DOĞU ANADOLU VOLKANLARININ TERMAL KIZILÖTESİ UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE UZUN SÜRELİ TERMAL AKTİVİTESİNİN GÖZLENMESİ

MONITORING OF LONG-TERM THERMAL ACTIVITY OF EASTERN ANATOLIAN VOLCANOES WITH THERMAL INFRARED SATELLITE IMAGES

CANER DİKER

YRD. DOÇ. DR. İNAN ULUSOY

Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin

Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı için Öngördüğü

YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2014

ETİK

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez çalışmasında,

- tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversitede veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

Beyan ederim.

24.06.2014

CANER DİKER

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın, her aşamasında deneyimi, katkılarıyla yol gösteren ve yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyerek gerçekleşmesini sağlayan tez danışmanım Yrd. Doç. Dr. İnan ULUSOY'a, çalışma süresince destek veren ve düşünceleri ile yardımcı olan Araş. Gör. Lütfiye AKIN ve Araş. Gör. Efe AKKAŞ'a, çalışmada kullanılan meteorolojik hava sıcaklığı verisini sağlayan T.C. Orman ve Su Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü'ne, destekleriyle beni cesaretlendiren, katkı sağlayan ve her zaman yanımda olan Aileme ve müstakbel eşim Yağmur KUMSER'e, içtenlikle teşekkür ederim.

Bu tez çalışması TÜBİTAK tarafından 113Y032 no'lu Araştırma Projesi ile desteklenmiştir.

ÖZET

DOĞU ANADOLU VOLKANLARININ TERMAL KIZILÖTESİ UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE UZUN SÜRELİ TERMAL AKTİVİTESİNİN GÖZLENMESİ

Caner DİKER

Yüksek Lisans, Jeoloji Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. İnan ULUSOY

Haziran 2014, 197 sayfa

MODIS (Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi), TERRA ve AQUA uydu platformları üzerinde çalışan, orta çözünürlüklü görüntüleme cihazıdır. 36 bant ile Dünya üzerindeki karasal, denizel ve atmosferik olayları incelemektedir. Gün içinde Terra MODIS 2 kez, Aqua MODIS 2 kez olmak üzere toplam 4 uydu görüntüsü almaktadır. Bu görüntüler 1 km uzamsal çözünürlüğe sahiptir. MODIS yıl boyunca kesintisiz görüntü aldığından, uzun süreli analizler yapılabilmektedir.

Doğu Anadolu'da Holosen volkanlar olan Nemrut, Süphan, Tendürek ve Ağrı dağları için 12 yıllık yüzey sıcaklığı değerleri hesaplanmıştır. MODIS görüntülerinin analizini ve hesaplamaları geçekleştirmek amacıyla IDL (Interactive Data Language – Etkileşimli Veri Dili) dili ile bir kod üretilmiştir. MOVAP (Modis Volkan Analiz Programı) kodu ile 2001-2012 yılları arasında toplam 16.260 adet yüzey sıcaklığı görüntüsü incelenmiştir. Görüntülerin incelenebilmesi için yansıma değerlerini etkileyecek bulutluluk gibi etkenlerin göz önünde bulundurulması gereklidir. Bu nedenle gündüz ve gece görüntülerine bulut maskesi uygulanmış ve ham görüntülerden oluşan ilk veri seti oluşturulmuştur. Güneş, topoğrafya gibi etkenler de bu ilk veri setini etkileyen olgulardır. Bu etkenlerin de kaldırılması için gündüz görüntülerine kosinüs ve Minnaert düzeltmeleri, gece görüntülerine de 3 aşamalı normalizasyon yöntemi ile topoğrafik

düzeltme uygulanmış ve ikinci veri seti oluşturulmuştur. Düzeltmeler ile görüntülerdeki güneş etkisi, topoğrafik etki gibi unsurlar en aza indirgenmeye çalışılmıştır.

İki veri setindeki her görüntü üzerinde incelenen her volkana ait iki adet ilgi alanı penceresi oluşturulmuş, bu alanlardaki maksimum, ortalama ve minimum yüzey sıcaklıkları hesaplanmıştır. Bu ilgi pencereleri iç içe, kare veya dikdörtgen şekilli alanlardır. İlgi alanının biri volkan konisinin tamamını içine alan "tüm volkan penceresini", diğeri ise krater, kaldera alanları ile sınırlandırılmış "zirve penceresini" ifade etmektedir. Hesaplanan sıcaklık değerleri üzerinde anomalileri tespit etmek amacıyla üç yöntem denenmiştir. Bu yöntemler; 1) ΔT değeri, 2) STA/LTA (Short Time Average/Long Time Average – Kısa Süre Ortalaması/Uzun Süre Ortalaması) algoritması ve 3) ΔT değerine uygulanmış STA/LTA algoritmasıdır.

ΔT değeri yönteminde görüntü üzerinde iki ilgi alanı arasındaki sıcaklık farkı ($\Delta T = T_{zirve} - T_{tüm\ volkan}$), düşük termal anomalilerinin tespit edilebilmesinde önemlidir. ΔT değerinin sıfır olması, zirvenin sıcaklığının hesaplanan en yüksek sıcaklık olduğu anlamına gelmektedir ve anomali olarak dikkate alınması gerekir. STA/LTA algoritmasının amacı yüzey sıcaklıklarını filtreleyerek anomali olarak değerlendirilebilecek değerleri ayıklamaktır. Bu işlemde anomaliler tanımlanan bir eşik değer ile belirlenir. Eşik değeri aşan her sıcaklık anomali olma potansiyeline sahiptir.

Üç yöntemin hesaplamaları sonucu eşik değeri aynı zaman aralığında geçen sıcaklık değerlerinin anomali olduğu düşünülmektedir. Bu şekilde 12 yıl boyunca ölçülen yüzey sıcaklık görüntülerinde toplam 67 anomali ölçülmüştür. Yöntem ve kod yardımı ile volkanlardaki uzun süreli termal aktivitenin tespiti ve takibi mümkündür. Geliştirilen yöntem ile volkanlardaki termal anomalileri her hangi bir maliyet olmaksızın gözlemlemek mümkündür.

Anahtar Kelimeler: MODIS, Doğu Anadolu, Yüzey Sıcaklığı, Volkan, Termal Anomali

ABSTRACT

MONITORING OF LONG-TERM THERMAL ACTIVITY OF EASTERN ANATOLIAN VOLCANOES WITH THERMAL INFRARED SATELLITE IMAGES

Caner DİKER

MSc, Department of Geological Engineering

Supervisor: Assistant Professor İnan ULUSOY

June 2014, 197 pages

MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) is an instrument operating on the TERRA and AQUA satellite platforms. It is monitoring land, ocean and atmospheric events on Earth surface with 36 spectral bands. Two by Terra MODIS and two by Aqua MODIS four thermal satellite images are acquired daily. These images have 1 km spatial resolution. MODIS receives images continuously throughout the year and hence, a long term analysis can be made.

The land surface temperature values of the Holocene volcanoes of Eastern Anatolia (Nemrut, Suphan, Ağrı, Tendürek) are calculated for 12 years. A code is generated using the IDL (Interactive Data Language) to perform the analysis and calculations on MODIS images. 16,260 images of surface temperature were examined with MOVAP (Modis Volcano Analysis Program) code between the years 2001 and 2012. In order to examine the images, it is required to consider the factors such as cloudiness that affect the reflectance values. Therefore, we applied cloud mask to daytime and nighttime images and first dataset consisting of raw images was created. Factors such as sun and topography affect this dataset. To remove these factors, cosine and Minnaert corrections were applied to daytime images, and using 3-step normalization method, topographic correction was applied to nighttime images. These topographic corrected images forms the second dataset. Solar and topographic effects have been minimized with corrections.

Two region of interest (ROI) windows have been created on each of the volcanoes we studied. Maximum, mean and minimum surface temperature of ROIs are calculated. These two region of interest windows are nested square or rectangular areas. One of the region of interests refers to "total volcano window" which contains the entire volcanic cone, and the other refers to "summit window" bounded by the crater or caldera area. Three methods were tested to detect anomalies on the calculated temperature values. These method are 1) ΔT value, 2) STA / LTA (Short Term Average / Long Time Average) algorithm, and 3) the STA / LTA algorithm which is applied to the ΔT value.

The ΔT value method calculates, the temperature difference ($\Delta T = T_{summit} - T_{total\ volcano}$) between two ROI on the image. It is important for the detection of low thermal anomalies. The case where ΔT value is zero means the highest temperature is calculated in the summit area. Purpose of STA / LTA algorithm is to extract the appraised values as anomalies by filtering surface temperature. In this process, anomalies are determined by a predefined threshold. Each temperature exceeding the threshold value has the potential to be an anomaly.

Coinciding anomalies detected by the three methods applied has a potantial to reflect the volcanic origined thermal anomalies. 67 anomalies were observed in the images of the calculated surface temperature for 12 year period. The long-term thermal detection and monitoring of volcanic activity is possible with the tested methods and MOVAP code. Using the developed method, it is possible to observe the volcanic origined thermal anomalies without any cost.

Keywords: MODIS, Eastern Anatolia, Land Surface Temperature, Volcano, Thermal Anomaly

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET i
ABSTRACT iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ v
ŞEKİLLER DİZİNİ viii
ÇİZELGELER DİZİNİ xiii
KISALTMALAR xvi
1. GİRİŞ 1
1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı 1
1.2. Çalışma Alanının Tanımı 2
1.3. Önceki Çalışmalar 2
1.3.1. Bölgedeki Volkanlarla ilgili Önceki Çalışmalar 4
Tektonik evrimi ile ilgili çalışmalar; 4
Petrolojik evrimi ile ilgili çalışmalar; 5
Volkano-stratigrafik çalışmalar; 5
1.3.2. Bölgedeki Termal Uydu Görüntüleri ile İlgili Önceki Çalışmalar 6
1.3.3. MODIS Uydu Görüntüleri ile İlgili Önceki Çalışmalar 6
2. DOĞU ANADOLU KUVATERNER VOLKANİZMASI 8
2.1. Doğu Anadolunun Tektonik ve Volkanik Evrimi 8
2.2. Doğu Anadolu Volkanları 13
2.2.1. Nemrut Kalderası 14
2.2.2. Tendürek Volkanı 15
2.2.3. Ağrı Volkanı 16
2.2.4. Süphan Volkanı 16
2.3. Dünya Üzerinde İncelenen Aktif Volkanlar 17
2.3.1. Sinabung Volkanı 17
2.3.2. Semeru Volkanı 18
2.3.3. Tengger Kalderası 21
2.3.4. Nyiragongo Volkanı 23
3. KULLANILAN YÖNTEMLER 25
3.1. Kullanılan Uydu ve Görüntü Sistemleri 25
3.2. MODIS 25
3.1.1.1. MODIS TERRA 29

3.1.1.2. MODIS AQUA 30
3.1.2. ASTER 32
3.2. Analizlerde Kullanılan Yazılım Dili – IDL (Interactive Data Language – Etkileşimli Veri Dili) 35
3.3. MODIS Volkan Analiz Programı (MOVAP) – Yöntem 35
3.3.1. Ana ve Yardımcı Veri Seti 36
3.3.1.1. Ham görüntüler ve Veri 39
3.3.1.2. Gündüz ve Gece Yüzey Sıcaklığı 41
Azimut – Zenit 42
3.3.1.3. Sayısal Arazi Modeli (SAM) 44
3.3.2. Meteoroloji Hava Sıcaklık Verileri 45
3.3.3. Veri Ön Hazırlığı 46
3.3.3.1. Çalışma Alanının Kesilmesi 46
3.3.3.2. Görüntülerin Kelvin → Santigrat Derece Dönüşümü 46
3.3.3.3. Sayısal Arazi Modelinden Elde Edilen Veriler 47
Eğim 47
Bakı 47
3.3.3.4. Maskeleme 49
3.3.3.5. Gündüz Bulut ve Kar Maskelemesi 49
3.3.3.6. Gece Bulut Maskesi 50
3.3.4. Düzeltmeler 54
3.3.4.1. Gündüz Yüzey Sıcaklık Görüntü Düzeltmeleri 55
Kosinüs Düzeltmesi 55
Minnaert Düzeltmesi 56
3.3.4.2. Gece Yüzey Sıcaklık Görüntü Düzeltmeleri 57
STcorr 58
3.3.5. İşlemler / Analiz 59
3.3.5.1. ΔT Sıcaklık Farkı Değeri 59
3.3.5.2. STA/LTA Algoritması 61
3.3.5.3. Aster Uydu Görüntülerinde Yüzey Sıcaklığı Hesabı 63
4. BULGULAR 65
4.1. Doğu Anadolu Volkanları 65
4.1.1. Nemrut Kalderası 69

4.1.2. Tendürek Dağı 70
4.1.3. Süphan Dağı 72
4.1.4. Ağrı Dağı 74
4.2. Aktif Volkanlar 76
4.2.1. Tengger Kalderası 76
4.2.2. Semeru Vokanı 77
4.2.3. Sinabung Volkanı 78
4.2.4. Nyiragongo Volkanı 79
4.3. ASTER Yüzey Sıcaklık Görüntüleri 81
5. TARTIŞMA VE YORUM 90
5.1. MOVAP (MODIS Volkan Analiz Programı) 90
5.2. Düzeltme Uygulanmamış ve Düzeltilmiş Görüntüler 90
5.3. ΔT Hesaplamaları ve STA/LTA Algoritması 91
5.4. Meteoroloji Verisi ile MODIS Yüzey Sıcaklıkları Arasındaki İlişki 96
5.5. Yüzey Sıcaklığı Verisi ile Küresel Isınma Arasındaki İlişki 96
5.6. Öneriler 99
6. SONUÇLAR 101
7. KAYNAKÇA 103
8. EKLER 109

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Türkiye'de bulunan volkanik alanlar, aktif volkanlar haritası ve araştırma kapsamında çalışılan bölgenin yer bulduru haritası (A: Coğrafi Koordinat Sistemi, datum:WGS84; B:UTM koordinat sistemi, datum: WGS84)..... 3

Şekil 2.1. Orta ve Doğu Anadolu bölgelerine ait Neojen-Kuvaterner yaşlı volkanik alanların dağılımını ve bu çalışma ile birlikte incelenecek Doğu Anadolu volkanlarının lokasyonlarını (Nemrut, Tendürek, Ağrı, Süphan) gösterir harita (DAF: Doğu Anadolu Fayı, KAF: Kuzey Anadolu Fayı) [16]. 9

