklık grafiklerinde her bir renk farklı uçuş hattını temsil etmekte olup üzerlerinde aynı renklerle uçuş numarası belirtilmiştir. Yüzey kırığı ve çevresindeki değerlerin kesikli çizgi ile ifade edilen polinomal eğrilerinin kırık boyunca benzer dalgalanmalı bir seyir izlediği görülmektedir (Şekil 4.1b,c). Bunu değerlendirmek için Şekil 4.1b' ye görüntülerin alındığı gün ve saatteki hava sıcaklığı bilgileri eklenmiştir. Bunun yanı sıra yüzey kırığı üzerindeki termal sıcaklık değerleri ve yüzey kırığına ait litolojik bilgi de değerlendirilmiştir (Şekil 4.1c,d). Ancak litolojik birimler aynı olsalar bile alterasyon ve aşınım miktarları farklı olduğundan litoloji ve termal veri arasında doğrudan bir ilişki gözlenmemiştir. Eğim, bakı, güneşin geliş açısı ve yüksekliği parametreleri yüzey sıcaklığına etki edebileceğinden bu veriler kullanılarak güneşlenme etkisi (Şekil 4.1e) hesaplanmış böylece daha bütüncül bir bakış açısı sunulmak istenmiştir.

Şekil 4.1a,b' ye bakıldığında yüzey kırığı çevresindeki sıcaklık değerlerinin topografik olarak yüksek alanlarda daha yüksek seyrettiği görülmektedir. Yüzey kırığı üzerindeki yükseklik profilinin yerel maksimumlar verdiği alanlar ile her bir uçuş hattı için yerel maksimumun görüldüğü alanların önemli ölçüde uyduğu gözlenmiştir.

1-11 arası uçuşlar birinci arazi çalışması (Mart 2023), 12-19 arası uçuşlar ise ikinci arazi çalışması (Mayıs, Haziran 2023) sırasında toplanmış olup yüzey kırığı ve

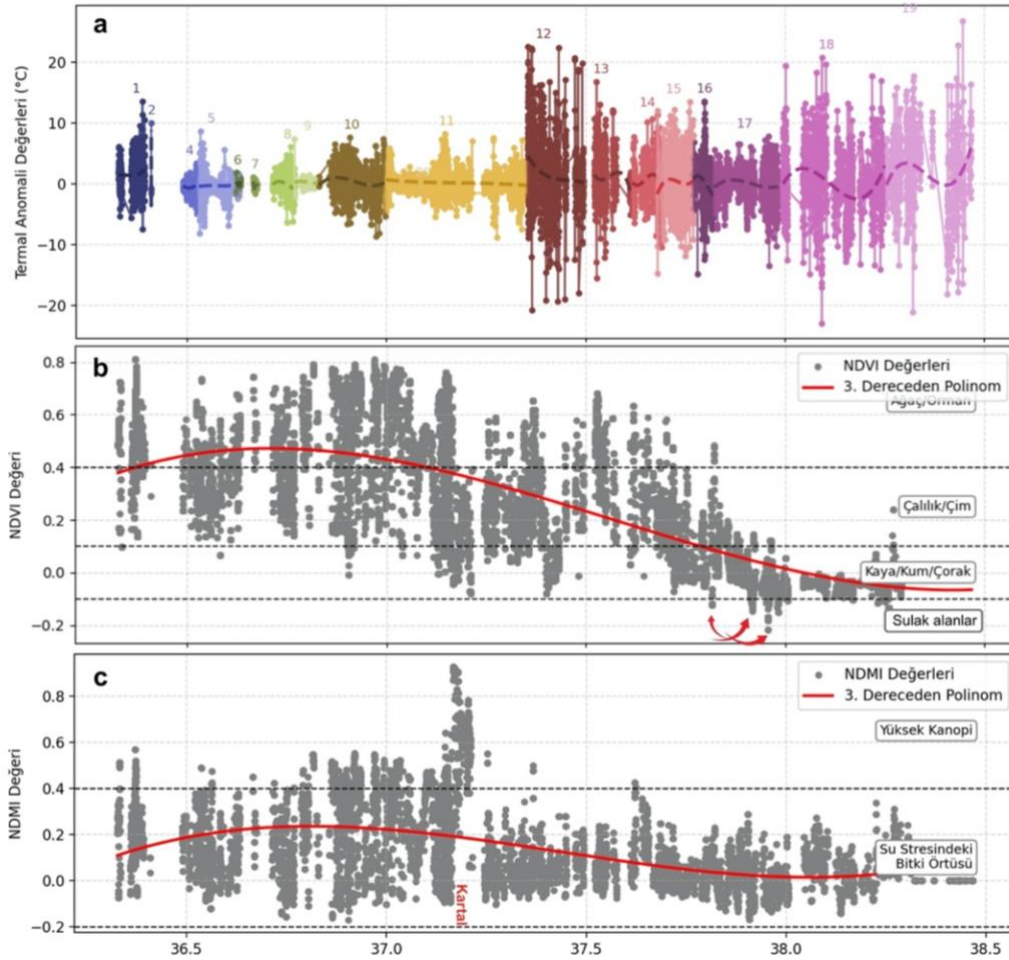
çevresine ait sıcaklık değerlerine bakıldığında Mayıs ve Haziran aylarında toplanan görüntülerde yüzey sıcaklığı değerlerinin hava sıcaklığının etkisiyle ortalamanın üzerinde seyrettiği görülebilmektedir (Şekil 4.1b).



Şekil 4.1: Yüzey kırığının yükseklik profili (a), yüzey kırığı çevresindeki (b) ve kırık üzerindeki (c) TIR sıcaklık değerlerinin dağılımı hava sıcaklığı litoloji (d) ve güneşlenme değerleri ile birlikte (e)

4.2 NDVI ve NDMI Değerlerinin Anomaliler ile İlişkisi

Normalize Edilmiş Nem Verileri ve Bitki Örtüsü verileri ile anomali değerleri arasında ilişki kurulmak istenmiştir. Termal anomali değerlerine bakıldığında mayıs ve haziran aylarında alınan görüntülerdeki yüzey kırığının çevresine kıyasla oluşturduğu anomali değerinin 10 derecenin üzerinde seyrettiği ve mart ayında alınan görüntülere kıyasla 2 kattan daha fazla sıcaklık farkının olduğu görülmektedir (Şekil 4.2a, Çizelge 4.1). Bu durum büyük ölçüde yaz aylarındaki hava sıcaklıklarının daha yüksek seyretmesi ile ilişkilendirilmiştir. Anomali değerlerine bakıldığında pozitif ve negatif sıcaklık değerleri yakın lokasyonlarda gözlemlenmektedir. Bu örneklerle yakından bakıldığında haziran ayındaki görüntülerde yüksek negatif değerlerin önemli bir kısmının arazideki bireysel veya seyrek ağaçların üzerine gelen piksel değerlerinin oluşturduğu görülmüştür.



Şekil 4.2: Sıcaklık anomalilerinin (a), NDVI (b) ve NDMI (c) değerlerinin mekansal dağılımı

Çizelge 4.1: Arazi çalışmalarına ait mutlak anomali değerlerinin ortalamaları.

Ortalama Mutlak Anomali Değerleri	
1. Arazi Çalışması (Mart)	2. Arazi Çalışması (Mayıs - Haziran)
2,1 °C	5,1 °C

NDVI değerlerinde -0.1'in altında görülen kırmızı ok ile işaretli alanlar su alanının varlığına işaret etmekte olup Erkenek yakınlarındaki baraj alanı ile örtüşmektedir. Bu durum haziran ayında alınmasına rağmen uçuş 17'de görülen düşük anomalinin nedeni olarak da görülebilir. NDVI değerlerine bakarsak ağaç ve orman varlığının ortamı serin tutarak anomali değerlerini düşürdüğü, alanın kaya, kum veya çorak arazi olması durumunda da anomali değerlerinin belirgin şekilde gözlemlendiği ortaya konulmuştur (Şekil 4.2b).

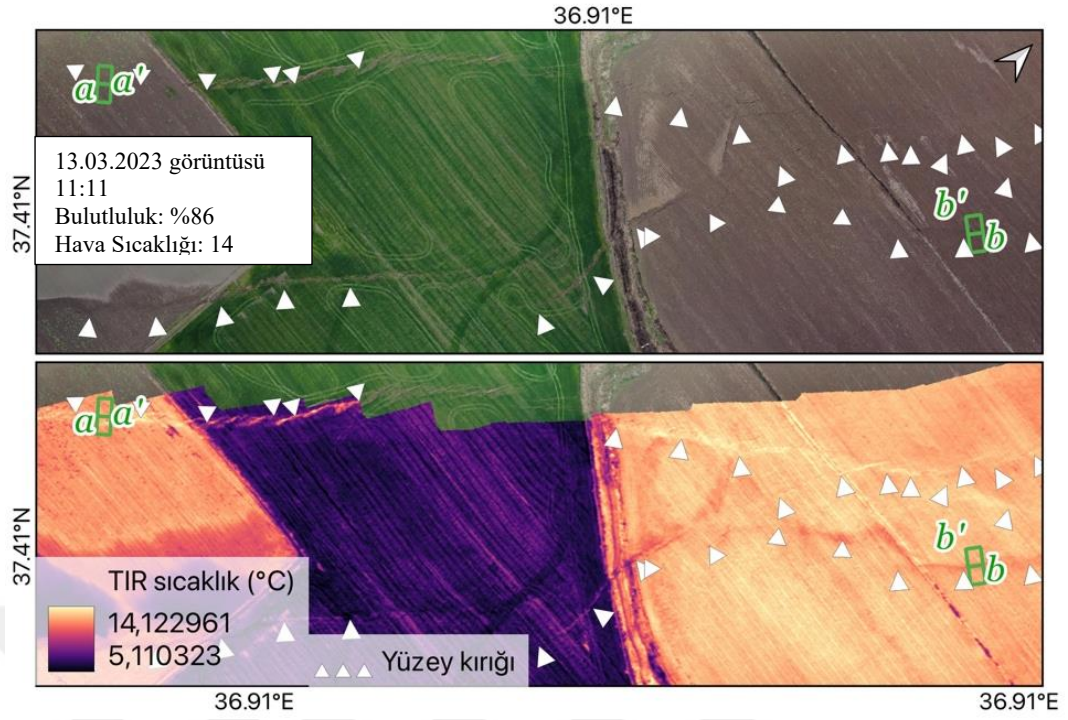
NDMI verilerine bakıldığında yüksek kanopi değerlerini temsil eden noktaların ormanlık veya yoğun ağaçlık alanlarla örtüştüğü görülmektedir (Şekil 4.2c). Buna göre kırığın kuzeybatısında anakaya veya açık yüzeyler daha belirgin şekilde görüldüğü optik görüntülerden de doğrulanmıştır. NDMI değerinin zirve verdiği konum Kartal olup yüzey kırığı burada sık ormanlık alanın içerisinde seyretmektedir. Özellikle Kartal'ın güneybatısında yüzey kırığının yer yer sık ağaçlık alanların içerisinde geçtiği gözlemlenmiştir. Anomali değerleri mutlak değer içerisinde değerlendirilerek NDMI verileri ile kıyaslandığında yüksek kanopi alanların su stresindeki alanlara kıyasla ~3 kat daha düşük anomali gösterdiği tespit edilmiştir (Çizelge 4.2).