Şekil 2.2. Doğu Anadolu platosunun orta Eosen ve geç Oligosen dönem arasında gerçekleşmiş tektonik evrimini gösteren genelleştirilmiş şeması [14]. 10

Şekil 2.3. Doğu Anadolu bölgesine ait tektonik evrimin genelleştirilmiş kesitleri. Orta Miyosen dönemde, kıta-kıta çarpışması halen devam etmekte ve sonucu olarak kısmen Doğu Anadolu Yükselen kompleksinde homojen incelme ve kalınlaşmalar oluşmaktadır. Dalan plakaya bağlı olarak gelişen Rodop-Pontid magmatizma durmuş ve levha düşmeye başlamıştır. Geç Miyosen döneminde, Doğu Anadolu Yükselen Kompleksi 11 milyon yıl önce kabuk ile ayrılmaya başlamış ve yükseltmeye maruz bırakan manto bölgenin altına yerleşmiştir. Geç Miyosen-Pliyosen dönemde ise levha tamamen ayrılmış ve Arap plakasının altındaki tüketilmemiş alt kıtasal manto Doğu Anadolu derinliklerine sızmıştır. Sızan bu kısım Arap levhasının kuzey kısımlarında en genç alkali basalt lav akıntılarının kaynağıdır [14]..... 11

Şekil 2.4. Anadolu bloğunun Avrasya plakası referanslı GPS hız vektörleri haritası. (Datum:WGS84, GPS: Global Positioning System - Küresel Konumlama Sistemi) [13] 12

Şekil 2.5. Doğu Anadolu bölgesindeki başlıca volkanik merkezler; AçV: Akça volkanı, AkV: Akdoğan kalderası, AV: Ağrı volkanı, BV: Bilican volkanı, BiV: Bilican volkanı, BoV: Bozdağ volkanı, ÇV: Çıplak volkanı GV: Gel volkanı, GiV: Girekol volkanı, HY: Hayal volkanı, KV: Kandil volkanı, MV: Meydan kaldersı, NV: Nemrut volkanı, SV: Süphan volkanı, TV: Tendürek volkanı, YV: Yıllık volkanı, ZV: Zor volkanı. (Veri: Ulusoy, 2008)..... 13

Şekil 2.6. Sumatra Adası'nın kuzeybatısında bulunan Sinabung Volkanı'nın renklendirilmiş SAM görüntüsü (ASTER GDEM V2, Google Earth, UTM, Datum: WGS84). 19

Şekil 2.7. Java Adası'nın orta kesimlerinde bulunan Semeru Volkanı'nın renklendirilmiş SAM görüntüsü (ASTER GDEM V2, Google Earth, UTM, Datum: WGS84)..... 20

Şekil 2.8. Tengger volkanik kompleksinin renklendirilmiş SAM görüntüsü (ASTER GDEM V2, Google Earth, UTM, Datum: WGS84). 22

Şekil 2.9. Nyiragongo volkanı ve kuzey güney boyunca güneybatı-kuzeydoğu boyunca uzanan diğer Doğu afrika rift sistemi volkanları. Güneyinde bölgenin en kalabalık şehri Goma (Nüfus sayısı: 1.000.000, 2012) yer almaktadır. 24

Şekil 3.1. MODIS cihazının genel görüntüsü ve parçalarının isimlendirmeleri [56]. 26

Şekil 3.2. MODIS uydu görüntülerini Sinüsoidal koordinat sisteminde elde etmektedir (v: vertical-düşey; h: horizontal-yatay)[58]. 26

Şekil 3.3. 13 Ocak 2014 tarihinde Terra MODIS tarafından elde edilen yeryüzü sıcaklık görüntüsü (Aster SAM üzerine çakıştırılmış MODIS görüntüsü, Datum: WGS84). 28

Şekil 3.4. MODIS Terra, cihazının bir gün boyunca elde ettiği görüntülerin tümü [58]. 29

Şekil 3.5. Terra uydusu üzerinde yerleşik olarak bulunan 5 cihazın yerleri [61]. 30

Şekil 3.6. Aqua uydusu üzerinde yerleşik olarak bulunan altı ölçüm cihazının yerleri [63]. 31

Şekil 3.7. Aqua uydusu üzerindeki MODIS cihazının elde ettiği bir günlük görüntüsündeki Avrasya ve Afrika kıtalarını görünümü. Hareket yönü güneyden kuzeye doğrudur [64]. 32

Şekil 3.8. MOVAP kodunun yüzey sıcaklık görüntülerini işlemek için takip ettiği ana iş akış şeması. 37

Şekil 3.9. IDL dili ile üretilen MOVAP programındaki işlemlerin bulunduğu arayüzey ve altı adet alt arayüzeyi. 38

Şekil 3.10 Azimut ve zenit açıları ile ilgili tanımlamalar 42

Şekil 3.11. Doğu Anadolu'nun 09.01.2010 tarihinde yüzeye düşen güneş ışınlarının derece cinsinden azimut yönü haritası. 43

Şekil 3.12. 09.01.2010 tarihli Doğu Anadolu bölgesine gelen güneş ışınlarının zenit cinsinden açısı. 44

Şekil 3.13. MODIS görüntüsüne uyarlanmış renklendirilmiş ASTER SAM raster görüntüsü (UTM 36N)(ASTER SAM, METI ve NASA ürünüdür.)[71] 45

Şekil 3.14. Doğu Anadolu bölgesinde 1 km çözünürlüklü SAM'den hesaplanmış eğim açısı değerleri. Siyah renkten beyaz tonlara gidildikçe eğim açısı artmaktadır. 48

Şekil 3.15. Doğu Anadolu'ya ait eğim yönlerini gösteren 1 km çözünürlüklü bakı haritası. Yamaçlar yönlerine göre renklendirilmiştir. 48

Şekil 3.16. Van gölünün sınırları boyunca görünen yoğun nemli havadan meydana geldiği düşünülen pikseller. 49

Şekil 3.17. Kar ve bulut maskesi oluşturulmasında gerçekleşen işlemler. A: ham yüzey sıcaklık görüntüsü, B: yansıma görüntüsü, C: yansıma görüntüsünün yeniden gruplandırılmış görüntüsü, D: maskelenmiş yüzey sıcaklığı görüntüsü (Sarı: bulutlu piksel, Turuncu: seyrek bulutlu piksel, Mavi: karlı-buzlu piksel, Yeşil: tekrar hesaplanmış piksel)..... 51

Şekil 3.18. 09.01.2010 tarihli görüntülerin maskelenmiş yüzey sıcaklığı verilerini oluşturma şeması..... 52

Şekil 3.19. MODIS yüzey sıcaklık gece görüntüsüne uygulanan maskeleme yöntemi. Gölün etrafında oluşan nem yoğunlaşmaları da ham gece yüzey sıcaklık görüntüsünde görülmektedir 53

Şekil 3.20. A: MOD11A1 (Terra) setinde bulunan gece yüzey sıcaklık görüntüsü, B: MYD11A1 (Aqua) setinde bulunan gece yüzey sıcaklığı görüntüsü. Yaklaşık 4 saatlik zaman farkı ile alınmış MODIS gece görütüleri. 54

Şekil 3.21. Lambertian ve gerçek yüzeyin yansıma davranışları. 55

Şekil 3.22. Yüzeyin normali ile güneş ışınımın arasındaki açının hesaplanabilmesi için gerekli açılar (z: zenit açısı, e: yüzeyin eğimi, i: yüzeyin normali ile güneş ışınımın arasındaki açı) [74]. 57

Şekil 3.23. Nemrut Kaldera'sı SAM görüntüsü üzerinde zirve penceresi ve tüm volkan konisini tanımlaması. 60

Şekil 3.24. Bölgesel bir hareketin STA/LTA algoritması ile yorumlanması [82]. 62

Şekil 3.25. ASTER uydu görüntüsünün santigrat cinsi sıcaklığa dönüştürme işlemi akış şeması. 64

Şekil 4.1. Düzeltme uygulanmamış gündüz yüzey sıcaklık görüntüsü (21.08.2010). ... 66

Şekil 4.2. Düzeltme uygulanmamış gece yüzey sıcaklık görüntüsü (21.08.2010). 66

Şekil 4.3. Kosinüs düzeltmesi uygulanan 26.07.2003 tarihli MODIS görüntüsü. Güneş, azimut açısı 207˚ ve zenit açısı 17˚'dedir. Görüntünün azimut açısı değerine bakıldığında, güneşin ışınlarının G-GB'ya bakan yamaçlarda yüksek sıcaklık değerleri vermesi beklenmelidir, oysaki kosinüs düzeltmesinin bir sonucu olarak sırtların veya yükseltilerin KD yamaçları sıcak görülmektedir. Bu sıcaklığın nedeni kosinüs düzeltmesinin bir yan etkisi olan aşırı düzeltme durumudur. Görüntüde Ağrı dağının KD yamacında bu etki oldukça belirgindir. 67

Şekil 4.4. Minnaert düzeltmesi uygulanan 10.08.2012 tarihli MODIS görüntüsü. 67

Şekil 4.5. STcorr düzeltmesi uygulanan 24.06.2009 tarihli MODIS görüntüsü. 68

Şekil 4.6. Nemrut volkanının STcorr düzeltmesi uygulanmış gece termal görüntüleri. 83

Şekil 4.7. Ağrı'ya ait STcorr düzeltmesi uygulanmış yüzey kara sıcaklık görüntüleri .. 84

Şekil 4.8. Tendürek volkanının 4 farklı zamanda alınmış ASTER gece görüntüleri. Bütün görüntülere STcorr düzeltmesi uygulanmıştır. 85

Şekil 4.9. Tengger kalderasına ait iki gece STcorr düzeltmesi uygulanmış ASTER görüntüleri (A/B), MODIS gece yüzey sıcaklık görüntüsü (C). 86

Şekil 4.10. Semeru volkanına ait iki gece STcorr düzeltmesi uygulanmış ASTER görüntüleri (A ve B) ve MODIS gece yüzey sıcaklık görüntüsü (C). 87

Şekil 4.11. Sinabung volkanına ait 13.01.2014 tarihli, STcorr düzeltmesi uygulanmış ASTER görüntüsü (A) ve MODIS gece yüzey sıcaklık görüntüsü (B). 88

Şekil 4.12. Nyiragongo volkanına ait 12.03.2012 tarihli MODIS yüzey sıcaklık görüntüsü 89

Şekil 5.1. Nyiragongo volkanının gece maksimum yüzey sıcaklığına hiçbir düzeltme yapılmamış ΔT değeri grafiği. Kırmızı okların gösterdiği veri kümelerinin içindeki her bir veri değeri "sıfır" olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, volkan üzerindeki maksimum sıcaklığın zirve penceresinde ölçüldüğünü göstermektedir. Noktaların devamlılığı, anomalinin sürekliliği hakkında bilgi vermektedir. 2002 yılından beri Nyiragongo volkanının kraterinde lav gölü olduğu bilinmektedir. Lav gölünün sürekli anomali olarak ölçülmesi beklenir. Ancak bulutluluk nedeniyle, grafikte anomaliler kümeler halinde veya tek tek yansımaktadır. 92

Şekil 5.2. Nyiragongo Volkanı'na ait gece görüntülerinin ΔT değerine uygulanan STA/LTA algoritması sonucu. 93

Şekil 5.3. Gece maksimum yüzey sıcaklığına uygulanan STA/LTA grafiği. Kırmızı işaretler ile gösterilen pik değerlerinin anomali olduğu düşünülmektedir. 94

Şekil 5.4. Nyiragongo Volkanı'na ait ΔT değeri, ΔT-STA/LTA, STA/LTA değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler. Grafik üzerinde gösterilen 1 numaralı kırmızı çizgiler üç grafikte de eş zamanlı anomali olarak görülmektedir. 1a notasyonu ile gösterilen kırmızı çizgisinde anomaliler tam olarak birbirine denk gelmese de zaman ilerledikçe aslında anomalinin devam ettiği görülmektedir. 2 numaralı sarı çizgide yüzey sıcaklık değeri, ΔT değeri ve ΔT-STA/LTA grafiklerinde eşik değerde ölçülmektedir. Ancak bu sıcaklık değeri kesin bir anomali olarak tayin edilebilmesi için STA/LTA grafiğinde de eşik değerde ölçülmesi gerekmektedir. 3 numaralı mavi çizgide ise anomali sadece ΔT-STA/LTA grafiğinde gözlenmektedir ve bu tayin için yeterli olmamaktadır. 95

Şekil 5.5. Meteoroloji hava sıcaklık verisinin Nemrut Volkanı gündüz ve gece yüzey sıcaklığı grafiğindeki yeri. 96

Şekil 5.6. Haritada 1951-1980 ortalama sıcaklıklarına göre 10 yılda (2000-2009) santigrat cinsinden sıcaklık değişimi gösterilmektedir [90]. 99

Şekil 5.7. ΔT-STA/LTA değeri grafiğinde eşik değerinin gösterilmesi. Hesaplamaların mevsimsel farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Bu noktada STA/LTA değerine standart bir eşik değeri (Eşik değeri 1) yerine değişken bir eşik değeri (Eşik değeri 2) uygulanması veya LTA'nın uzatılması söz konusu olabilir. 100

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Anadolu'daki volkanik merkezler ve en son patlama zamanları [4]. 2

Çizelge 2.1. Nemrut Kalderası'na ait Smithsonian Enstitüsü Küresel Volkanizma Programı'ndan alınan son 10 patlamayı gösteren tablo (VEI: Volcanic Explosivity Index, Volkanik Patlama İndeksi)..... 14

Çizelge 2.2. Tendürek Volkanı'na ait Smithsonian Enstitüsü Global Volkanizma Programı'nda alınan patlama geçmişi [4]. 15

Çizelge 2.3. Ağrı Volkanı'na ait Smithsonian Enstitüsü Küresel Volkanizma Programı'ndan alınan patlama geçmişi. En son patlamasını 2 Temmuz 1840 tarihinde gerçekleştiği düşünülmektedir [4]. 16

Çizelge 2.4. Süphan Volkanı'na ait Smithsonian Enstitüsü Küresel Volkanizma Programı'ndan alınan patlama geçmişi [4]. 17

Çizelge 2.5. Smithsonian GVP'den (Global Volcanic Program-Evrensel Volkan Programı) alınan Sinabung Volkanı patlama geçmişi tablosu [4]. 18

Çizelge 2.6. Smithsonian GVP'den (Global Volcanic Program-Evrensel Volkan Programı) alınan Semeru Volkanı patlama geçmişi tablosu [4]. 20

Çizelge 2.7. Smithsonian GVP'den (Global Volcanic Program-Evrensel Volkan Programı) alınan Tengger kalderasına en son 5 patlamasına ait tablosu [4]. 21

Çizelge 2.8. Smithsonian GVP'den (Global Volcanic Program-Evrensel Volkan Programı) alınan Nyiragongo volkanı son 5 patlamasına ait tablo [4]. 23

Çizelge 3.1. MODIS cihazının kullanım amaçları ve karakteristik özellikleri. ([1]1-19 bantların birimi nm, 20-36 bantların birimi μm; [2] Uzamsal yansıma değeri (W/m^2-μm-sr); [3] SNR: sinyal-gürültü oranı (Signal to nosie ratio); [4] NE(delta)T= Gürültü eşdeğer sıcaklık farkı (Noise equivalent temperature difference) [55]. 27

Çizelge 3.2. ASTER cihazından elde edilen görüntülerin karakteristik özellikleri [65].33

Çizelge 3.3. Terra/MODIS MOD11A1 YS (1km) ve Aqua/MODIS MYD11A1 LST (1km) bilimsel veri setlerine ait görüntüler (SDS: Science Data Set- Bilim veri seti)[69]. 39

Çizelge 3.4. Terra/MODIS MOD09GA ve Aqua/MODIS MYD09GA bilimsel veri setlerine ait görüntüler (SDS: Science Data Set- Bilim veri seti)[70]. 41

Çizelge 3.5. Meteorolojiden alınan hava durum raporlarının yerleşim merkezleri ve zaman aralıkları [72]. 46

Çizelge 4.1. Nemrut Kalderası'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 69

Çizelge 4.2. Nemrut Kalderası'na ait kaldera içi penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 69

Çizelge 4.3. Nemrut Kalderası'nda anomali olarak tespit edilen değerler. 70

Çizelge 4.4. Tendürek Dağı'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri 71

Çizelge 4.5. Tendürek Dağı'na ait batı krater penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri 71

Çizelge 4.6. Tendürek Dağı'na ait doğu krater penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri 71

Çizelge 4.7. Tendürek volkanında anomali olarak tespit edilen değerler. 72

Çizelge 4.8. Süphan Dağı'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 73

Çizelge 4.9. Süphan Dağı'na ait zirve penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 73

Çizelge 4.10. Süphan volkanında anomali olarak tespit edilen değerler. 73

Çizelge 4.11. Ağrı Dağı'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 74

Çizelge 4.12. Ağrı Dağı'na ait batı zirve penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 75

Çizelge 4.13. Ağrı Dağı'na ait doğu zirve penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 75

Çizelge 4.14. Ağrı volkanında anomali olarak tespit edilen değerler. 75

Çizelge 4.14'ün devamı 76

Çizelge 4.15. Tengger Kalderası'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 77

Çizelge 4.16. Tengger Kalderası'na ait kaldera içi penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 77

Çizelge 4.17. Semeru Volkanı'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 78

Çizelge 4.18. Semeru Volkanı'na ait zirve penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 78

Çizelge 4.19. Sinabung Volkanı'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 79

Çizelge 4.20. Sinabung'a Volkanı'na ait zirve penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 79

Çizelge 4.21. Nyiragongo Volkanı'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 80

Çizelge 4.22. Nyiragongo Volkanı'na ait krater penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri. 80

Çizelge 4.23. İncelenen ASTER cihazı görüntüleri ve tarihleri. 81

Çizelge 5.1. Yüzey sıcaklığı ve yerel meteoroloji istasyonunda ölçülen sıcaklık değerlerinin değişimini gösteren ortalama değer denklemleri ve 10 yıllık değişim değeri. 97

Çizelge 5.2. Meteorolojik veri ile 1880-2012 yılları arasındaki hesaplanan sıcaklık değişimi [89]. 99

KISALTMALAR

m: metre

km: kilometre

˚K: Kelvin cinsi sıcaklık değeri

˚C: Santigrat cinsi sıcaklık değeri

İA: İlgi Alanı

IDL: Etkileşimli Veri Dili (Interactive Data Language)

MODIS: Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi (Moderate Resolution Imaging Spectoradiometer)

MOVAP: MODIS Volkan Analiz Programı

ΔT: Zirve sıcaklık değeri – Tüm volkan sıcaklık değeri

STA: Kısa süre ortalaması (Short Time Average)

LTA: Uzun süre ortalaması (Long Time Average)

1. GİRİŞ

Yeryüzünde farklı tipte aktivite ve patlamalar gerçekleştiren çok sayıda volkan yer almaktadır. Anadolu'da bilinen en son volkanik aktivite Tendürek'te 1855, Ağrı'da 2 Temmuz 1840 [1], Nemrut'ta 1692 tarihlerinde gerçekleşmiştir [2]. Buna karşın, Avrupa kıtasındaki en son volkanik patlamalar; İzlanda'da Grimsvötn (2011) ve Eyjafjallajökül (2010) volkanlarında, İtalya'daki Etna (2014) volkanında gerçekleşmiş ve yerleşim merkezlerinden çok uzak olmalarına rağmen, Avrupa ülkelerinin ekonomilerini olumsuz yönde etkilemiştir. Diğer yandan Kamçatka yarımadasında bulunan Kliuchevskoi volkanı 2013'te faaliyete geçmiş ve faaliyetine 2014 yılında da devam etmiştir. Bölgede yerleşim alanının olmaması nedeniyle zarar sadece doğaya yönelik gerçekleşmiştir. Ayrıca 2014 yılı başında Endonezya'da Sinabung volkanında püskürmeli patlamalar sonucu bölgede yaşayan 14 insan hayatını kaybetmiş ve birçok canlı yaşamını yitirmiştir. Aynı zamanda ekonomik zararın çok fazla olduğu görülmüştür.

Anadolu'da son 1000 yılda volkanik aktiviteler gerçekleştiği volkanolojik ve tarihsel gözlemlerle bilinmekte, belgelenmektedir (Çizelge 1.1). Szakacs [3], 10.000 yıl içinde en az bir kere patlamış, veya alternatif olarak bilimsel metodlarla 5000 ya da 2000 yıl içinde patlama gerçekleştirdiği kanıtlanmış olan volkanları aktif bir volkan olduğunu ifade etmektedir. Bu nedenle ülkemizdeki Nemrut, Tendürek, Ağrı, Süphan ve Erciyes gibi aktif statüsünde bulunan volkanların izlenmesi, oluşabilecek anomalilerle ilgili olarak elde edilecek bilgilerin kaydedilerek, hem günümüz hem de gelecekteki araştırmacılara ulaştırılması çok önemlidir.

1.1. Çalışmanın Amacı ve Kapsamı

Bu çalışmada, Doğu Anadolu bölgesinde bulunan volkanlardaki düşük seviyeli termal anomalilerin saptanması amaçlanmıştır. Çalışma kapsamına volkanların 12 yıllık gündüz ve gece termal görüntüleri kullanılmıştır. Görüntüler, (1) ham sıcaklık verileri halinde ve (2) gerekli maskeler ve düzeltmeler uygulandıktan sonra işlenmiştir. Bütün bu işlemlerin yapılabilmesi ve bu işlemlerin yeni uydu görüntüleri üzerinde tekrarlanabilmesi için bilgisayar kodları yazılması çalışmanın diğer bir amacıdır. Ayrıca yüksek çözünürlüğe sahip ASTER termal kızılötesi görüntüleri ile volkanların daha ayrıntılı olarak incelenmesi planlanmıştır.

1.2. Çalışma Alanının Tanımı

Çalışma, Türkiye'de sınırları içerisinde Van, Bitlis, Iğdır, Ağrı illerinde yer alan Nemrut, Süphan, Tendürek, Ağrı volkanlarını kapsamaktadır. Çalışma bölgesinde bunlar dışında çoğunlukla deformasyona uğramış birçok volkanik merkez bulunmaktadır (Şekil 1.1). Bölge, güney kısmında, Türkiye'nin en büyük soda gölü olan Van Gölünü de kapsamaktadır.

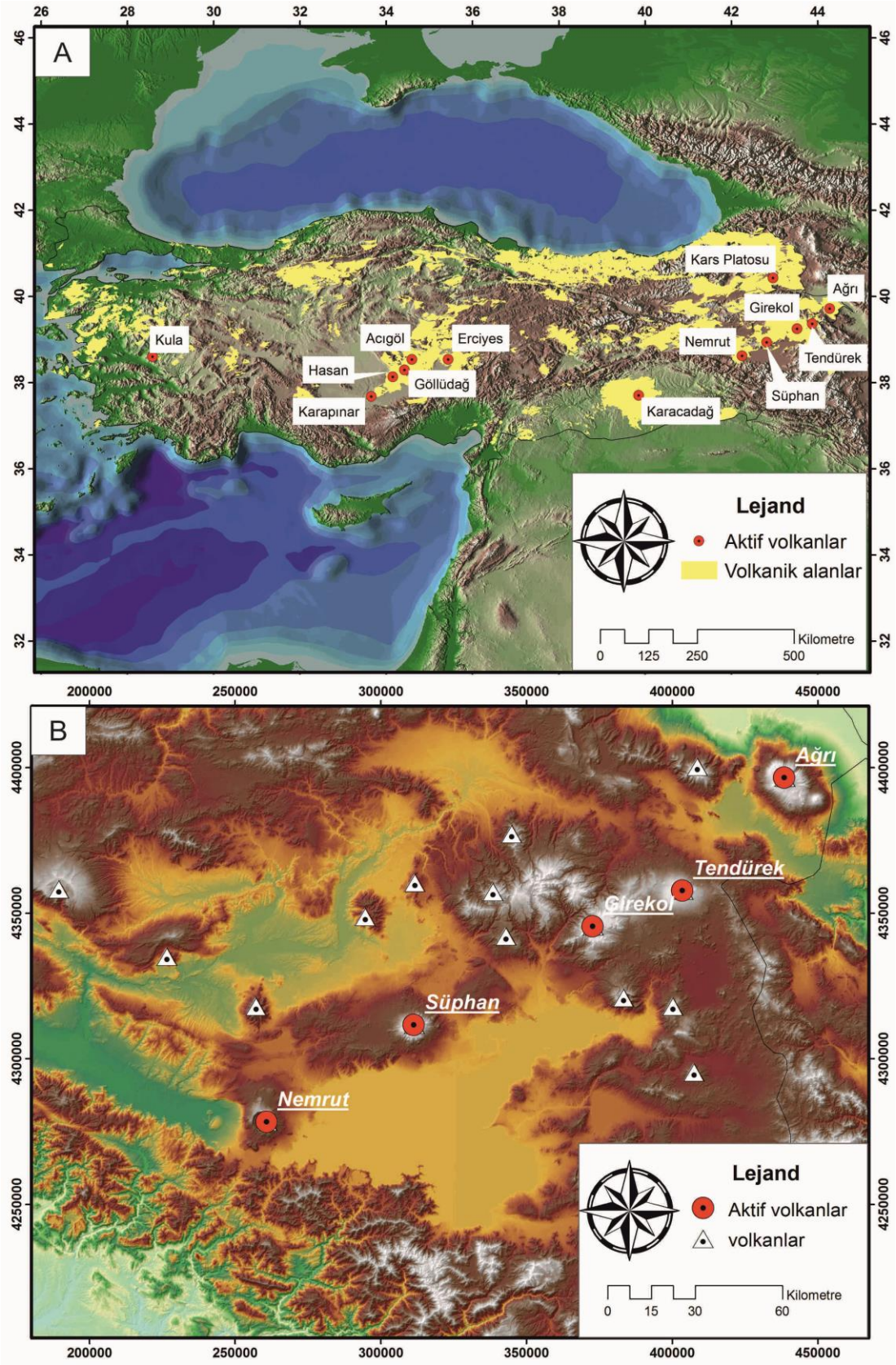
Endonezya sınırları içerisinde de Sinabung volkanı, Tengger kalderası ve Semeru volkanı, Kongo Demokratik Cumhuriyeti sınırları içerisinde yükselen Nyiragongo volkanı da inceleme kapsamına alınmıştır. Bu volkanların incelenmesinin amacı, püskürmeli ve veya efüzif aktivite öncesi MODIS termal görüntülerinde patlama öncesi sıcaklık değişiminin nasıl gerçekleştiğini ortaya koymak, gözlemektir.

1.3. Önceki Çalışmalar

Doğu Anadolu bölgesine ait volkanolojik çalışmalar çoğunlukla bölgenin jeokimyasal, petrografik, tektonik ve petrolojik evrimi konu almaktadır. Genel olarak bölgeden jeokimyasal ve petrografik veriler elde edilmiş ve birçok araştırmacı bölgenin jeolojik oluşumu hakkında yorumlar yapmıştır.

Çizelge 1.1. Anadolu'daki volkanik merkezler ve en son patlama zamanları [4].

Volkan ismi	Volkan türü	En son patlama zamanı
Kula	Cüruf Konisi ve Maarlar	~10.000 yıl önce [5]
Karapınar	Cüruf Konisi ve Maarlar	Bilinmiyor
Hasan Dağı	Stratovolkan	M.Ö.6960
Göllüdağ	Dom	Bilinmiyor
Acıgöl-Nevşehir	Kaldera	M.Ö.2080
Erciyes Dağı	Stratovolkan	M.S. 253 (?)
Karacadağ	Kalkan volkan	Bilinmiyor
Nemrut Dağı	Kaldera	13 Nisan 1692
Süphan Dağı	Stratovolkan	M.Ö. 8050 (?)
Girekol Tepe	Kalkan volkan	Bilinmiyor
Tendürek Dağı	Kalkan volkan	1855
Ağrı Dağı	Stratovolkan	1840



Şekil 1.1. Türkiye'de bulunan volkanik alanlar, aktif volkanlar haritası ve araştırma kapsamında çalışılan bölgenin yer bulduru haritası (A: Coğrafi Koordinat Sistemi, datum:WGS84; B:UTM koordinat sistemi, datum: WGS84)

1.3.1. Bölgedeki Volkanlarla ilgili Önceki Çalışmalar

Doğu Anadolu bölgesinin evrimi hakkında sırası ile tektonik, petrolojik ve volkano-stratigrafik çalışmaları şu şekilde özetleyebiliriz.