Çizelge 4.2: NDMI aralıklarına göre mutlak anomali değerlerinin ortalamaları.

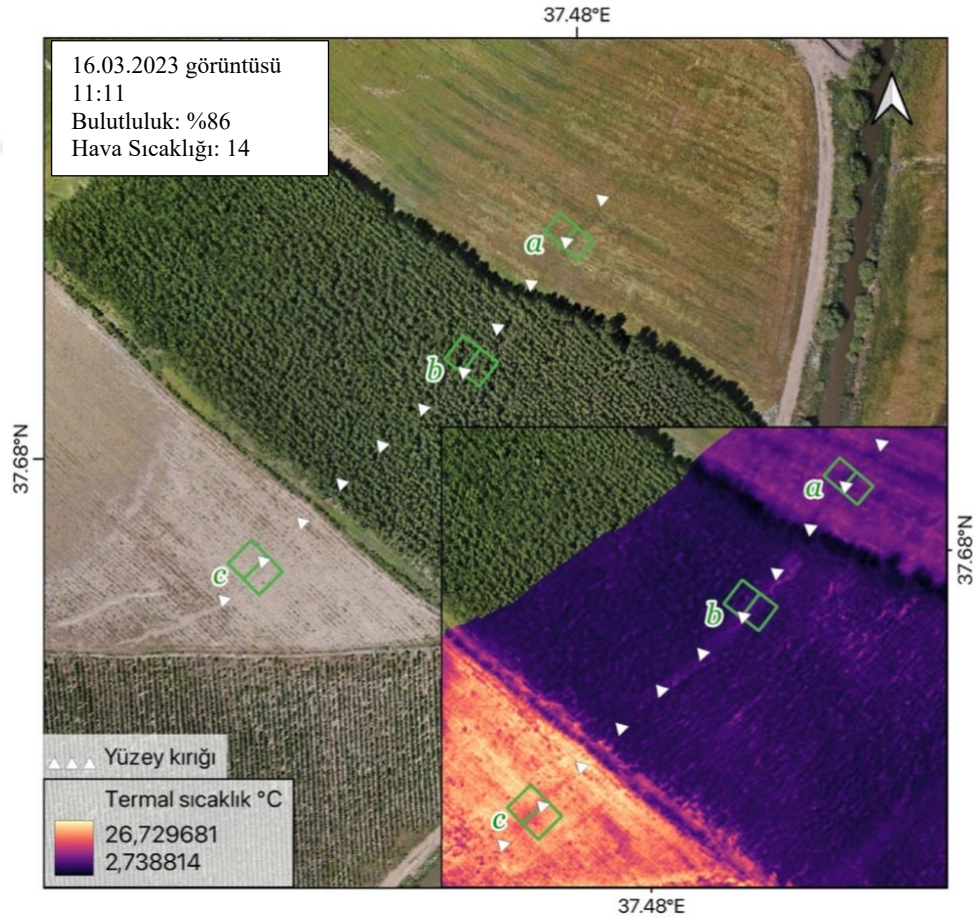
NDMI ve Ortalama Mutlak Anomali Değerleri		
-1 to -0.2	-0.2 to 0.4 (Su stresindeki bitki örtüsü)	0.4 to 1 (Yüksek kanopi)
-	3,7 °C	1,1 °C

4.3 Yüzey Kırığının Tarım Alanları İçerisindeki Termal Bulguları

Yüzey kırığının önemli bir kısmı tarımsal alanların içerisinde geçmektedir. Alınan termal ve optik görüntülerle yüzey kırığı tarlaların içerisinde de izlenebilmektedir (Şekil 4.3). Bununla birlikte toprağın görülemediği yoğun ekinlik alanlarda yüzey kırığı optik kameradan görülemezken termal kameranın kullanımı haritalanabilecek şekilde görünür kılınmıştır (Şekil 4.4).

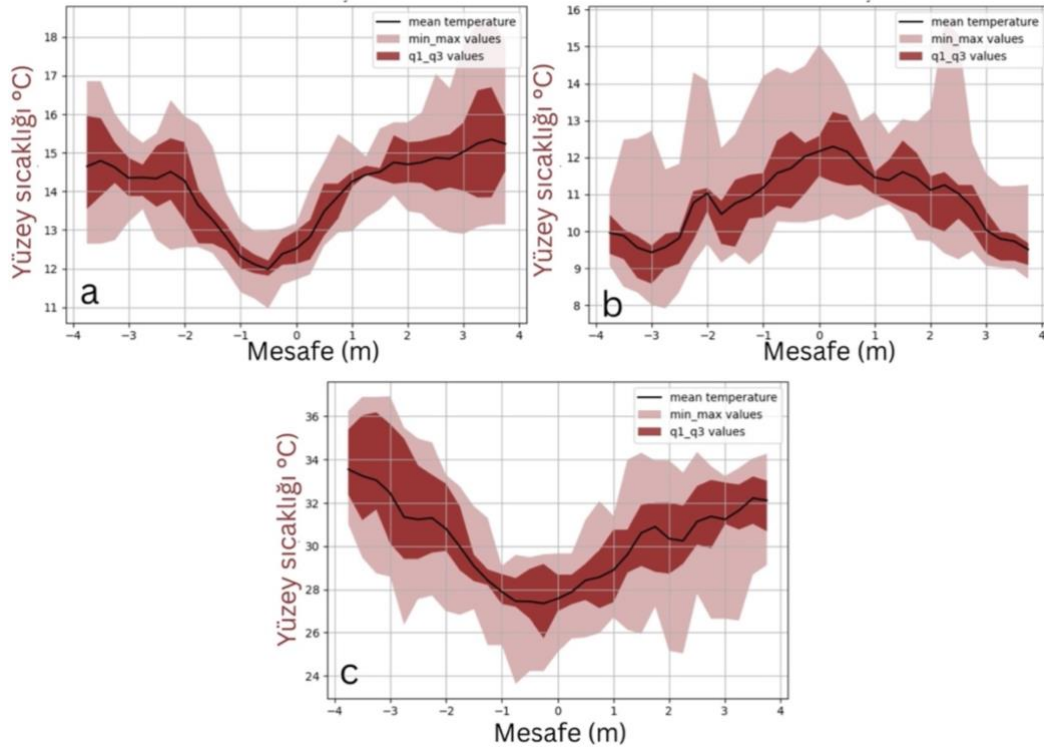


Şekil 4.3: Yüzey kırığının sürülmüş tarla ve çim üzerinde optik ve termal görüntüsü.



Şekil 4.4: Yüzey kırığının yoğun ekinlik alanında optik ve termal görüntüsü.

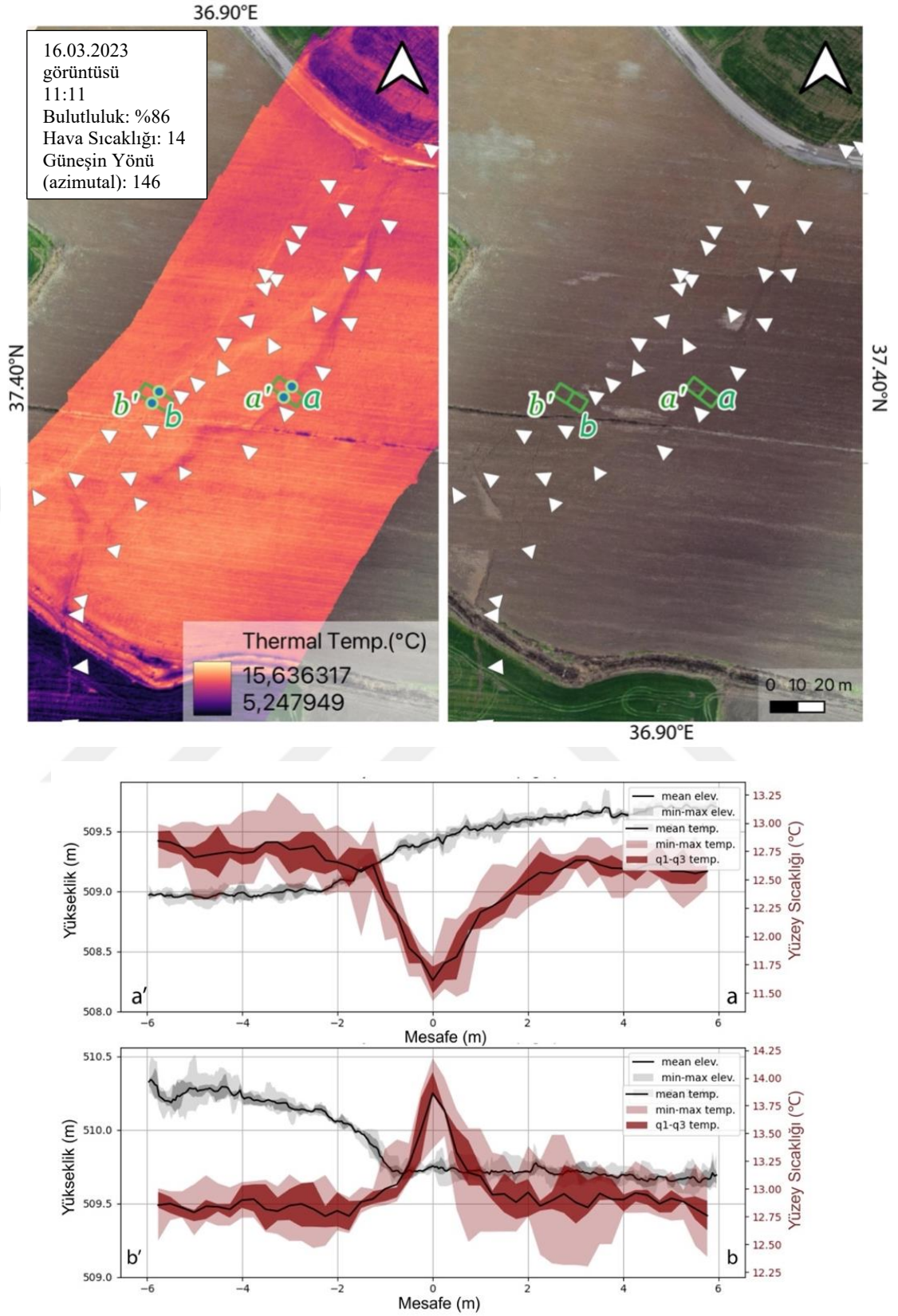
Yüzey kırığı üzerinde yeşil ile belirtilen dikdörtgen alanlarda genişletilmiş profiller (swath) alınmıştır. Yüzey kırığının geçtiği alan x ekseninde “0” notasını temsil etmekte olup 4-10 metre genişliğinde değişkenlik gösteren yüzey kırığına dik her iki yönde 6 metrelik toplamda 12 metre uzunluğunda termal ve yükseklik profilleri elde edilmiştir. Kırmızı renkle ifade edilen sıcaklık profilini gösterirken, gri renk ile gösterilen profil 10 santimetre çözünürlüklü sayısal yükseklikleri ifade etmektedir.