Tektonik evrimi ile ilgili çalışmalar;

Şengör ve Kidd [6], Türk-İran platosunun çarpışma sonrası tektonik faaliyeti incelemiş ve Tibet platosu ile karşılaştırmalar yapmıştır.

Dewey ve Şengör [7], Ege bölgesi ve etrafındaki yaklaşan tektonik plakaların hareketlerini ve Doğu Anadolu'da sıkışmaya bağlı batı yönelimli hareketin Anadolu'ya etkisini incelemişlerdir.

Şengör ve Yılmaz [8], Tetis okyanusu evrimini iki ana evrede incelemiş ve buna bağlı olarak Doğu Anadolu'daki plaka tektoniği-volkanik ilişkisinden bahsetmiştir.

Pearce vd. [9], geç Senozoyik dönemde Doğu Anadolu'da kıta-kıta çarpışması ile oluşan volkanik gelişimi incelemiştir. Çalışmada Sr, Nd izotop ve iz elementlerinin, Arap plakası kökenli magmadan oluştuğu ve belli bir zaman aralığında küçük astenosfer eriyiklerinin de bu volkanizmaya dahil olduğu gözlemlenmiştir.

Adıyaman vd. [10], Anadolu'nun batı yönlü hareketi ve kıtasal çarpışmanın jeodinamik bağlamında volkanik ve tektonik hareketler arasındaki ilişkileri incelemişlerdir.

Koçyiğit vd. [11], Doğu Anadolu Platosu'nda gerçekleşen bindirmeden ve doğrultu atımlı faylanmalardan oluşan değişimini incelemiş ve bölgenin neotektonizması hakkında yorumda bulunmuştur.

Dhont ve Chorowicz [12], Doğu Türk-Ermeni Platosunun Neotektonik birimlerini sayısal arazi modeli görüntülerinden jeomorfolojik analiz yaparak incelemiştir.

Reilinger vd. [13], Afrika-Arap-Avrasya kıtalarının çarpışma bölgesinin kıtasal deformasyonunu yıllık ortalama GPS hız verileri ile yorumlamış ve plaka dinamiği ile ilgili sonuçlarını tartışmıştır.

Şengör vd. [14], Doğu Anadolu bölgesindeki orojenezde çarpışma sonrası kabuk oluşum süreçleri için model sunmuştur.

Petrolojik evrimi ile ilgili çalışmalar;

Keskin [15], Doğu Anadolu'da dalma-batma zonunda gerçekleşen dalan plakanın dikleşmesi ve kopması sonucu oluşarak türeyen magma ve çarpışmaya bağlı gelişen volkanizma için bir model ortaya koymuştur.

Şen vd. [16], Orta ve Doğu Anadolu'da çarpışma sonrası Kuvaterner yaşlı volkanik birimlerden alınan örneklerle nadir toprak element ve iz element analizleri gerçekleştirmiş ve bölge için bir petrojenetik model öne sürmüştür.

Çubukçu vd. [17], Nemrut volkanının petrolojik analizlerini yapmış ve petrolojik evrimi hakkında yorumlarda bulunmuştur.

Innocenti vd. [18], Van Gölü etrafında gerçekleştirdiği çalışmalarda bölgedeki kalk alkalin volkanik aktivitenin geç Miyosen'den 6 milyon yıl öncesine kadar devam ettiğini ve bu aktivitenin Arap plakasının Anadolu kütlesinin altına dalmasıyla ilişkili olduğunu ortaya koymuştur.

Volkano-stratigrafik çalışmalar;

Sanver [19], Türkiye'de bulunan Kuvaterner yaşlı volkanik kayaçlar üzerinde palaeomagnetik çalışmalarda bulunmuştur.

Atasoy vd. [20], TPAO (Türkiye Petrolleri Anonim Ortaklığı) bünyesinde Nemrut volkanının stratigrafisini oluşturmuş ve jeotermal potansiyeli hakkındaki bilgileri rapor haline getirmiştir.

Yılmaz vd. [21] , Doğu Anadolu'da bulunan aktif Kuvaterner volkanik merkezler olan Nemrut, Tendürek, Ağrı ve Süphan volkanlarının jeolojik haritalarını ve stratigrafik kesitlerini oluşturmuş ve bölgenin volkanik özellikleri hakkında bilgi vermiştir.

Aydar vd. [22], aktif Nemrut volkanının morfolojik analizinden yola çıkarak bir risk haritası oluşturmuş ve gelecekte oluşabilecek iki ciddi patlama senaryosu üzerinde durmuştur. Bu çalışmada Nemrut'un volkanolojik geçmişine bakılarak, beklenen patlamanın iki çeşit olabileceği ve bunların birisinin yüksek enerjili freatomagmatik aktiviteler sonrası lav akıntıları, diğerinin düşük enerjili efüzif-ekstrüzif akıntılar şeklinde olabileceği öngörülmektedir.

Ulusoy vd. [23], Nemrut Dağı'nın volkanolojik evriminin kalderanın oluşumu sırasında gerçekleşmiş patlamalarla meydana geldiğini, bu patlamaların pre-kaldera, sin-kaldera, post-kaldera olarak üç farklı evrede gerçekleştiğini ve yaklaşık 1 milyon yıl önce başlayıp tarihsel döneme kadar devam ettiğini ifade etmiştir.

1.3.2. Bölgedeki Termal Uydu Görüntüleri ile İlgili Önceki Çalışmalar

Dünya üzerindeki birçok volkanın termal uydu görüntüleri ile analiz çalışmaları hız kazanmıştır. Ancak ülkemizde aktif volkanları, volkanik yapıları ve bunların petrolojik karakteristiklerini çalışan araştırmacılar olmasına rağmen, termal uydu görüntü analizinin yapıldığı araştırmalar çok az sayıdadır. Bölgede daha önce termal görüntülerin kullanıldığı iki çalışma bulunmaktadır.

Ulusoy vd. [2], Nemrut kalderasındaki hidrotermal sıvı hareketleri ve kalderanın yapısal özelliklerini, Aster ve Landsat görüntüleri, sayısal arazi modelinden oluşturulan topoğrafik modeller, doğal potansiyel ölçümleri ve batimetrik verileri kullanarak incelemiştir.

Ulusoy vd. [24], IDL tabanlı STcorr kodunu oluşturmuş ve bu kodu kullanarak termal kızılötesi gece görüntülerinde yüksekliğe bağlı sıcaklık düşüşünün ve aydınlanma etkilerinin normalizasyonunu gerçekleştirmiştir.

1.3.3. MODIS Uydu Görüntüleri ile İlgili Önceki Çalışmalar

MODIS cihazının kullanılarak volkanlara yönelik yapılan analiz çalışmaları şu şekilde özetlenebilir;

Wright vd. [25], dünya üzerinde geçekleşebilecek volkanik aktiviteleri tespit etmek için yarı-gerçek zamanlı MODVOLC programını oluşturmuşlardır. Termal değişimleri otomatik olarak algılanması için MODIS uydu görüntülerinin nasıl kullanılabileceğini gösteren örnekler vermişlerdir.

Novak vd. [26], iki aylık bir süreç içerisinde Meksika'daki Popocatepetl volkanının emisivite miktarını MODIS kızılötesi verisi kullanarak belirlemişlerdir.

Manen vd. [27], Tanzanya'daki Oldoinyo Lengai volkanındaki volkanik aktiviteye bağlı termal anomalileri araştırmışlardır. MODLEN algoritmasını kullanarak MODIS uydu görüntülerini filtrelemişlerdir.

Coppola vd. [28], MODIS cihazı verisi kullanarak Piton de la Fournaise'da 2003-2007 yılları arasında zirvede gerçekleşen patlamalar sırasında ortalama lav çıkış oranını hesaplamışlardır. Isı akışının hesaplanması MODIS verisinin yalnızca yüzde 10'u ile gerçekleştirilmiştir.

Coppola vd. [29], Stromboli volkanının sıcaklık yansımasını strombolian ve efüzif olmak üzere iki ana rejime ayırmışlardır. 2000-2011 yılları arasında alınan Stromboli'ye ait MODIS gece görüntüleri analizini kullanarak sıcaklık değişimini hesaplamışlardır.

Murphy vd. [30], MODIS ve ASTER uydu görüntülerini kullanarak 11 yıllık süreçte 4 volkanın termal aktivitelerini incelemişler ve termal anomalilerin büyüklük ve şiddetini belirlemişlerdir.

Noguchi vd. [31], MODIS'in orta-kızılötesi bant aralığındaki görüntüleri kullanarak volkanik aktivitenin gözlemlenmesi için yeni bir algoritma önermişlerdir.

Vaughan vd. [32], ASTER ve MODIS termal kızılötesi görüntüleri ile Yellowstone Milli Park'ındaki ısı akışı ve hidrotermal değişikliklerini hesaplamışlardır.

2. DOĞU ANADOLU KUVATERNER VOLKANİZMASI

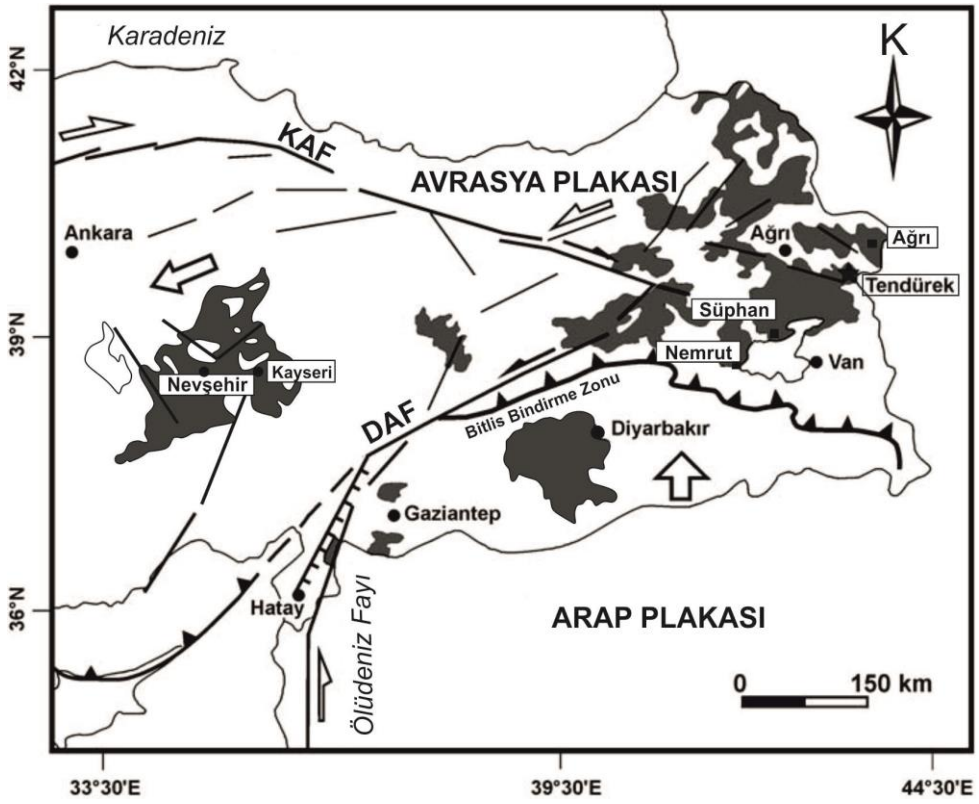
Doğu Anadolu bölgesi, kuzeyde 41˚30′ paraleli ile başlayan Kafkas Dağları, güneyde 37˚ kuzey paraleli ile başlayan Zagros Dağları ile sınırlandırılmaktadır ve iki ayrı bölge olarak tanımlanmıştır. Bu bölgeler, kuzeyde Erzurum-Kars Platosu olarak da adlandırılan İranid kuşağının kolu olan Rodop-Pontid'in bir kısmından, güneyde Doğu Anadolu Yükselen Kompleksi'nden oluşmaktadır. Doğu Anadolu bölgesi, Alp Orojenez kuşağında yaklaşık 2000 metre ortalama yüksekliğe sahip bir bölgedir [14].

Doğu Anadolu bölgesinin jeolojisi en iyi şekilde neotektonik, paleotektonik kayaç paketleri ve yapıları ile ifade edilmektedir [33]. Paleotektonik ve Neotektonik yapıların evrimi, Batı Rodop-Pontid yayı, Doğu Anadolu sıkışma bölgesi ve Bitlis-Pötürge masifi ve bu üç bölgenin birbirleriyle etkileşimi ile gerçekleşmektedir [33].

2.1. Doğu Anadolunun Tektonik ve Volkanik Evrimi

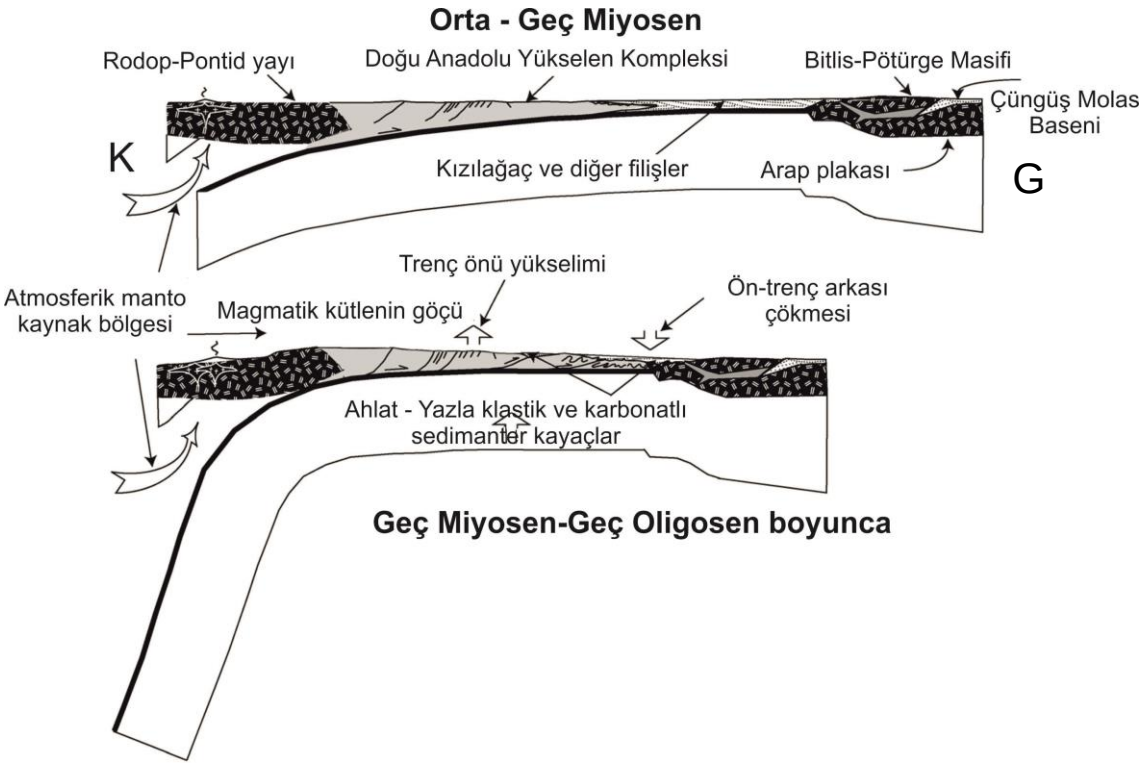
Arap ile Avrasya plakaları kıta kıta çarpışması sonucu Muş-Bitlis-Zagros kenet kuşağı boyunca Arap plakası Avrasya plakası altına dalmaktadır [34]. Arap-Avrasya plakalarının kıta içi çarpışması Serravaliyen zamanından itibaren başlamıştır [8, 35]. Pontid kuşağı magmatik yayı, Geç Eosen – Geç Oligosen zamanında Arap plakasının Avrasya plakasına altına dalması sonucu oluşmuştur. Geç Kretase yaşlı ofiyolitik melanj, naplar halindeki çarpışmanın etkisiyle oluşan bindirme ile Doğu Anadolu Kompleksinin güney kenar kısmına taşınmıştır [33]. Bu ofiyolitik melanj Doğu Anadolu bölgesinin en uç kısımlarında yer almaktadır [33].