Şekil 4.5: Şekil 4.4’ e ait swath profiller.

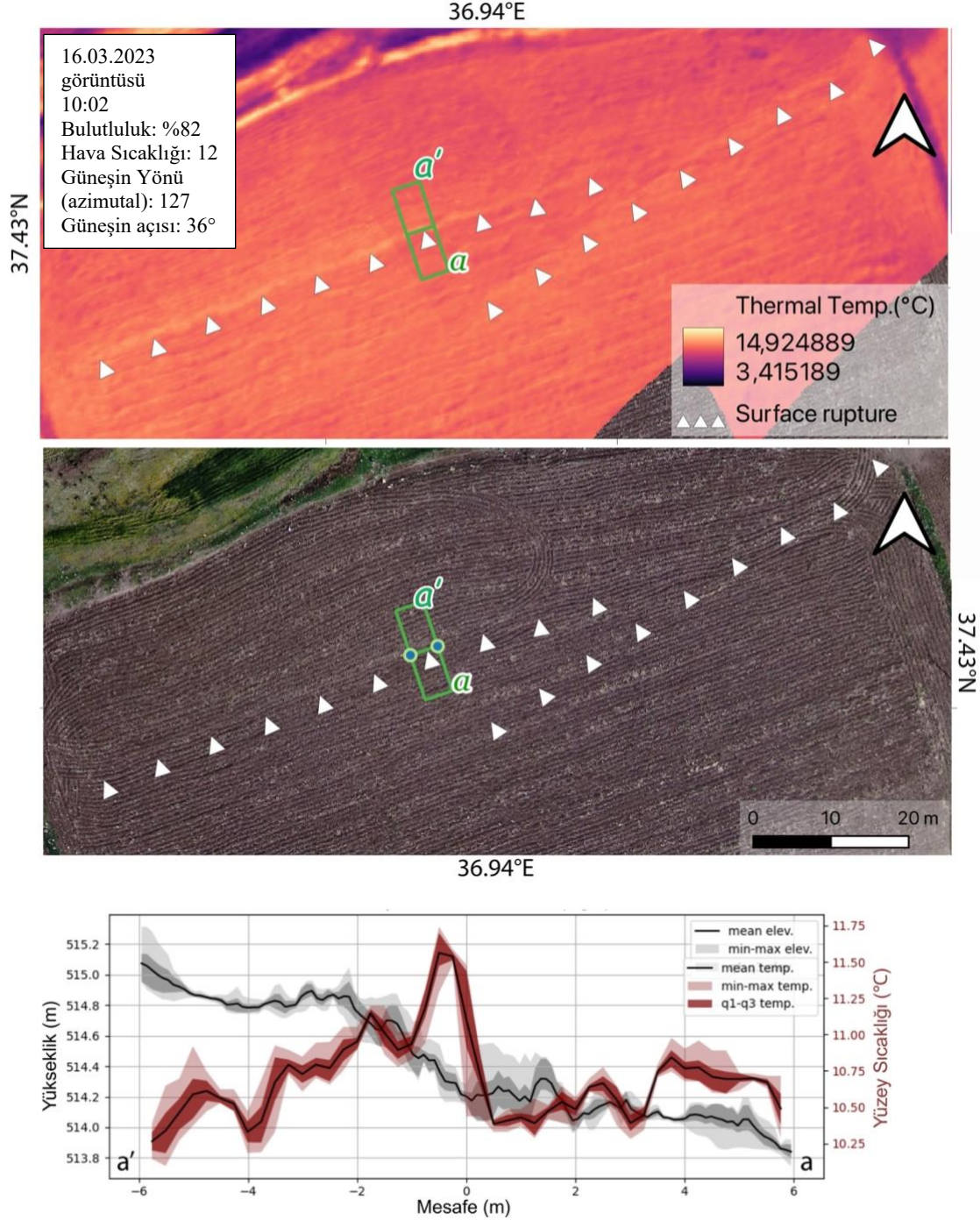
Şekil 4.4’e ait grafiklerde yoğun ekinlik içerisindeki b profilinde yaklaşık 3 derecelik pozitif anomali görülürken a ve c profillerinde de sırasıyla 3 ve 5 derecelik negatif anomaliler görülmüştür (Şekil 4.5).

Yüzey kırığının haritalaması yapılırken kırık hattı üzerindeki bazı sürülü ve ekili olmayan tarlalarda optik görüntülere bakıldığında kırığa dair hiçbir iz bulunmazken termal veriler bu alanlarda da yüzey kırığının devam ettiğini belirgin şekilde ortaya koymuştur. Böylece hem yönelim ve karakterizasyonunun anlaşılması hem de kırığın sürekli olarak çizilip haritalanabilmesine imkan vermiştir (Şekil 4.6). Swath profillere bakıldığında tarlada yüzey kırığının geçmesi ile 0.5 metrelik düşey farklar oluşmuş ve aynı zemin türü, aynı koşullarda bulunmalarına rağmen pozitif ve negatif olmak üzere iki farklı anomali türü aynı alan içerisinde görülmüştür.



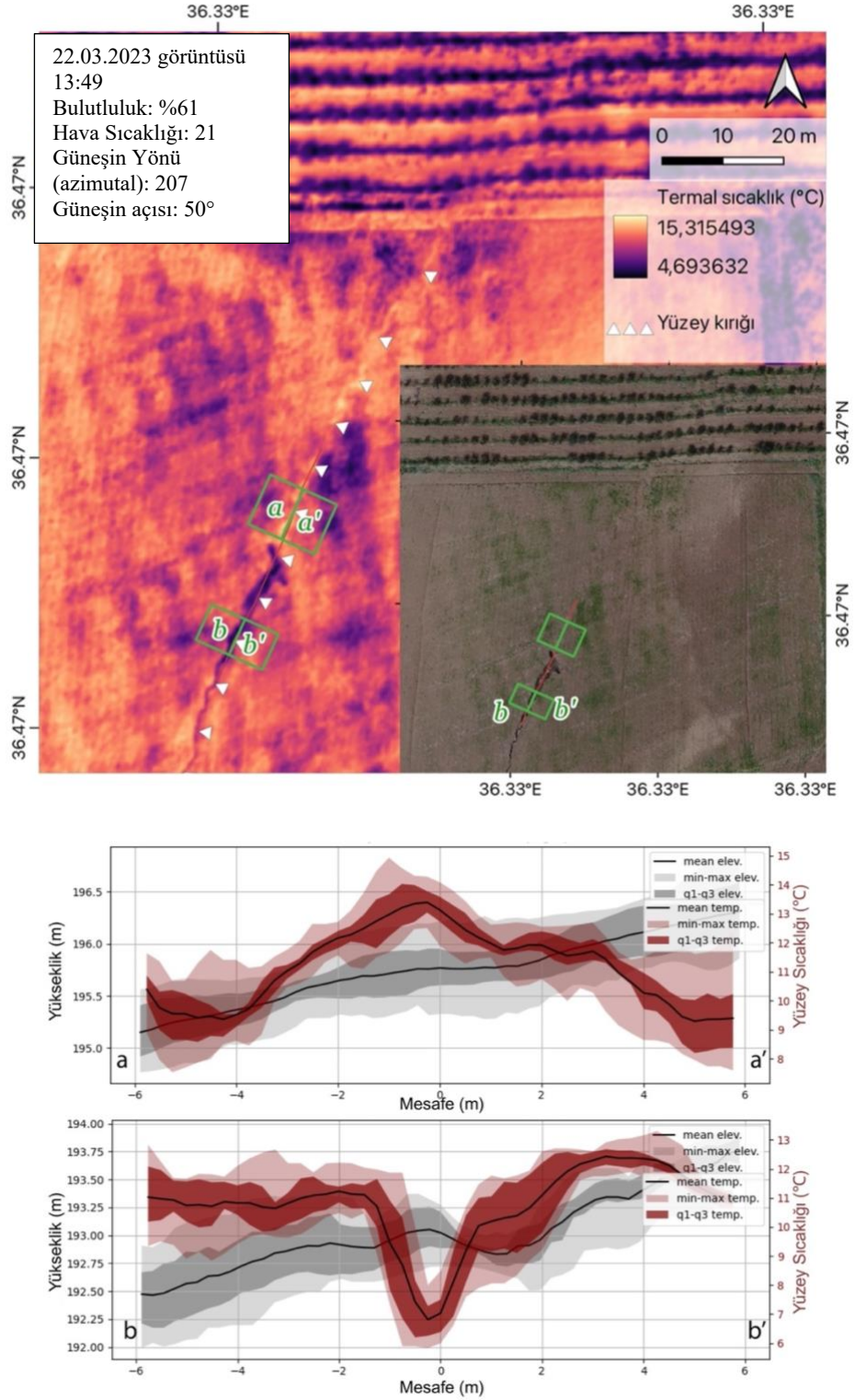
Şekil 4.6: Boş tarla içerisindeki yüzey kırığının optik ve termal görüntüleri, aşağıda swath profilleri.

Şekil 4.7’de yüzey kırığının tarlanın sürüş yönüne paralel geçtiği görülmektedir. Bu sebeple optik görüntüde yüzey kırığı ayırt edilemezken termal görüntüde çevresine göre 1.3 derecelik pozitif anomali göstererek net şekilde haritalanabilmiştir.



Şekil 4.7: Sürülü tarlada yüzey kırığının optik ve termal görüntüleri, aşağıda swath profil.