Orta Miyosen'den geç Miyosen sonuna kadar Arap Plakasının kuzey yönlü hareketi ile Avrasya plakasına çarpışması Arap plakasının dalım yapmasıyla sonuçlanmıştır [6, 7, 14](Şekil 2.2). Doğu Anadolu bölgesini çevreleyen bu birimlerin günümüzdeki durumu Senozoyik dönemde meydana gelmiştir [36]. Bu bölge birçok Alp orojenez kenet kuşağının bulunduğu önemli bir bölgedir ve Alp orojenez kenet kuşağı düğümü olarak da adlandırılmaktadır. [36].



Şekil 2.1. Orta ve Doğu Anadolu bölgelerine ait Neojen-Kuvaterner yaşlı volkanik alanların dağılımını ve bu çalışma ile birlikte incelenecek Doğu Anadolu volkanlarının lokasyonlarını (Nemrut, Tendürek, Ağrı, Süphan) gösterir harita (DAF: Doğu Anadolu Fayı, KAF: Kuzey Anadolu Fayı) [16].

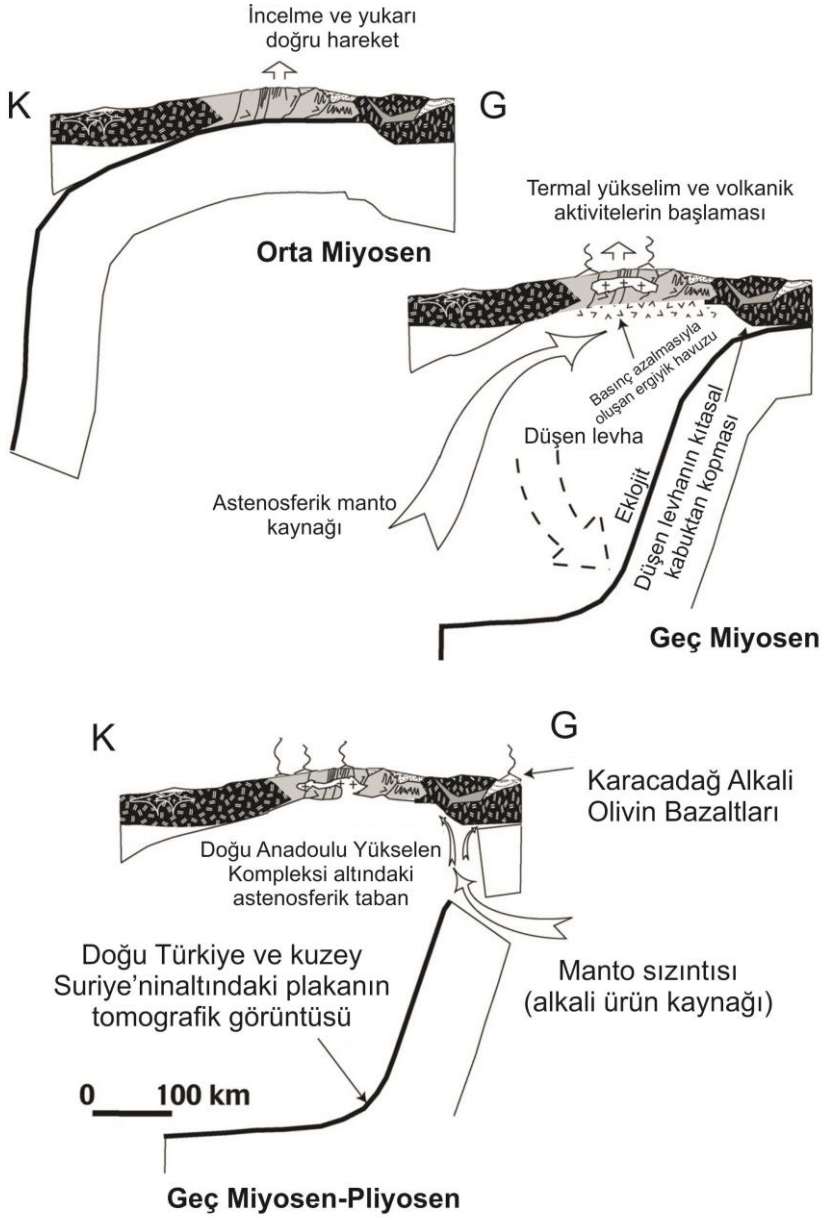
Doğu Anadolu'da kıta-kıta plaka yaklaşımı ve kuzey güney yönlü sıkışma-daralma tektonik rejimin geç Miyosene kadar devam etmiş, bu rejim geç Pliyosen başlarında sıkışma-açılma rejimine dönüşmüştür [11]. Bu sıkışma-açılma rejiminin bir sonucu olarak Anadolu kütlesinin bir kısmını kama şeklinde, sol yönlü doğrultu atımlı Doğu Anadolu fay sistemi (DAFS) ve sağ yönlü doğrultu atımlı Kuzey Anadolu fay sistemi (KAFS) boyunca, saat yönünün tersinde bir harekete zorlanmıştır [7].



Şekil 2.2. Doğu Anadolu platosunun orta Eosen ve geç Oligosen dönem arasında gerçekleşmiş tektonik evrimini gösteren genelleştirilmiş şeması [14].

Keskin [37] neotektonik olayları şu şekilde özetlemiştir: Bitlis-Pötürge masifi ve Arap plakası arasındaki Neotetis'in güney kolunun tamamen kapanması Oligosen zamanında gerçekleşmiştir. Oligosen ve Seravaliyen periyodu arasında Doğu Anadolu Yükselen Kompleksi (DAYK) kısalmış ve buna bağlı olarak dalan plaka kalınlaşmış ve ilerlemesi durmuştur [37]. Denizel kökenli kabuğun dalan kısmı dikleşmiş ve DAYK'dan ayrılmıştır. Astenosferik mantonun araya girmesiyle plakanın kopan kısmı ayrılmaya devam etmiştir [37]. Ayrılmanın etkisiyle astenosferik manto kopan plaka ile DAYK arasına girmiştir. Bunun sonucu olarak DAYK bölgesel yükselime uğramış ve bir dom yapısı oluşturmuştur [37].

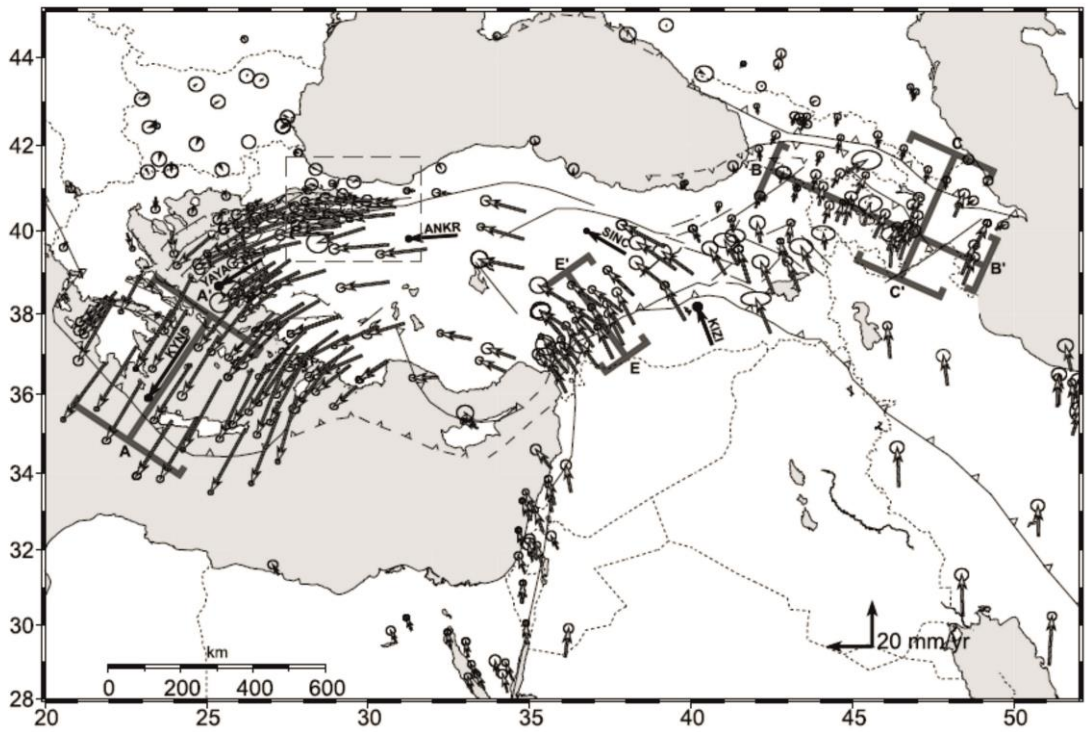
Doğu Anadolu'nun kabuk yapısını ve fiziksel özelliklerini ortaya çıkarmak amacıyla Cornell Üniversitesi, Boğaziçi ve Erzurum Atatürk Üniversiteleri Doğu Türkiye Sismik Deneyi adı altında bir araştırma gerçekleştirmiştir [38, 39, 40]. Daha önce, Şengör ve Kidd [6], kıtasal kabuğun 55 km kalınlığında olduğunu varsaymışlardır. Doğu Türkiye Sismik Deneyi sonuncunda Doğu Anadolu Yükselim Kompleksi mevcut topoğrafyadaki en fazla yüksekliğe sahip olmasına rağmen, kıtasal kabuğun beklenenden az kalınlığa sahip olduğu ortaya çıkmıştır [14].



Şekil 2.3. Doğu Anadolu bölgesine ait tektonik evrimin genelleştirilmiş kesitleri. Orta Miyosen dönemde, kıta-kıta çarpışması halen devam etmekte ve sonucu olarak kısmen Doğu Anadolu Yükselen kompleksinde homojen incelme ve kalınlaşmalar oluşmaktadır. Dalan plakaya bağlı olarak gelişen Rodop-Pontid magmatizma durmuş ve levha düşmeye başlamıştır. Geç Miyosen döneminde, Doğu Anadolu Yükselen Kompleksi 11 milyon yıl önce kabuk ile ayrılmaya başlamış ve yükseltmeye maruz bırakan manto bölgenin altına yerleşmiştir. Geç Miyosen-Pliyosen dönemde ise levha tamamen ayrılmış ve Arap plakasının altındaki tüketilmemiş alt kıtasal manto Doğu Anadolu derinliklerine sızmıştır. Sızan bu kısım Arap levhasının kuzey kısımlarında en genç alkali basalt lav akıntılarının kaynağıdır [14].

GPS verilerine dayanarak Avrasya plakasına ait hareket yönü Şekil 2.4'te gösterilmektedir [13]. Reilinger ve diğerleri, hız dağılımları ve GPS vektörel yönleri verisi ile, Arap Plakasının Avrasya Plakasına göre yılda 15-25 mm yaklaştığını ortaya koymuştur [13]. Anadolu bloğu bu hareketin sonucu olarak Kuzey Anadolu Fay hattı boyunca batıya kaymaktadır [13].

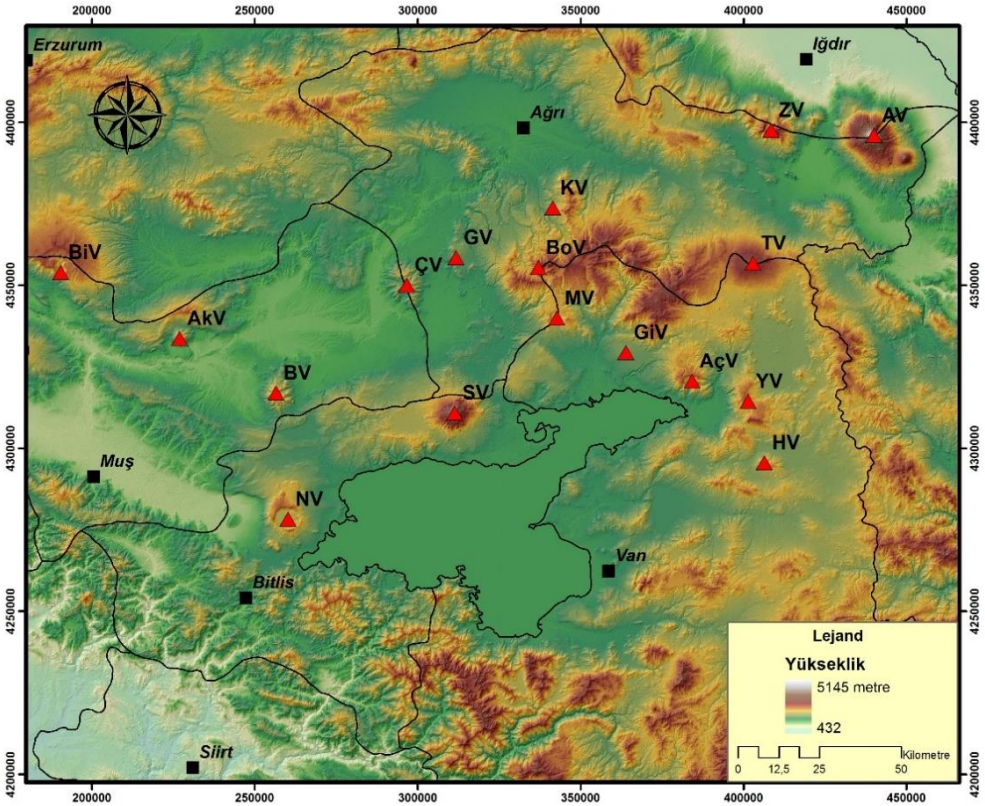
Bölgede birçok yanal atımlı fay vardır. Bu faylar, bölgedeki Pliyokuvaterner baseni ve volkanik birimleri kesmekte, yerleşimlerini bozmakta ve deformasyona uğratmaktadır [11]. Sol yanal atımlı faylar ve fay zonları 5 ila 600 km uzunluğundan, birkaç metreden 10 km'ye kadar genişliğe sahip paralel olarak bulunabilen, devamlılığı olmayan fay segmentleri içeren makaslama zonlarından oluşmaktadır [11].