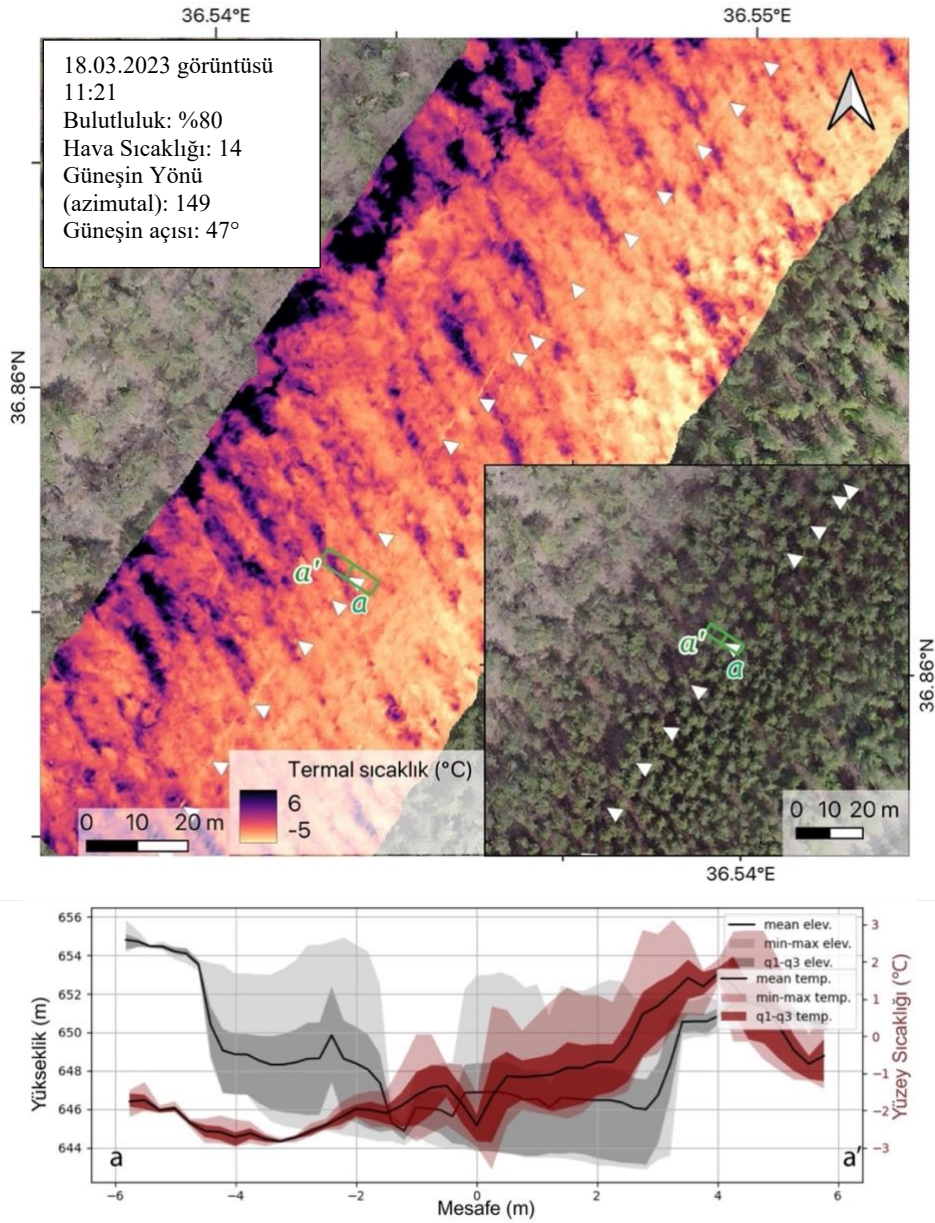
Şekil 4.8’de ekilmemiş bir tarladan geçen yüzey kırığının aynı kırık üzerinde farklı anomaliler sergilediği görülmektedir. Kırığın kuzey doğuda çevresine göre daha yüksek sıcaklık değerleri sergilerken, fayın açılmalı kırık karakteri sergilediği güneybatıda daha düşük sıcaklık değerleri göstermiştir.



Şekil 4.8 Kırığın türüne göre termal anomalililerin değişimi, aşağıda swath profilleri.

4.4 Yüzey Kırığının Ormanlık Alanlar İçerisindeki TIR Bulguları

Ormanlık alanlar, sık bitki örtüsü, dallar ve geniş yapraklar içerebildiğinden uydu ve hava fotoğraflarında toprağın görülmesini engellemekte ve uzaktan algılama ile yüzey kırığının haritalanması bu alanlarda mümkün olamamaktadır. Şekil 4.9’da NDMI değerlerinde yüksek kanopi olarak öne çıkan Kartal’daki ormanlık alanın içerisinden geçen yüzey kırığı görülmektedir. Bu örnekte optik görüntüde gözle tespitinin mümkün olmadığı alanlarda bu tür zorlu alanlarda termal görüntüleme yüzey kırığını takip edebilmeyi mümkün kılmıştır.



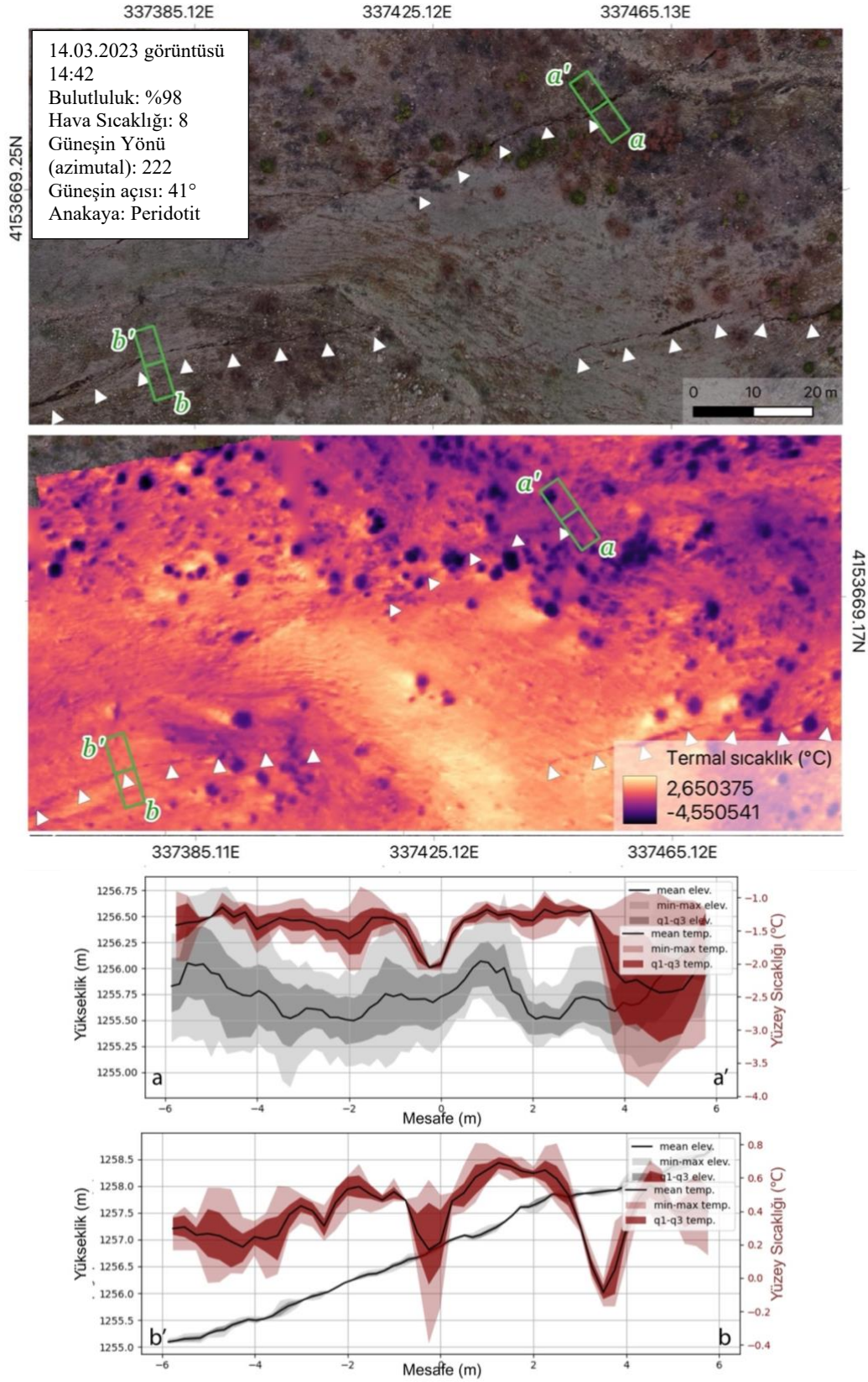
Şekil 4.9: Sık ormanlık alanda yüzey kırığının optik ve termal görüntüsü, aşağıda swath profil.

4.5 Yüzey Kırığının Anakaya Üzerindeki TIR Bulgular

Kahramanmaraş depremleri yüzey kırığı boyunca fay farklı jeolojik birimlerin içinden geçmektedir. Yüzey kırığının üzerinden geçtiği birimler sınıflandırılmış ve sıcaklık değerleri ile birlikte Şekil 4.1c,d’de gösterilmiştir. Buna göre yerel minimum yüzey sıcaklıklarının genellikle ofiyolitik birimler üzerinde yoğunlaştığı tespit edilmiştir. Bu durum, ofiyolitlerin fiziksel ve termal özelliklerinin, çevresine kıyasla daha düşük sıcaklık değerleri üretmesine neden olabileceğini düşündürmekle birlikte Haziran ayında gerçekleştirilen uçuş 12 verilerinde maksimum sıcaklık değerlerinin bir kısmının da yine ofiyolitik birimler içerisinde yer aldığı gözlemlenmiştir. Bu çelişkili durum, ofiyolitlerin heterojen yapısından, mineral bileşiminden, yüzey pürüzlülüğünden veya gölgelenme gibi mikro-çevresel faktörlerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer şekilde, alüvyal çökeller ve ince taneli sedimanter birimler üzerinde de hem maksimum hem de minimum sıcaklık değerlerine rastlanmıştır. Bu durum, yüzey kırığının termal davranışının yalnızca litoloji ile açıklanamayacağını ve kırık boyunca gözlenen sıcaklık değişimlerinin daha karmaşık bir etkileşim ağına bağlı olduğunu göstermektedir. Dolayısıyla, termal veriler ile farklı litolojik gruplar arasında doğrudan ve tutarlı bir ilişki kurulamamıştır. Bu nedenle çalışmanın bu aşamasında daha ayrıntılı bir yaklaşıma gidilerek, yüzey kırığının doğrudan geçtiği ve arazide açık şekilde gözlemlenebilen anakaya yüzeylerinde gelişen termal anomaliler lokasyon bazlı örneklerle irdelenmiştir.

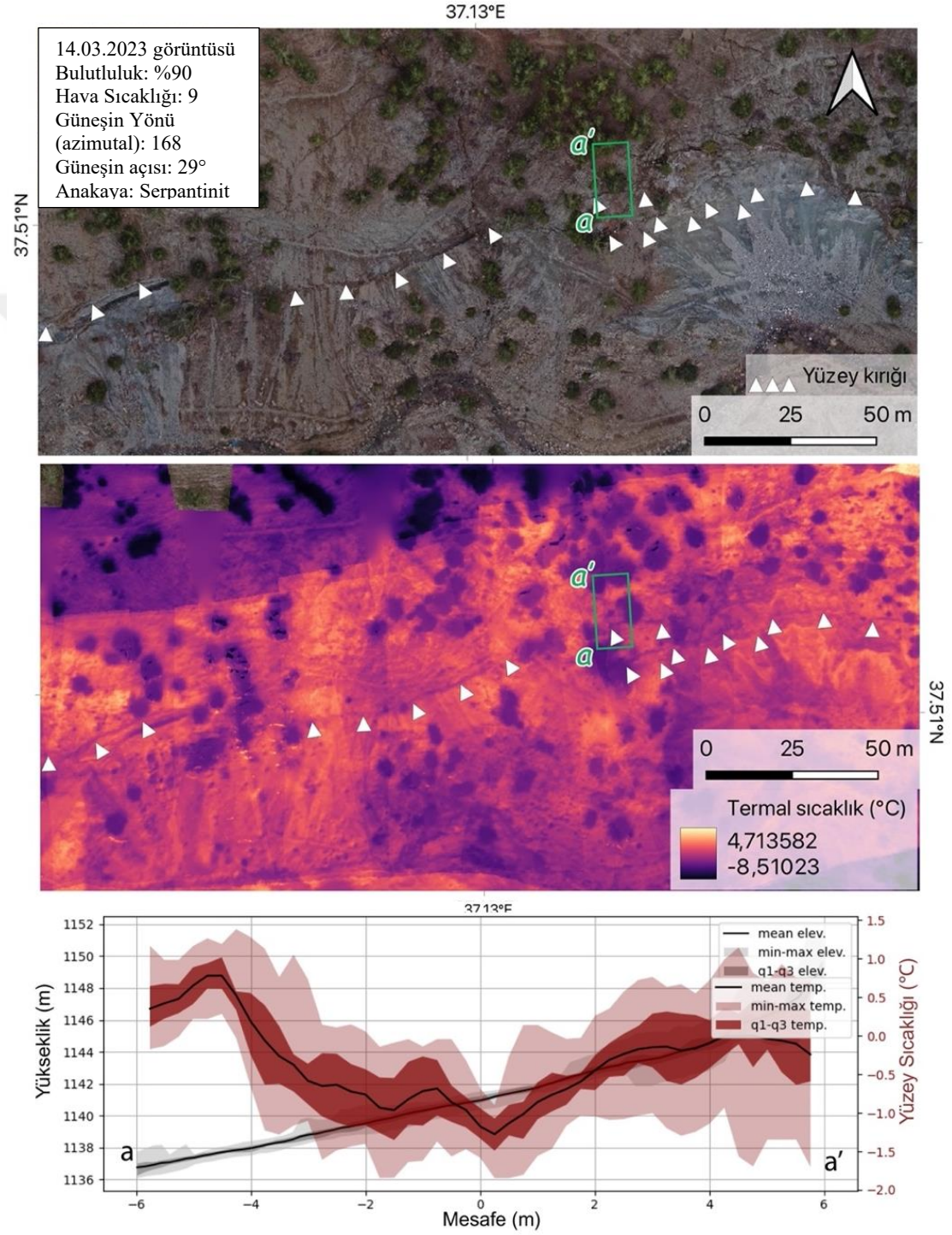
Karbonatlı kayalardan kireçtaşı, bazik kayalardan bazalt ve gabro, ultrabazik kayalardan peridotit ve serpantinit çalışma alanında yüzey kırığının doğrudan üzerinden geçtiği kayalar olarak tespit edilmiştir. Kayalara ait sertlik değerlerinin anomali değerlerinde etken olabileceği düşünülmektedir. Her bir kayaç için verilen sertlik değerleri, Mohs ölçeğindeki değerlerine göre belirlenmiş olup Deer ve diğ. (1992), Blatt ve Tracy (1996) ve Schön (2015) petrografi kaynaklarından alınmıştır.

Şekil 4.10’ da peridotit kayasının güneye bakan yamacında adımlama (stepover) yapmış yüzey kırıkları görülmektedir. Peridotit ultrabazik bir kayaç olup yeşil veya sarımsı yeşil renkte görünüp sertliği Mohs skalasına göre 6.5-7 arasında değişmektedir. Bu kayaç içerisinde anomaliler 1 metrelik oldukça dar bir zon içerisinde görülmüş olup swath a için 0.5, swath b için 1 derecedir.



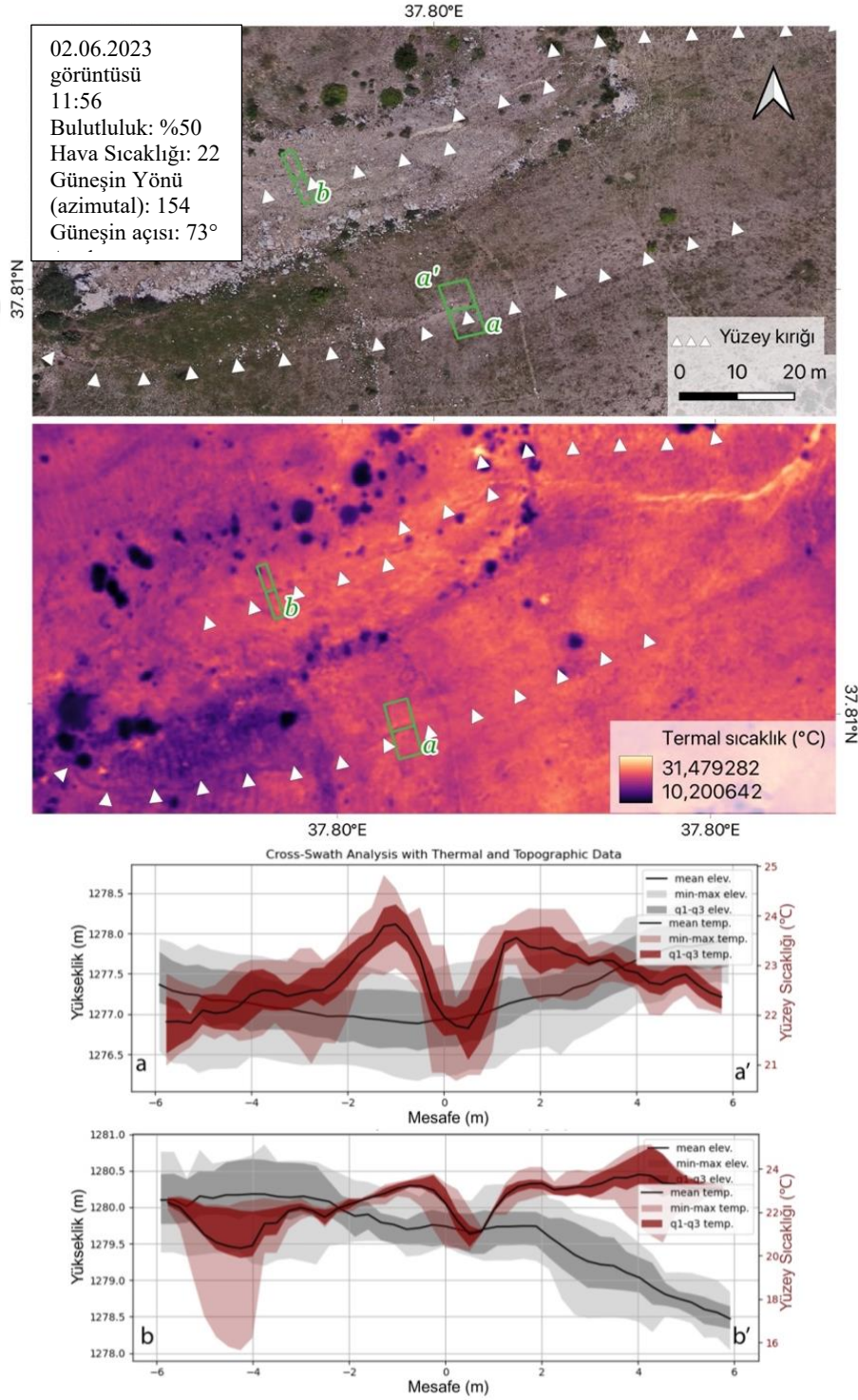
Şekil 4.10: Peridotit anakayası üzerinde yüzey kırıklarının optik ve termal görüntüsü, aşağıda swath profilleri.

Serpantinit kayacı peridotit, dünit ve harzburgit kayalarının hidrotermal alterasyonu sonucunda oluşmakta olup sertliği 2.5-5'dir. Şekil 4.11'de görülen serpentinitin üzerinde yer aldığı yamaç güneydoğuya bakmakta olup profilden 2.5 santigrad derecelik anomalinin 10 metrelik geniş bir zonda temsil edildiği görülmektedir.