Şekil 2.4. Anadolu bloğunun Avrasya plakası referanslı GPS hız vektörleri haritası. (Datum:WGS84, GPS: Global Positioning System - Küresel Konumlama Sistemi) [13]

2.2. Doğu Anadolu Volkanları

Bölgede kuvaterner boyunca yoğun bir volkanik faaliyet gerçekleşmiştir. Bir volkan, 10.000 yıl öncesinden günümüze kadar en az bir kez patlama gerçekleştirdiyse, bu volkan aktif bir volkan olarak tanımlanmaktadır [3]. Bu tanıma göre Doğu Anadolu'da Nemrut, Süphan, Girekol, Tendürek ve Ağrı; Orta Anadolu'da Erciyes, Hasan ve Göllüdağ; Batı Anadolu'da da Kula volkanizması aktif volkanizma olarak değerlendirilebilir. Doğu Anadolu'daki başlıca volkanik merkezler Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5. Doğu Anadolu bölgesindeki başlıca volkanik merkezler; AçV: Akça volkanı, AkV: Akdoğan kalderası, AV: Ağrı volkanı, BV: Bilican volkanı, BiV: Bilican volkanı, BoV: Bozdağ volkanı, ÇV: Çıplak volkanı GV: Gel volkanı, GiV: Girekol volkanı, HY: Hayal volkanı, KV: Kandil volkanı, MV: Meydan kaldersı, NV: Nemrut volkanı, SV: Süphan volkanı, TV: Tendürek volkanı, YV: Yıllık volkanı, ZV: Zor volkanı. (Veri: Ulusoy, 2008)

2.2.1. Nemrut Kalderası

Pliyokuvaterner volkanizması bugünkü Doğu Anadolu bölgesi morfolojisinin oluşumunda en önemli etkendir [2]. 8,5x7 km genişliğindeki kalderasıyla bölgedeki ana volkanik merkezlerden birisi olan Nemrut Dağı, Van Gölü'nün batı kıyısında ve Bitlis-Zagros kenet kuşağının kuzeyinde yer almaktadır [41]. Nemrut Kalderası'nın volkanolojik evrimi kaldera öncesi ve kaldera sonrası olarak iki evrede incelenmektedir [22]. Kaldera öncesi evre volkan konisinin gelişimini ve çevresinde oluşan volkanik patlamaları içermektedir [22]. Kaldera sonrası evre, volkanın kuzey yamacında gerçekleşen fisürel bimodal volkanizma ve kaldera içi aktiviteleri içermektedir [17].

Bilinen en yaşlı volkanik birimler peralkalin riyolit ile örtülü, volkanın güney ve güneybatı yamaçlarında mostra vermiş trakitlerdir [20, 42]. Kaldera öncesi aktivite 100-80 bin yıl [43] önce güney ve güneybatı yamaçlarında gözlenen bazaltik trakiandezitik lav akıntıları üretmiştir. Ayrıca birden fazla trakit intruzyonlar kaldera duvarlarında gözlenmektedir [17].

Kaldera oluşumunun 90 bin yıldan genç volkanik patlamalarla magma odasının boşalmasına bağlı olarak gerçekleştiği öne sürülmüştür ve bu oluşumun tam zamanının bilinmemesine rağmen 90-30 bin yıl sürdüğünü düşünülmektedir [17]. Kaldera sonrası aktivite kaldera içi ve kaldera kuzey yamacındaki tarihsel aktivite (1597) ile tanımlanabilir [17]. Efüzif aktivite kaldera içinde, kalderanın doğu baskındır [17]. Kaldera'nın kenarında kaldera sonrası tek bir lav akıntısı gözlenmektedir [17].

Çizelge 2.1. Nemrut Kalderası'na ait Smithsonian Enstitüsü Küresel Volkanizma Programı'ndan alınan son 10 patlamayı gösteren tablo (VEI: Volcanic Explosivity Index, Volkanik Patlama İndeksi).

Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	VEI	Referans	Aktivite bölgesi veya birimi
13 Nisan 1692	Bilinmiyor			
27 Ekim 1650	Bilinmiyor		Tarihsel gözlem	Batı kanadı
1597(?)	Bilinmiyor		Tarihsel gözlem	

Çizelge 2.1'in devamı

1441	Bilinmiyor		Tarihsel gözlem	Kuzey kanadı (Nemrut Boynu)
1402(?)	Bilinmiyor		Çökelti sayımı	
1111	Bilinmiyor		Tarihsel gözlem	Batı Kanadı
M.Ö. 531	Bilinmiyor		Çökelti sayımı	
M.Ö. 657 ± 25	Bilinmiyor		Çökelti sayımı	
M.Ö. 787 ± 25	Bilinmiyor		Çökelti sayımı	
M.Ö. 787	Bilinmiyor		Çökelti sayımı	

2.2.2. Tendürek Volkanı

Düşük rölyefe sahip bir polijenetik kalkan volkandır. Yüksekliği 3850 m ve tabanından itibaren 1800 m'dir. Volkan konisi ve volkanik ürünlerle çevrelenmiş alanı yaklaşık kuzey-güney yönünde 30 km, doğu-batı yönünde 20 km genişliğindedir [44]. Hacimce çok fazla miktarda bazalt lav akışları üretmiş iki kraterden oluşan kalkan tipi bir volkandır [21]. Innocenti [18], en yaşlı birimin yaş tayini 2.5 milyon yıldır. Volkanik birimler, ağırlıklı olarak bazalt ve trakiandezitlerden oluşmaktadır [9].

Çizelge 2.2. Tendürek Volkanı'na ait Smithsonian Enstitüsü Global Volkanizma Programı'nda alınan patlama geçmişi [4].

Başlangıç Tarihi	**Bitiş Tarihi**	**VEI**	**Referans**	**Aktivite bölgesi veya birimi**
1855	Bilinmiyor		Tarihsel gözlem	
M.Ö. 550 (?)	Bilinmiyor		Karbon Testi (düzeltilmemiş)	Güneybatı kanadın altı

2.2.3. Ağrı Volkanı

Ağrı Volkanı, Türkiye sınırları içerisinde bulunan, 5137 metreye yükselen Anadolu'nun en yüksek dağıdır. Volkan, 39.70˚ kuzey enlemi 44.30˚ Batı boylamında Türkiye'de; İran, Ermenistan ve Nahçivan sınırlarının kesişiminde yer almaktadır. Büyük Ağrı ve Küçük Ağrı (3896 metre) olarak adlandırılan iki stratovolkandan oluşmaktadır. Toplam volkan konisi 1800 km^2'lik alan kaplamaktadır.

Ağrı Volkanı, kalk-alkalin, polijenik bileşime sahip kompozit bir stratovolkandır. Yılmaz ve diğerleri [21] volkanın evrimini; koni öncesi, koni oluşumu, zirve ve son dönem olarak dört ayrı bölüme ayırmıştır. Çek-ayır baseni üzerine başlayan aktivite önce yüksek hacimli Pliniyen patlamalarla başlamıştır [21]. Kalın istif halinde Andezitik-latitik-dasidik bileşimli ve piroklastik tabakalar volkan konisini oluşturmuştur [21].

Çizelge 2.3. Ağrı Volkanı'na ait Smithsonian Enstitüsü Küresel Volkanizma Programı'ndan alınan patlama geçmişi. En son patlamasını 2 Temmuz 1840 tarihinde gerçekleştiği düşünülmektedir [4].

Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	VEI	Referans	Aktivite bölgesi veya birimi
2 Temmuz 1840	Bilinmiyor	3	Tarihsel gözlem	Kuzey kanadın üstü
1783	Bilinmiyor			
1450	Bilinmiyor			
M.Ö. 550	Bilinmiyor		Antropoloji	Zirve veya kuzey kanadı
M.Ö. 2450 ± 50	Bilinmiyor		Antropoloji	KB kanadı

2.2.4. Süphan Volkanı

Süphan Volkanı (4434 metre), dom oluşumları, cüruf konileri ile birlikte lav ve piroklastik akıntılar oluşturmuş bir stratovolkandır. Adilcevaz'ın bulunduğu güney yamacından alınan örnekler, volkanın bazalt-riyolit bileşimli kayaçlardan ve baskın olarak ortaç bileşime sahip volkanik ürünlerden oluştuğu göstermektedir [9]. Innocenti [18], volkanik temelin yaşını 5.8 milyon yıl olarak vermektedir ve volkanın 0.7-0.4 milyon yıldan beri aktif olduğu söylemektedir. Pearce ve diğerleri [9], andezit örneklerini

0.36±0.15 ve 0.23±0.19 milyon yıl olarak yaşlandırmışlardır. En genç domdan kaynaklanan lav akıntıların bu yaştan daha genç olduğu anlaşılmaktadır [14]. 2011'de Özdemir tarafından gerçekleştirilen doktora çalışmasında izokron yaş tayini hesaplaması sonucu Süphan Dağı'na ait dasidik ve riyolitik domdan alınan örnekler sırasıyla 110±30 bin ve 64±14 bin yıl olarak tarihlendirilmiştir [45].

Çizelge 2.4. Süphan Volkanı'na ait Smithsonian Enstitüsü Küresel Volkanizma Programı'ndan alınan patlama geçmişi [4].

Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	VEI	Referans	Aktivite bölgesi veya birimi
M.Ö. 8050	Bilinmiyor		Tefrakronoloji	

2.3. Dünya Üzerinde İncelenen Aktif Volkanlar

Ülkemizdeki volkanlardan bazıları aktif sayılmasına rağmen güncel olarak patlamalı aktivite göstermemektedir. Bu volkanların bir afet gerçekleştirmeden önce yüzey sıcaklık anomalilerini belirlemek ve gözlem altına almak bu çalışmanın amacıdır. Bu nedenle Dünya üzerinde patlayıcı püskürmeler gerçekleştiren volkanlarının patlama öncesi davranışlarını anlamak önemlidir. Bu davranışın MODIS uydu görüntüsü ile tespit imkânını araştırmak için dört ayrı aktif volkan incelenmiştir; bunlar Sinabung, Semeru, Tengger ve Nyiragongo'dur.

2.3.1. Sinabung Volkanı

Sinabung Volkanı (2460 metre yüksekliğinde, 3.17˚G, 98.39˚D koordinatlarında) batı Endonezya Sumatra Ada bölgesinin kuzeyinde, dünyanın en büyük Kuvaterner kalderası sayılan Toba Kalderası'nın kuzey batı ucunca yer almaktadır (Şekil 2.6). Sunda Çukuru'nda, Hint-Avustralya plakalarının Avrasya plakasının altına dalması sonucu oluşan, kuzeybatı-güneydoğu yönelim gösteren volkanik yay üzerindedir. İncelenen diğer volkanlar, Semeru ve Tengger Kalderası da bu yay üzerinde yer almaktadır.

Sinabung, Pleyistosen-Holosen dönemi andezitik-dasitik bileşime sahip bir stratovolkandır. Sinabung'da kuzey-güney doğrultusunda birden fazla krater bulunmaktadır. Bu volkan ile ilgili çalışmalar yok denecek kadar azdır. 2010 yılı ve 2013

yılında gerçekleşen patlamalar ile birlikte volkan araştırmacılarının ilgisini üzerine çekmiştir.