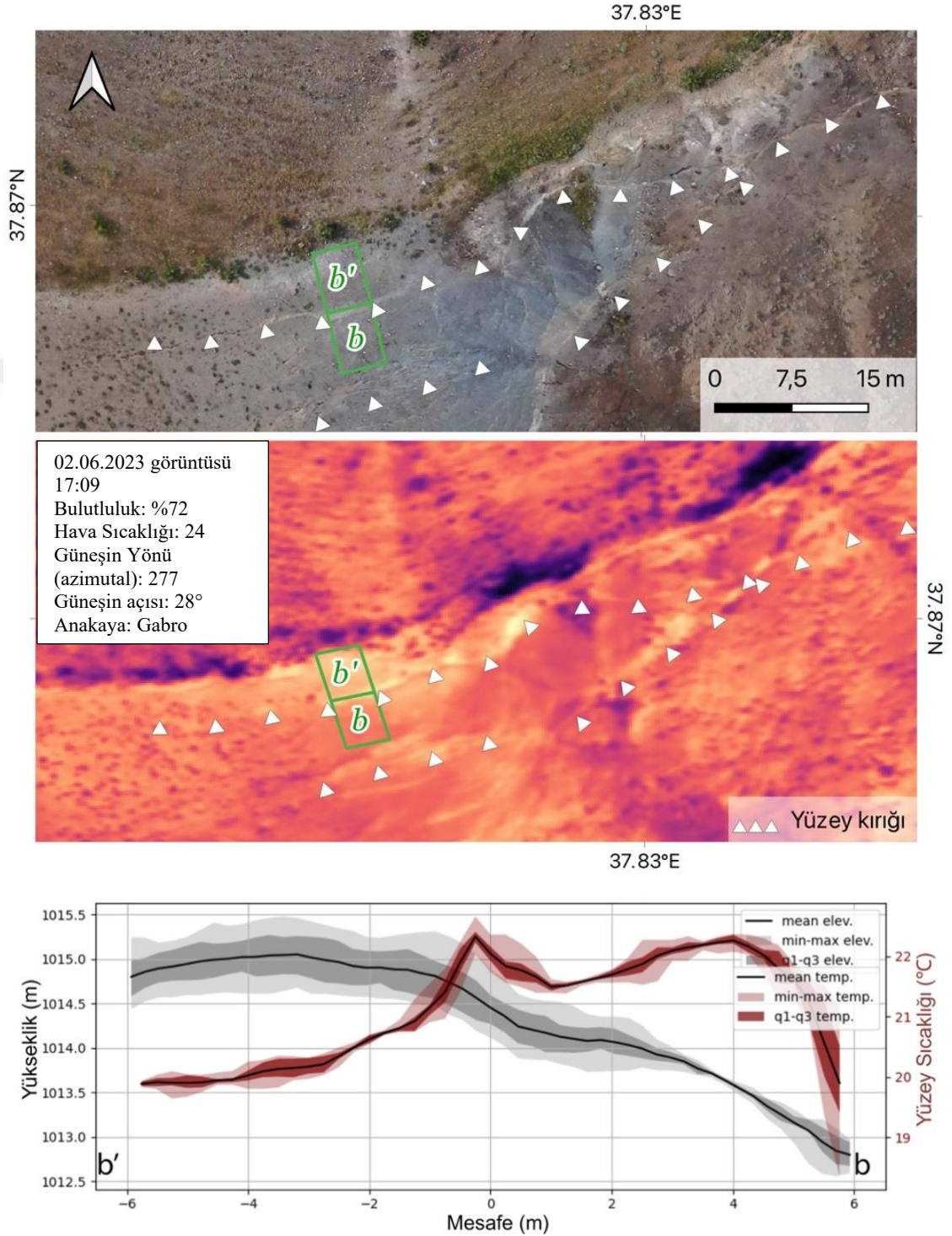
Şekil 4.11: Serpantinit anakayası üzerindeki yüzey kırığının optik ve termal görüntüsü, aşağıda swath profil

Şekil 4.12’de sertliği 3 olan kireçtaşı anakayasası üzerinde yüzey kırığı görülmektedir. a profili tepenin güneydoğuya bakan yamacında, b profili ise tepenin zirvesinde yer almaktadır. Profil a’da yüzey kırığında 4 metrelik bir zonda 2 derecelik bir anomali gözlenirken, tepenin üzerinde konumlanmış kırık üzerindeki profile 1 metre gibi dar bir zonda 3 derecelik anomali gözlenmiştir.



Şekil 4.12: Kireçtaşı birimler üzerinde yüzey kırığının optik ve termal görüntüsü, aşağıda swath profilleri

Gabro bazik bir kayaç olup sertliği 6'dır. Güneydoğuya bakan yamaç üzerinde yüzey kırığı görülmektedir (Şekil 4.13). Yaklaşık 2 metrelik bir zonda 1 derecelik anomali gözlemlenmiştir.



Şekil 4.13: Gabro anakayası üzerinde yüzey kırığının optik ve termal görüntüleri, aşağıda swath profil

Bazalt kayalıkları üzerinde kayacın bloklu ve pekleşmemiş yapısından dolayı yüzey kırığını optik ve termal görüntülerde görmek mümkün olmamıştır (Şekil 4.14).



Şekil 4.14: Bazalt kayalıkları üzerinde 4. uçuş hattı için gerçekleştirilen görüntü alımı.
(18.03.2023)

5. TARTIŞMA

Her bir uçuş hattı için yüzey kırığı üzerindeki sıcaklık değerlerinde gözlemlenen maksimumların, 17. uçuştaki yerel minimum noktası hariç, genellikle topografik yüksekliklerle örtüşmesi, yüksekliğin yüzey sıcaklıkları üzerinde önemli bir parametre olabileceğini göstermektedir. Bununla birlikte, her uçuşa ait termal eğrilerin kendi içindeki değişim seyri, sıcaklık verilerinin topografyadan önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koysa da, bu verilerin aynı zamanda farklı çevresel parametrelere de bağlı olduğunu göstermektedir.

Uçuş 14,17 ve 19 hariç yüzey kırığı ve çevresine ait TIR sıcaklık değerlerinin verilerin alındığı tarih ve saatteki hava sıcaklığı değerleri ile neredeyse benzer şekilde davrandığı gözlemlenmiştir. Uçuş 14, ve 17’de hava sıcaklığı yüksek olmasına rağmen bu konumlarda görülen yerel minimum değerleri güneşlenme değerinin 0.4’ün altında olması nedeniyle tamamen gölgede kalmaları ya da çok düşük açıyla güneş almalarıyla açıklanmıştır. Bu alanlar benzer hava sıcaklığına sahip orta ve yüksek güneşlenme değerlerine sahip alanlarla karşılaştırıldığında, bu bölgelerin daha düşük açıyla güneş alması, anomali değerlerinin de daha düşük olmasına neden olduğu görülmüştür. Ancak uçuş 19 için güneşlenme etkisine bakıldığında düşük, orta ve yüksek güneşlenme değerleri yakın lokasyonlarda birlikte görülmektedir. Bu durum yerel minimumu açıklamak için yetersiz kalmaktadır.

Litolojiye bağlı olarak yapılan termal analizde kayaç alterasyonu, aşınım, ve çevresel etkilerden dolayı litoloji ve termal veri arasında doğrudan bir ilişki kurulamamıştır.

Sıcaklık anomalileri değerlendirildiğinde haziran ve mart ayları arasındaki geçişte (11. ve 12. uçuşlar) anomali değerinin iki katından daha fazla artması sıcak ayların etkisi olarak yorumlanmıştır. Bununla birlikte haziran ayındaki verilerde negatif maksimum değerler önemli ölçüde ağaçların üzerine denk gelen pikseller ile ilişkilendirilmiştir.

NDMI değerlerine bakıldığında yüksek kanopi aralığına giren neredeyse bütün noktaların sıcaklık ve anomali değerlerinin diğer verilere kıyasla düşük olduğu gözlemlenmiştir. NDMI ve NDVI verilerinden de yola çıkarak su stresinde

bulunmayan sağlıklı bitki örtüsünün varlığında düşük anomali değerleri gözlenmektedir. Bunun aksi olarak kaya, kum, çorak alanlarda anomali değeri daha yüksek olarak gözlenmektedir. Bu durum bitkilerin bünyelerinde tuttukları nemi terleme ve yüzeysel buharlaşma yoluyla atmosfere salarak yüzey sıcaklıklarını düşürmesiyle açıklanmıştır. Yüzey kırığı, bu tür nemli ve yoğun bitki örtüsüne sahip bir alan içerisinden geçtiğinde, kırık zonu boyunca yüzeye çıkan toprak genellikle daha nemlidir bu nedenle çevre alanlara kıyasla daha düşük yüzey sıcaklığı değerleri gözlenir. Bu durum, termal kızılötesi görüntülerde negatif termal anomaliler olarak ortaya çıkar ve kırık boyunca gelişen yer altı nem dağılımı ile ilişkilendirilebilir. Ancak bu anomali miktarı çıplak yüzeyin içerisinden geçen yüzey kırığına göre daha düşük seviyededir. Çünkü çıplak yüzey hızlı ısındığından kırıkla birlikte açığa çıkan serin toprak çevresine göre daha yüksek anomali sergiler. Bu durum sadece NDVI değerlerinin 0.1- (-0.1) aralığı ile temsil edilen kaya, kum, çorak alanlarla örtüşen yüksek anomali değerlerinde açıkça görülebilmektedir (Şekil 4.2a,b). NDMI değerlerine göre kuzeydoğuya gidildiğinde su stresi arttığından anomali değerleri de artmaktadır. Bu durum anakaya üzerinde anomalinin düşük olduğu şeklinde yorumlanmıştır.

Huang (2021) ve Wu (2000)' in kayaçların kızılötesi radyasyon enerjisi ile ilgili yaptıkları yaptığı laboratuvar çalışmaları saha çalışmasında toplanan bu verilerin analizinde önemli bir kaynak olmuştur.

Huang ve diğ. (2021) kuvarslı kumtaşı örnekleri üzerinde yaptığı çalışmada yüzey kırığının türüne bağlı olarak (yerel şişme, çökme veya gerilme çatlağı) termal radyasyon değerlerinin değişim gösterdiğini ifade etmektedir. Açılmalı çatlaklarda kırılan kısım çevredeki malzemeden daha düşük termal iletkenliğe sahip olacağından çevresine kıyasla düşük sıcaklık anomalisi gösterdiğini makaslama kırıklarında ise kayma sırasında termal enerji kayma yüzeyleri boyunca eşit olmayan şekilde dağılarak heterojen sıcaklık anomalileri oluşturduğunu ifade etmektedir. Bunun örneği Şekil 4.8'de görülmektedir. Alüvyal fan üzerinde konumlanan bir tarım arazisinde gözlenen yüzey kırığı, yanal atımlı fay mekanizmasıyla ilişkili olarak gelişen gerilme çatlağı zonuna ulaştığında, termal anomali deseninde tersine bir değişim meydana geldiği görülmektedir.

Benzer şekilde Wu (2000) kayaçların yük altında elektromanyetik radyasyon özelliklerini inceleyerek stres arttıkça IR radyasyon enerjisinin arttığını sağlam kayalarda daha fazla mekanik enerji biriktiğinden daha fazla IR radyasyon sıcaklık artışında kaya yüzeyinin altındaki TIR sıcaklığın yüzey sıcaklığından daha yüksek olduğunu bunun yanı sıra kayaç türü, iç yapısı ve homojenliğinden de IR radyasyonu etkilediğini tespit etmiştir. Çalışmada bunun örneğini dayanımı yüksek olan gabro anakayası (Şekil 4.13) üzerinde görmek mümkündür. Ancak kireçtaşı, serpantinit ve peridotit üzerinde anomaliler negatif çıkmıştır. Bu kayaçlara dair deneysel çalışma bulunamamıştır. Dolayısı ile bu durumun bahsedilen kayaçların özelliğinden mi yoksa çevresel faktörlerden mi etkilendiğinde dair bir çıkarım yapılamamıştır. Bunun yanı sıra serpantinit kayacı 10 metrelik anomali zonu ile dikkat çekmiştir bu durumun kayacın düşük sertliğine bağlı olarak oluşması muhtemel geniş deformasyon zonundan kaynaklandığı düşünülmektedir.