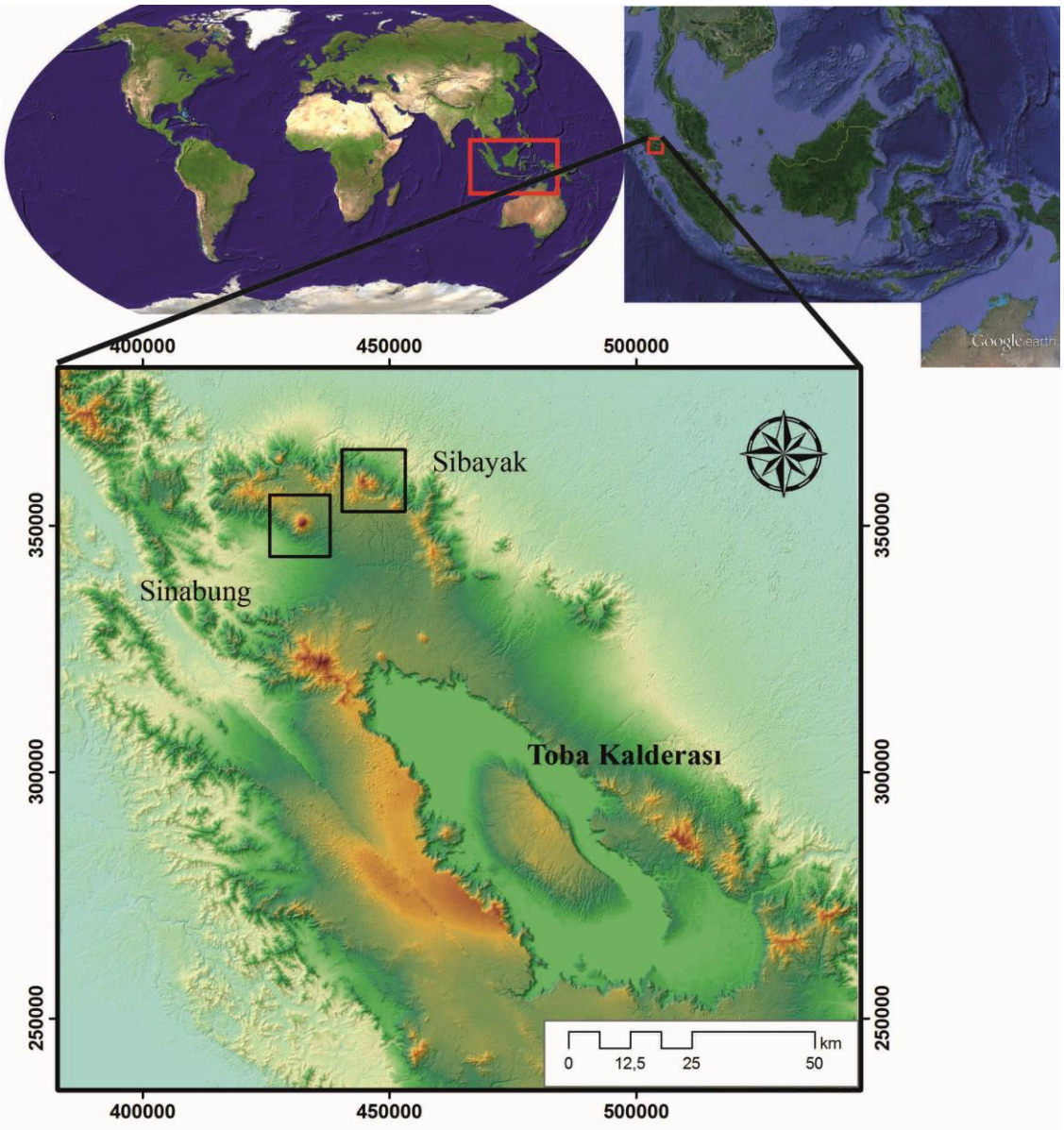
Çizelge 2.5. Smithsonian GVP'den (Global Volcanic Program-Evrensel Volkan Programı) alınan Sinabung Volkanı patlama geçmişi tablosu [4].

Başlangıç Tarihi	Bitiş Tarihi	VEI	Referans	Aktivite bölgesi veya birimi
15 Eylül 2013	Halen aktif	2	Tarihsel gözlem	
27 Ağustos 2010	18 Eylül 2010	2	Tarihsel gözlem	
1881	Bilinmiyor			

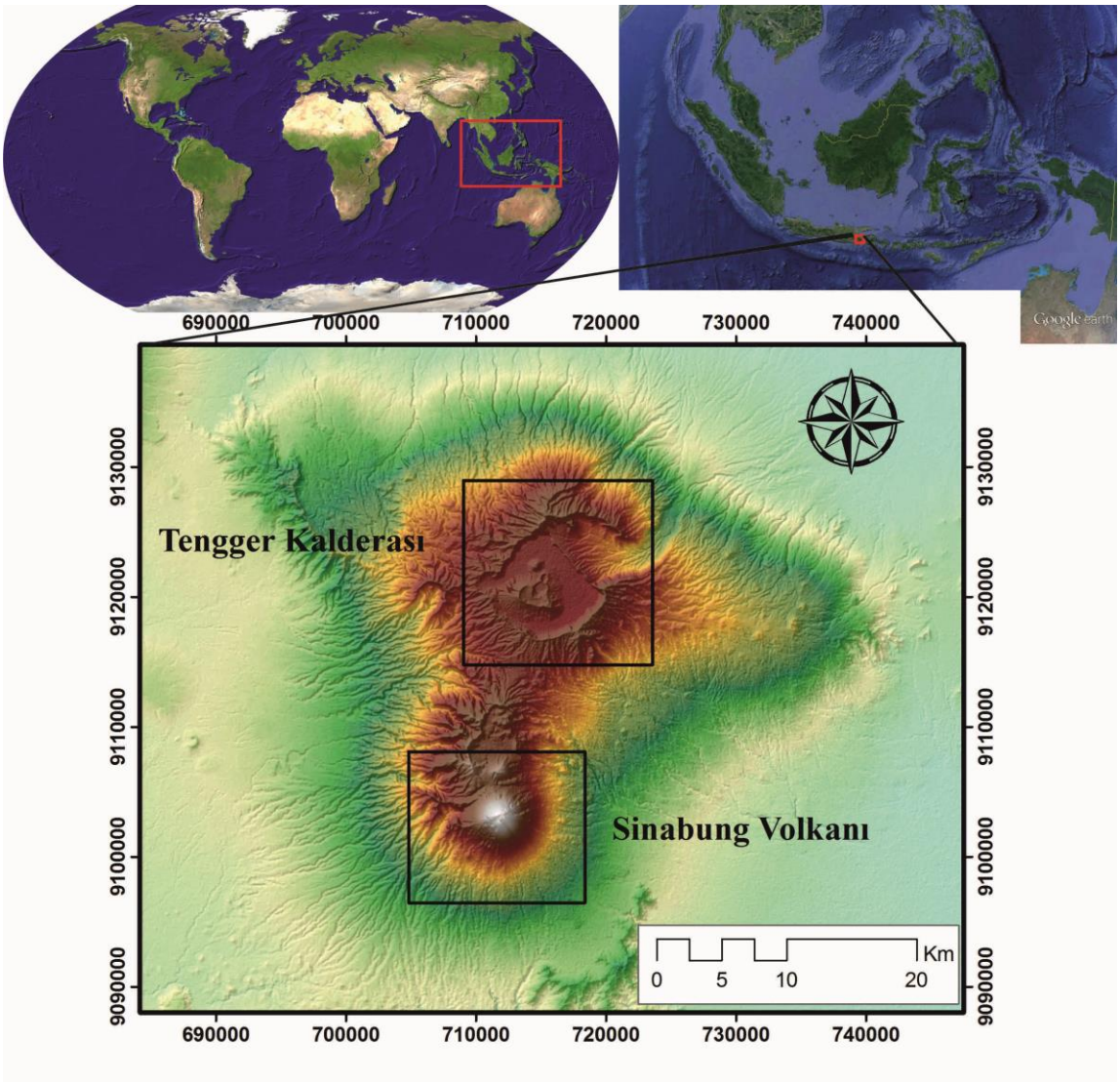
2.3.2. Semeru Volkanı

Semeru Dağı, (8.0605˚G, 112.55˚D) dünyadaki en aktif volkanlardan biridir. Java Adası'nın en yüksek dağı olan Semeru (3676 metre), Semeru-Tengger volkan masifinin güneyinde yer alır (Şekil 2.7). Bölge yaklaşık 900 km^2 dairesel alan içerisinde Bromo-Tengger, Jambangan ve Ajek-Ajek kalderaları, Kepolo Dağı ve 400 metre genişlik, 200 metre derinliği olan aktif Jonggrong-Seloko kraterini bulunduran Mahameru-Semeru koni kompleksini içerir [46].

Semeru'nun 1884 yılından beri sürekli patlayıcı püskürmeler gerçekleştirmesi kalk-alkalin kompozit volkanlar için alışılmış bir durum değildir [46]. Baca ağzında freatomagmatik, vulkano ve stromboliyen tipi kraterlerin birlikte bulunması düşündürücüdür [46]. Lahar akıntıları da çok sık görülmektedir [46]. Volkan, radyal drenaj ağı boyunca meydana gelen Sabo (toprak setler ve dayklar) oluşumlarına rağmen lahar kaynaklı afetlerde 1000'den fazla yaşam kaybına ve ciddi ekonomik zarara yol açmıştır [46]. Semeru bir aktif volkan olmasına rağmen çevresinde 1790 km^2'lik alanda 941.000 insan yaşamakta (1999 yılında) ve 600.000 nüfuslu Malang şehri bulunmaktadır [46]. Semeru volkanik olaylarda can ve mal kayıplarının sürekli yaşandığı Endonezya'da ciddi bir tehlike arz etmektedir.



Şekil 2.6. Sumatra Adası'nın kuzeybatısında bulunan Sinabung Volkanı'nın renklendirilmiş SAM görüntüsü (ASTER GDEM V2, Google Earth, UTM, Datum: WGS84).



Şekil 2.7. Java Adası'nın orta kesimlerinde bulunan Semeru Volkanı'nın renklendirilmiş SAM görüntüsü (ASTER GDEM V2, Google Earth, UTM, Datum: WGS84).

Çizelge 2.6. Smithsonian GVP'den (Global Volcanic Program-Evrensel Volkan Programı) alınan Semeru Volkanı patlama geçmişi tablosu [4].

Başlangıç Tarihi	**Bitiş Tarihi**	**VEI**	**Referans**	**Aktivite bölgesi veya birimi**
31 Ağustos 1967	Halen aktif	3	Tarihsel gözlem	Jonggring Seloko

Çizelge 2.6'nın devamı

23 Temmuz 1950	Aralık 1964	2	Tarihsel gözlem	Jonggring Seloko
29 Ekim 1946	Haziran 1947	2	Tarihsel gözlem	Jonggring Seloko
Şubat 1946	Mayıs 1946	2	Tarihsel gözlem	Jonggring Seloko
12 Haziran 1945	18 Haziran 1945	2	Tarihsel gözlem	Jonggring Seloko

2.3.3. Tengger Kalderası

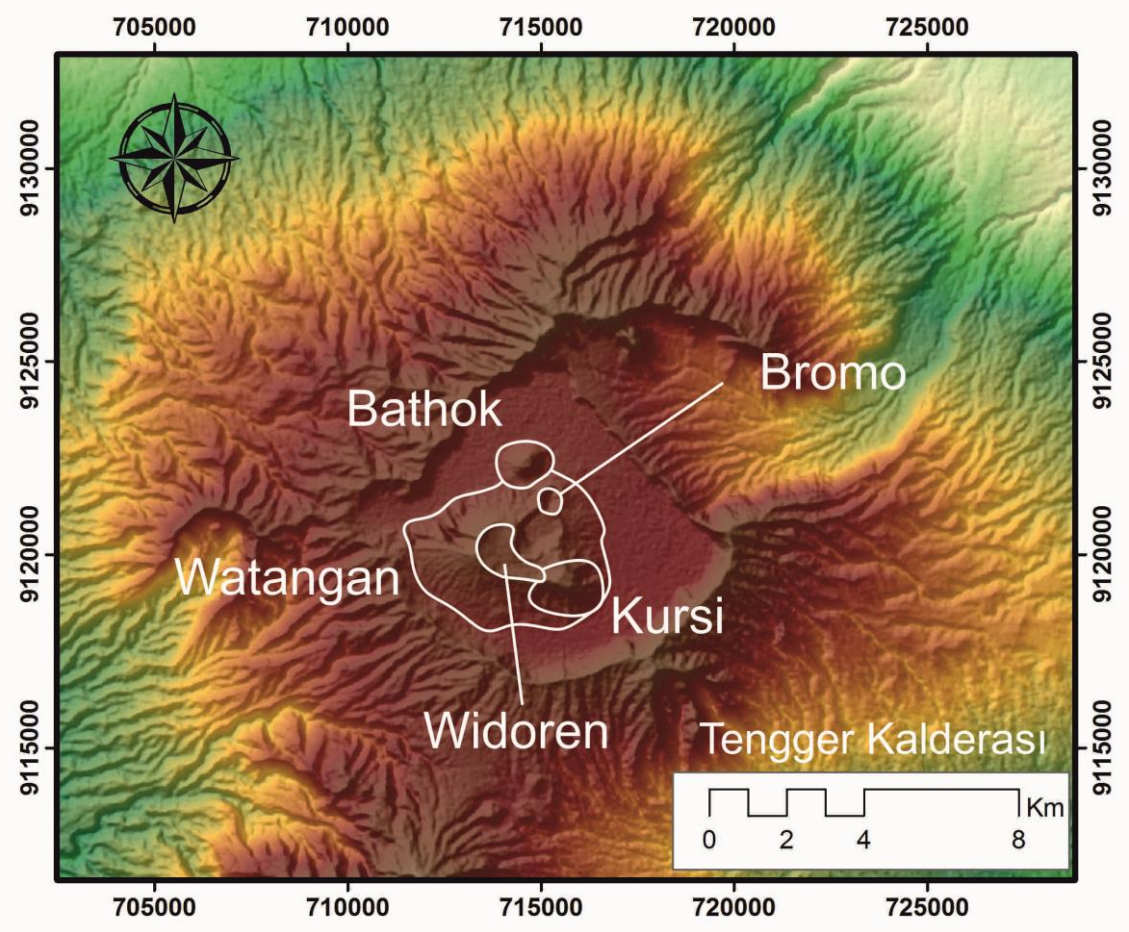
Tengger Kalderası (Şekil 2.8) diğer adıyla Kum Denizi Kalderası 11×8 (KD×GB) km boyutlarındadır. Kaldera öncesi ve kaldera sonrası formasyonlar olarak tanımlanan iki ana evre ile oluşmuştur . 650 m yüksekliğinde dik bir kaldera duvarı ve kaldera içinde de Bromo Volkanı'nın da içinde bulunduğu aktif volkanik bir kompleks belirgin yapısal-morfolojik özelliğidir. Kaldera içi yapılarının resürjansla mı yoksa sadece freatomagmatik patlamalarla mı oluşup oluşmadığı halen belirgin değildir [47]. Kaldera dışında bulunan kül geri düşme ürünlerinin kaldera içindeki freatomagmatik patlamalarla ilişkili olduğu belirtilmiştir [48].

Çizelge 2.7. Smithsonian GVP'den (Global Volcanic Program-Evrensel Volkan Programı) alınan Tengger kalderasına en son 5 patlamasına ait tablosu [4].

Başlangıç Tarihi	**Duruş Tarihi**	**VEI**	**Referans**	**Aktivite bölgesi veya birimi**
26 Kasım 2010	13 Haziran 2012	3	Tarihsel gözlem	Bromo
8 Haziran 2004	24 Haziran 2004 ± 3 gün	2	Tarihsel gözlem	Bromo

Çizelge 2.7'nin devamı

29 Kasım 2000	15 Ocak 2001	2	Tarihsel gözlem	Bromo
9 Eylül 1995	Aralık 1995	1	Tarihsel gözlem	Bromo
3 Mart 1995	26 Mart 1995 ± 5 gün	1	Tarihsel gözlem	Bromo



Şekil 2.8. Tengger volkanik kompleksinin renklendirilmiş SAM görüntüsü (ASTER GDEM V2, Google Earth, UTM, Datum: WGS84).