6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmanın, yüzey kırıklarının termal kızılötesi sensörler kullanılarak görüntülenmesi konusunda öncü bir yaklaşım sunduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Arazi koşullarında gerçekleştirilen bu tür uygulamalarda, verilerin laboratuvar ortamındaki gibi kontrollü ve homojen koşullar altında toplanması çoğu zaman mümkün olmamaktadır. Bu nedenle, elde edilen termal verilerin daha sağlıklı yorumlanabilmesi amacıyla, mümkün olduğunca geniş kapsamlı çevresel parametreler de eş zamanlı olarak toplanmış ve analiz sürecine dâhil edilmiştir. Bu yaklaşım, saha verilerinin doğasında bulunan belirsizlikleri minimize etmeyi ve gözlemlenen termal anomalilerin arkasındaki nedenleri çok boyutlu olarak değerlendirmeyi amaçlamaktadır.

Çalışmadan elde edilen bulgular neticesinde haritalamada termal görüntülemenin kullanılması yaklaşımı amacına hizmet ederek başarılı bir veri ortaya koymuştur. Uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarının tespit edemediği orman altı yüzey kırıklarının belirlenebilmesi, optik kameralarla izlenemeyen yoğun ekinlik, ormanlık ve bazı sürülü alanlarda yüzey kırığının termal kameralar aracılığıyla açık şekilde takip edilebilmesi, bu yöntemin temel haritalama tekniklerine destekleyici bir araç olarak kullanılabileceğini göstermektedir. Böylece, yüzey kırığının optik olarak izlenemediği kesimlerde dahi yüzey kırığının kesintisiz şekilde haritalanabileceği uygulamalı olarak orta konulmuştur.

Yapılan analizler termal yüzey sıcaklıklarının çevresel sıcaklık ve güneşlenme durumundan önemli ölçüde etkilendiğini ve aralarındaki doğru orantıyı ortaya koymuştur. Bulgular ağaç veya orman varlığı, gölgede kalma durumu, hava sıcaklığının düşük olması ve nem miktarının yüksek olması gibi çevresel koşullarda anomali değerlerinin düşük olduğunu ortaya koyarken, hava sıcaklığının yüksek olduğu, anakaya veya çorak arazi ortamlarında ise daha yüksek anomalilerin gözlemlendiğini ortaya koymuştur. Bununla birlikte arazi çalışmalarının yapıldığı her iki ayda da alınan verilerde anomaliler yüzey kırığını takip edebilecek kadar belirgin şekilde görülebilmektedir.

Anomalilerin pozitif veya negative olması durumu laboratuvar çalışmalarını destekler nitelikte kırık türünün değişmesine işaret etse de düşey atımın meydana geldiği tarlada oluşan farklı anomali değerleri düşey atıma bağlı oluşan mikrotopografya ve buna bağlı güneşlenme etkisi ile oluştuğu düşünülmektedir. Yine benzer şekilde orman örtüsünün yoğun olduğu alanlarda kırığının daha soğuk görülerek negatif anomali vermesi ağaçların kırık yüzeyini serin tutması ile açıklanabilirken sık ekinlik alanda görülen pozitif anomalinin daha farklı bir mekanizmaya bağlı olarak gerçekleştiği söylenebilir. Bu durum daha detaylı araştırılmalıdır.

Sonraki çalışmalarda güneşin konumu ve geliş açısının anomalilere etkisinin değerlendirilmesi adına tarla, orman, çim alanda günün farklı saatlerinde görüntü alınarak hangi parametrelerin anomali değerlerine daha fazla etkilediğini ortaya koyabilmek adına faydalı olabileceği düşünülmektedir. Bunun yanı sıra, anakayalar üzerinde basınç altında gerçekleştirilecek kırılma deneyleri ile farklı kayaç türlerine bağlı olarak kırılma anında oluşan termal anomalilerin incelenmesi, ileride yapılacak çalışmalar için anlamlı bir başlangıç noktası oluşturacaktır.

KAYNAKLAR

- Akbaş, B., Akdeniz, N., Aksay, A., Altun, İ. E., Balcı, V., Bilginer, E., Bilgiç, T., Duru, M., Ercan, T., Gedik, İ., Günay, Y., Güven, İ. H., Hakyemez, H. Y., Konak, N., Papak, İ., Pehlivan, Ş., Sevin, M., Şenel, M., Tarhan, N., Turhan, N., Türkecan, A., Ulu, Ü., Uğuz, M. F., Yurtsever, A., ve diğerleri. (2011). 1:1.250.000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası [Harita]. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Yayını.
- Ambraseys, N. (2009). Earthquakes in the Mediterranean and Middle East: a multidisciplinary study of seismicity up to 1900. Cambridge University Press.
- Arpat, E., & Şaroğlu, F. (1972). Doğu Anadolu Fayı ile ilgili bazı gözlemler ve düşünceler. Bulletin of the Mineral Research and Exploration, 78(78), 44-50.
- Blatt, H., & Tracy, R. J. (1996). Petrology: Igneous, sedimentary, and metamorphic (2nd ed.). W.H. Freeman and Company.
- Deer, W. A., Howie, R. A., & Zussman, J. (1992). An introduction to the rock-forming minerals (2nd ed.). Longman Scientific & Technical.
- Dewey, J. F., Hempton, M. R., Kidd, W. S. F., Şaroğlu, F., & Şengör, A. M. C. (1986). Shortening of continental lithosphere: The neotectonics of eastern Anatolia—A young collision zone. Geological Society of London Special Publications, 17(1), 3–36. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1986.017.01.02>
- Duman, T. Y., & Emre, Ö. (2013). The East Anatolian Fault: geometry, segmentation and jog characteristics.
- Fiorucci, M., Marmoni, G. M., Martino, S., & Mazzanti, P. (2018). Thermal Response of Jointed Rock Masses Inferred from Infrared Thermographic Surveying (Acuto Test-Site, Italy). Sensors (Basel, Switzerland), 18(7), 2221. <https://doi.org/10.3390/s18072221>
- Frodella. (2017). Landslide Mapping and Characterization through Infrared Thermography (IRT): Suggestions for a Methodological Approach from Some Case Studies. ResearchGate. <https://doi.org/10.3390/rs9121281>
- Grechi, G., Fiorucci, M., Marmoni, G. M., & Martino, S. (2021). 3D Thermal Monitoring of Jointed Rock Masses through Infrared Thermography and Photogrammetry. Remote Sensing, 13(5), Article 5. <https://doi.org/10.3390/rs13050957>
- Gülen, L., Barka, A., & Toksöz, M. N. (1987). Kıtaların çarpışması ve ilgili kompleks deformasyon: Maraş üçlü eklemi ve çevre yapıları. Yerbilimleri, 14, 319-336.

- Güvercin, S. E., Karabulut, H., Konca, A. Ö., Doğan, U., & Ergintav, S. (2022).** Active seismotectonics of the East Anatolian fault. *Geophysical Journal International*, 230(1), 50-69.
- Hempton, M. R. (1987).** Constraints on Arabian plate motion and extensional history of the Red Sea. *Tectonics*, 6(6), 687-705.
- Huang, J., Liu, S., Liu, W., Zhang, C., Li, S., Yu, M., & Wu, L. (2021).** Experimental Study on the Thermal Infrared Spectral Variation of Fractured Rock. *Remote Sensing*, 13(6), 1191. <https://doi.org/10.3390/rs13061191>
- Jackson, J., & McKenzie, D. (1984).** Active tectonics of the Alpine—Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal International*, 77(1), 185-264.
- Karabacak, V., Yönlü, Ö., & Altunel, E. (2012).** Paleoseismic behavior of the East Anatolian Fault Zone between Gölbaşı and Türkoglu: Implications on 900 years of seismic quiescence. In *International Earth Science Colloquium on the Aegean Region*. Izmir, Turkey.
- Ketin, İ. (1948).** Son on yılda Türkiye'de vukua gelen büyük depremlerin tektonik ve mekanik neticeleri hakkında. *Türkiye Jeoloji Bülteni*, 2(1), 1-13
- Lee, E. J., Shin, S. Y., Ko, B. C., & Chang, C. (2016).** Early sinkhole detection using a drone-based thermal camera and image processing. *Infrared Physics & Technology*, 78, 223–232. <https://doi.org/10.1016/j.infrared.2016.08.009>
- Lunina, O. V., & Gladkov, A. A. (2022).** First Results of a Drone Thermal Imaging Survey of Geological Objects in the Lake Baikal Area. *Doklady Earth Sciences*, 506(1), 661–665. <https://doi.org/10.1134/S1028334X22600347>
- Mcclusky, S., Balassanian, S., Barka, A., Demir, C., Ergintav, S., Georgiev, I., ... & Veis, G. (2000).** Global Positioning System constraints on plate kinematics and dynamics in the eastern Mediterranean and Caucasus. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 105(B3), 5695-5719.
- McKenzie, D. (1972).** Active tectonics of the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 30(2), 109-185.
- Melis, M. T., Da Pelo, S., Erbi, I., Loche, M., Deiana, G., Demurtas, V., Meloni, M. A., Dessì, F., Funedda, A., Scaioni, M., & Scaringi, G. (2020).** Thermal Remote Sensing from UAVs: A Review on Methods in Coastal Cliffs Prone to Landslides. *Remote Sensing*, 12(12), Article 12. <https://doi.org/10.3390/rs12121971>
- Muehlberger, W. R., & Gordon, M. B. (1987).** Observations on the complexity of the East Anatolian Fault, Turkey. *Journal of Structural Geology*, 9(7), 899-903.
- Sabins, F. F. (1969).** Thermal Infrared Imagery and Its Application to Structural Mapping in Southern California. *Geological Society of America Bulletin*, 80(3), 397. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1969\)80\[397:THIAIA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1969)80[397:THIAIA]2.0.CO;2)

- Sengör, A. M. C.** (1979). The North Anatolian transform fault: its age, offset and tectonic significance. *Journal of the Geological Society*, 136(3), 269-282.
- Şengör, A. M. C., & Yılmaz, Y.** (1981). Tethyan evolution of Turkey: A plate tectonic approach. *Tectonophysics*, 75(3-4), 181-241. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(81\)90275-4](https://doi.org/10.1016/0040-1951(81)90275-4)
- Schön, J. H.** (2015). *Physical properties of rocks* (2nd ed.). Elsevier.
- Telbisz, T., Kovács, G., Székely, B., & Szabó, J.** (2013). Topographic swath profile analysis: A generalization and sensitivity evaluation of a digital terrain analysis tool. *Zeitschrift Für Geomorphologie*, 57(4), 485-513. <https://doi.org/10.1127/0372-8854/2013/0110>
- Tronin, A. A.** (1996). Satellite thermal survey—A new tool for the study of seismoactive regions. *International Journal of Remote Sensing*, 17(8), 1439-1455. <https://doi.org/10.1080/01431169608948716>
- Wallace, R. W. & Moxham, R. M.** (1966). Use of infrared imagery in study of the San Andreas fault system, California.
- Wu, W., Zou, L., Shen, X., Lu, S., Su, N., Kong, F., & Dong, Y.** (2012). Thermal infrared remote-sensing detection of thermal information associated with faults: A case study in Western Sichuan Basin, China. *Journal of Asian Earth Sciences*, 43(1), 110-117. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.08.015>
- Wu.** (2000). Remote sensing rock mechanics (RSRM) and associated experimental studies.

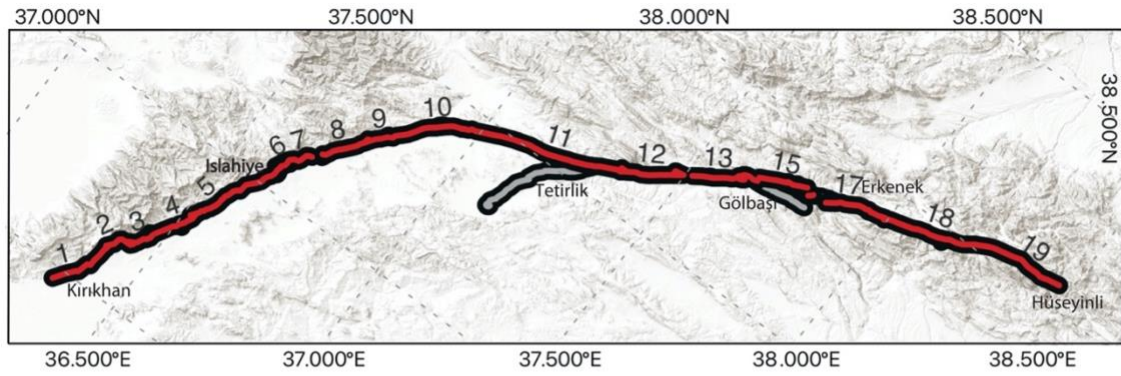


EKLER

EK A: Uçuş Bilgileri



EK A



Segment ID: 1 (%)			Segment ID: 9 (%)			Segment ID: 14 (%)		
Tarih	Saat	Bulutluluk	Tarih	Saat	Bulutluluk	Tarih	Saat	Bulutluluk
22.03.2023	13:49	61	16.03.2023	16:25	48	31.05.2023	17:43	9
22.03.2023	11:06	49	15.03.2023	15:58	100	02.06.2023	10:47	74
21.03.2023	15:02	18	15.03.2023	16:51	100	Segment ID: 15 (%)		
Segment ID: 2 (%)			Segment ID: 10 (%)			Tarih	Saat	Bulutluluk
Tarih	Saat	Bulutluluk	Tarih	Saat	Bulutluluk	02.06.2023	10:47	74
21.03.2023	13:47	0	15.03.2023	16:51	100	02.06.2023	11:56	50
Segment ID: 4 (%)			16.03.2023	13:37	80	21.06.2023	13:32	76
Tarih	Saat	Bulutluluk	16.03.2023	11:11	86	03.06.2023	11:51	40
18.03.2023	14:01	84	16.03.2023	12:07	86	Segment ID: 16 (%)		
18.03.2023	12:54	90	16.03.2023	10:02	82	Tarih	Saat	Bulutluluk
18.03.2023	11:21	80	Segment ID: 11 (%)			02.06.2023	11:56	50
Segment ID: 5 (%)			Tarih	Saat	Bulutluluk	03.06.2023	11:51	40
Tarih	Saat	Bulutluluk	14.03.2023	10:50	90	02.06.2023	17:09	72
18.03.2023	11:21	80	14.03.2023	12:11	90	Segment ID: 17 (%)		
17.03.2023	17:14	100	14.03.2023	14:42	98	Tarih	Saat	Bulutluluk
17.03.2023	16:18	100	14.03.2023	16:16	100	02.06.2023	17:09	72
17.03.2023	15:14	100	30.05.2023	16:42	48	02.06.2023	18:25	58
21.03.2023	10:04	10	31.05.2023	18:03	27	05.06.2023	18:10	14
15.03.2023	13:18	100	30.05.2023	13:04	61	05.06.2023	16:53	16
15.03.2023	12:29	100	30.05.2023	10:34	29	Segment ID: 18 (%)		
15.03.2023	10:59	100	13.03.2023	14:27	100	Tarih	Saat	Bulutluluk
Segment ID: 6 (%)			13.03.2023	12:37	100	05.06.2023	16:53	16
Tarih	Saat	Bulutluluk	16.03.2023	10:02	82	05.06.2023	14:16	25
15.03.2023	10:59	100	14.03.2023	09:59	93	05.06.2023	12:41	30
Segment ID: 7 (%)			Segment ID: 12 (%)			05.06.2023	10:43	17
Tarih	Saat	Bulutluluk	Tarih	Saat	Bulutluluk	04.06.2023	16:13	20
17.03.2023	11:58	97	31.05.2023	10:33	5	Segment ID: 19 (%)		
Segment ID: 8 (%)			31.05.2023	11:54	4	Tarih	Saat	Bulutluluk
Tarih	Saat	Bulutluluk	31.05.2023	13:08	7	04.06.2023	16:13	20
17.03.2023	10:34	97	31.05.2023	18:03	27	04.06.2023	14:34	30
16.03.2023	17:08	60	Segment ID: 13 (%)			04.06.2023	13:12	24
16.03.2023	16:25	48	Tarih	Saat	Bulutluluk	04.06.2023	12:11	10
			31.05.2023	15:06	5			
			31.05.2023	16:34	7			

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : **Melike KARAKAŞ GEDİK**

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2022, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği
- **Yüksek Lisans** : 2025, İstanbul Teknik Üniversitesi, Avrasya Yer Bilimleri Enstitüsü, Katı Yer Bilimleri Anabilim Dalı, Jeodinamik Programı

YÜKSEK LİSANS TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR VE SUNUMLAR:

- **Karakaş, M., Yıldırım, C., Özcan, O., Akay, S. S., Gedik, Y., Baka, Ç. M.** 2025. High-Resolution Thermal Imaging of the Surface Rupture of the February 6 2023, Kahramanmaraş Earthquake (Mw 7.8), Türkiye. *EGU General Assembly 2025*, 27 Apr- 2 May 2025, Vienna, Austria. EGU25-11894. DOI: 10.5194/egusphere-egu25-11894.
- **Karakaş, M., Özcan, O., Akay, S. S., Gedik, Y., & Yıldırım, C.** 2024. Kahramanmaraş depremleri kapsamında yüzey kırıklarının tespitinde termal görüntülemenin kullanımı. *11. Türkiye Kuvaterner Sempozyumu – TURQUA*, November 2024, İstanbul, Turkey.
- **Yıldırım, C., Özcan, O., Akay, S. S., Sarıkaya, M. A., Karakaş, M., Kozacı, Ö., & Altunel, E.** 2023. High-resolution optical and thermal mapping of surface ruptures resulting from February 6, 2023, Mw 7.8 and 7.6 earthquakes in Türkiye *AGU Fall Meeting 2023.*, 11–15 December 2023, San Francisco, CA, USA. Session: Tectonophysics / Tectonic Setting, Geophysics, Surface Ruptures, and Significance of 6 February 2023 Earthquake Sequence in Southern Türkiye and Northwestern Syria II. Poster No. T33D-0345.

DİĞER YAYINLAR VE SUNUMLAR:

- **Baka, Ç. M., Yıldırım, C., Özcan, O., Karakaş Gedik, M., & Gedik, Y.** 2025. High-resolution coseismic surface displacement measurements between Çiğli and Hassa along the surface rupture of 6 February 2023, Kahramanmaraş Earthquake (Mw 7.8), Türkiye. *EGU General Assembly 2025*, 27 Apr- 2 May 2025, Vienna, Austria. DOI: 10.5194/egusphere-egu25-6394.
- **Yıldırım, C., Özcan, O., Akay, S. S., Sarıkaya, M. A., Karakaş, M., Gedik, Y., Kozacı, Ö., Altunel, E., Clahan, K., & Koehler, R.** 2025. High-resolution coseismic surface displacement distribution for February 6, 2023, Elbistan

(Kahramanmaraş) earthquake, Türkiye. *EGU General Assembly 2025*, 27 Apr- 2 May 2025, Vienna, Austria. DOI: 10.5194/egusphere-egu25-15645.

- **Harrichhausen, N., de Sigoyer, J., Klinger, Y., Yıldırım, C., Karakaş, M., & Camus, B.** 2024. Understanding strain partitioning, segmentation, and the slip-rate history of the Middle Branch of the Northern Anatolian Fault, Turkey. *EGU General Assembly 2024*, April 2024, Abstract No. 9097.
- **DuRoss, C. B., Reitman, N. G., Hatem, A. E., Mason, H. B., Lavrentiadis, G., Asimaki, D., Milliner, C., Karakaş, M., & Seçen, B.** 2024. Are field observations of surface rupture useful? An example from the 2023 Mw 7.8 Pazarcık, Turkey (Türkiye), earthquake. *Seismological Research Letters*. <https://doi.org/10.1785/0220240280>
- **DuRoss, C. B., Reitman, N. G., Hatem, A. E., Mason, H., Lavrentiadis, G., Milliner, C., Asimaki, D., Karakaş, M., Seçen, B., Zabcı, C., & Yıldırım, C.** 2023. Field Observations of Surface Rupture and Fault Displacement Near the Intersection of the East Anatolian and Narlı Faults in the 2023 M7.8 Pazarcık, Türkiye Earthquake. *AGU Fall Meeting Abstracts*, 2023(355), Abstract No. S13C-0355.
- **Reitman, N. G., Tan, M., Barnhart, W. D., DuRoss, C. B., Hatem, A. E., Mason, H., Milliner, C., Lavrentiadis, G., Asimaki, D., Karakaş, M., Seçen, B., & Yıldırım, C.** 2023. Surface displacement measurements from five datasets constrain the East Anatolian-Narlı fault intersection in the M7.8 Pazarcık earthquake. *AGU Fall Meeting Abstracts*, 2023(364), Abstract No. S13C-0364.