2.3.4. Nyiragongo Volkanı

Nyiragongo Volkanı (Şekil 2.9), Doğu Afrika Rift Sistemi'nin batı kolu olan Virunga volkanik bölgesinde yer almaktadır. Bölge en az iki farklı fay sisteminin kesişimi ile geliştirmiştir [49].

Virunga bölgesi kuzey-güney atımlı faylanma ile bölünen iki ana segmentin oluşturduğu bir alandır. Volkanik aktivite, batı segmentin üzerinde yer alan Nyiragongo (3469 m) ve Nyamuragira (3058 m) volkanlarıyla tanımlanmaktadır [50].

Nyiragongo, Goma şehir merkezine 18 km uzaklıkta bulunan bir stratovolkandır. Kuzeyinde Baruta (3100 m) ve güneyinde Shaheru (2800 m) isimli iki parazitik koni bulunmaktadır. Krater, 1894 yılında ilk tanımlandığında içindeki lav gölü tanımlanmıştır [51]. 1977 yılında tektonik rejime bağlı olarak açılan kuzey-güney yönlü çatlaklar lav gölünün seviyesini düşürmüş, 1994'te lav gölünü tekrar dolduran aktiviteler gerçekleşmiştir [51]. Ocak 2002'de Nyiragongo'nun güney yamacında birkaç çatlak sistemi açıldı ve bu çatlak sistemi krater lav gölünü tamamen drene ederek çekilmesinde rol oynadı [51, 52]. Zirve krater içinde lav gölü halen aktiftir.

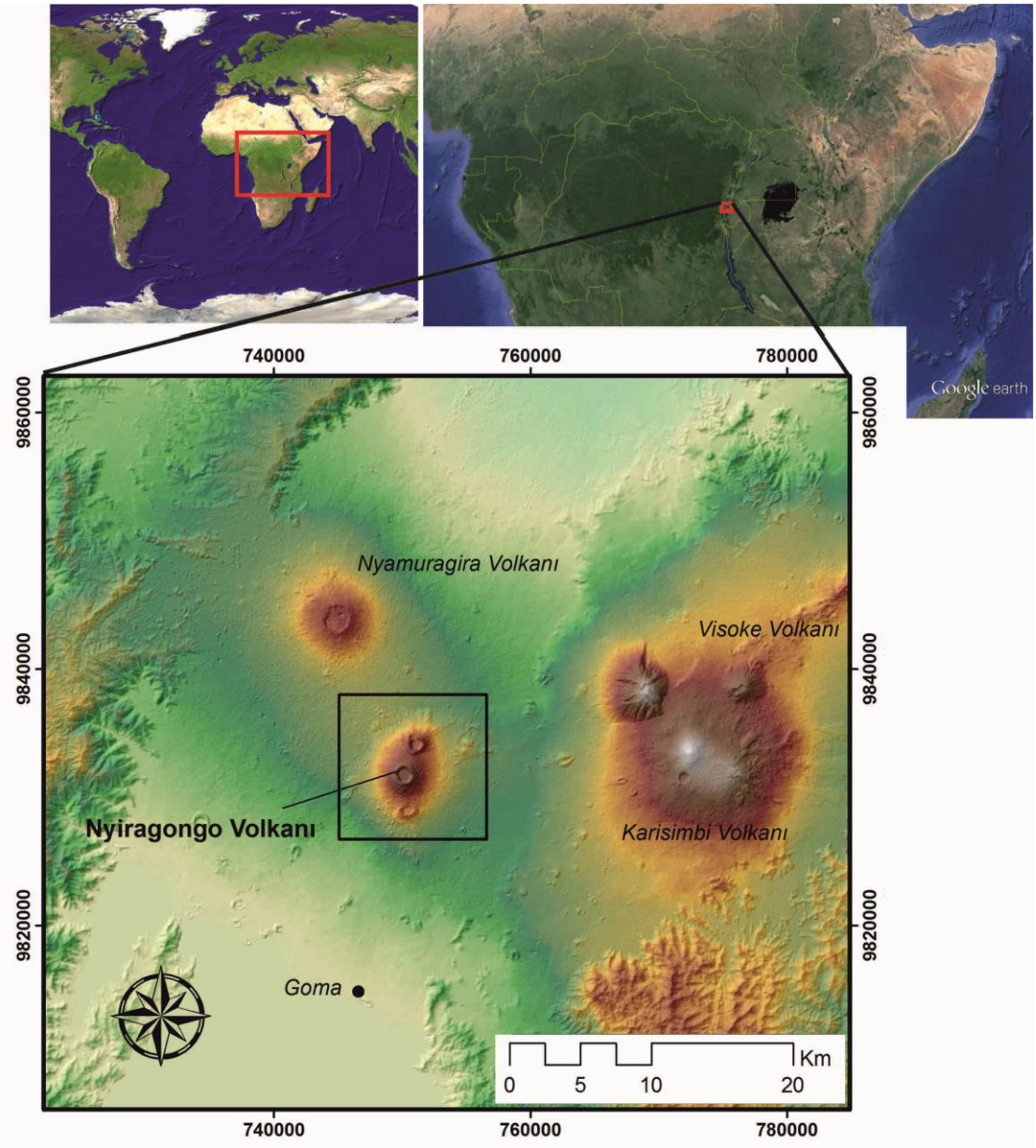
Nyiragongo lav platosunda 100 adet parazitik koni saptanmıştır. Bunlar genellikle ışınsal dizilim göstermekte, çoğunlukla doğuda ve güneyde yeralmaktadır. Kuzey-güney yönelimli çatlaklar açıkça görülebilmektedir [52].

Çizelge 2.8. Smithsonian GVP'den (Global Volcanic Program-Evrensel Volkan Programı) alınan Nyiragongo volkanı son 5 patlamasına ait tablo [4].

Başlangıç Tarihi	Duruş Tarihi	VEI	Referans	Aktivite bölgesi veya birimi
17 Mayıs 2002	Halen aktif	2	Tarihsel gözlem	
17 Ocak 2002	3 Şubat 2002	1	Tarihsel gözlem	Güney kanadı, zirve krateri
23 Haziran 1994	Mart 1996(?)	1	Tarihsel gözlem	

Çizelge 1.8'in devamı

21 Haziran 1982	17 Ekim 1982 ± 15 gün	1	Tarihsel gözlem	
10 Ocak 1977	10 Ocak 1977	1	Tarihsel gözlem	Kuzey, güney, batı kanatları



Şekil 2.9. Nyiragongo volkanı ve kuzey güney boyunca güneybatı-kuzeydoğu boyunca uzanan diğer Doğu afrika rift sistemi volkanları. Güneyinde bölgenin en kalabalık şehri Goma (Nüfus sayısı: 1.000.000, 2012) yer almaktadır.

3. KULLANILAN YÖNTEMLER

Tez çalışmasında iki ana yöntem uygulanmıştır. İki farklı çözünürlükteki Termal kızılötesi uydu görüntüleri işlenmiş, analiz edilmiş, bu analizler için de bir IDL (Interactive Data Language – Etkileşimli Veri Dili) tabanlı kod oluşturulmuştur.

Bulunduğumuz yüzyıl itibariyle uydu sistemleri artık bir ihtiyaç durumuna gelmiştir. Eskiden sadece akademik araştırmaya yönelik olan bu ihtiyaçlar, şimdi özel sektörde de (inşaat, çevre etki değerlendirme, maden ve benzeri) kullanılmaktadır. Günümüzde çok verimli olanaklar sunan uydu sistemlerinin ilerleyen teknoloji ile birlikte gelişeceği aşikârdır.

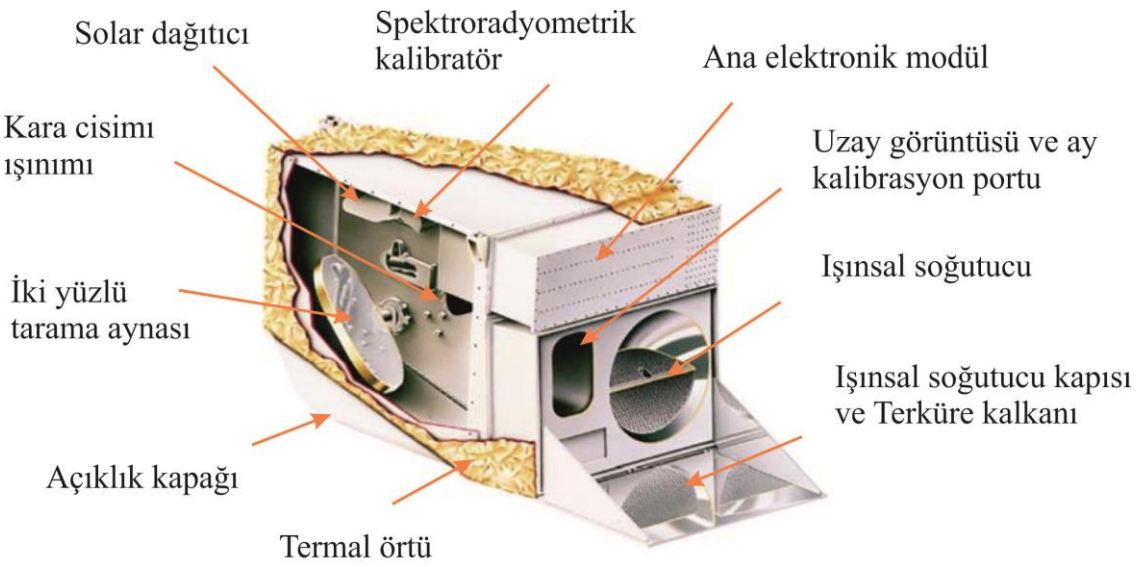
3.1. Kullanılan Uydu ve Görüntü Sistemleri

Uydu'nun kelime anlamı bir gezegenin belirli bir yörüngesinde dönen cisimdir. Doğal uydular (Ay, Europa vb.) ve yapay uydular (Terra, Landsat, Aqua, Hubble teleskobu, Uluslararası Uzay İstasyonu vb.) olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Uydu görüntüleri, yapay uydulardan alınan her türlü görüntüdür.

3.2. MODIS

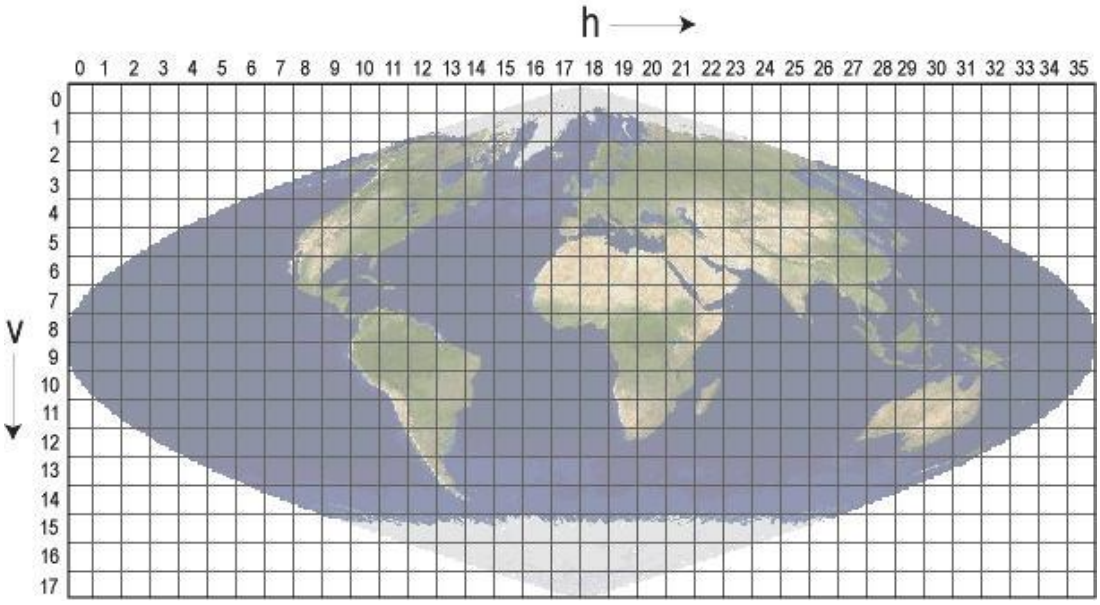
MODIS (Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi) Terra ve Aqua uyduların üzerinde bulunan orta çözünürlüklü görüntüleri elde eden spektroradyometre cihazıdır (Şekil 3.1). Bu iki uydu gündüz ve gece olmak üzere dünya etrafında günde iki kez dolaşmaktadır. Dünya yüzeyinden 705 km yukarıda güneş ile eş zamanlı ve dairesel bir yörüngede seyir halindedir [53].

MODIS cihazı uzaya fırlatıldığından beri dünya üzerindeki iklimsel çeşitliliği ve değişikliğini, atmosfer yapısını, karbon döngüsünü, karasal ve denizel ekosistemleri, su ve enerji döngüsünü, hava durumunu ve yer yüzeyinde oluşan katastrofik hareketleri incelemektedir [54]. Terra son on dört yılda yer yüzeyinde oluşan depremlerin, sellerin, toprak kaymalarının ve denizel kökenli erozyonun nasıl geliştiğini izlemektedir [55]. Ayrıca yer yüzeyinde kısa zamanlı kuraklığa ve buzul erimelerine bağlı gelişen iklim değişikliklerini de gözlemek mümkündür [53].



Şekil 3.1. MODIS cihazının genel görüntüsü ve parçalarının isimlendirmeleri [56].

MODIS, 0.4 µm ile 14.4 µm aralığında dalga boyu olan 36 uzamsal bantlı yüksek radyometrik hassasiyettedir. İki bant (1-2) 250 m, beş bant (3-7) 500 m, diğer kalan 29 bant (8-36) ise 1 km çözünürlüğe sahiptir (Çizelge 3.1; [57]). MODIS tüm kara görüntülerinde genel olarak Sinüsoidal kafes sistemini kullanmaktadır (Şekil 3.2). Kafes sistemindeki her karenin kenar uzunluğu 10 dereceye eşittir. Koordinat sistemi (0,0) karesi ile görüntünün sol üst köşesinde başlamaktadır. Görüntünün sağına gidildikçe h (horizontal-yatay), aşağıya gidildikçe v (vertical-düşey) değerleri artar.

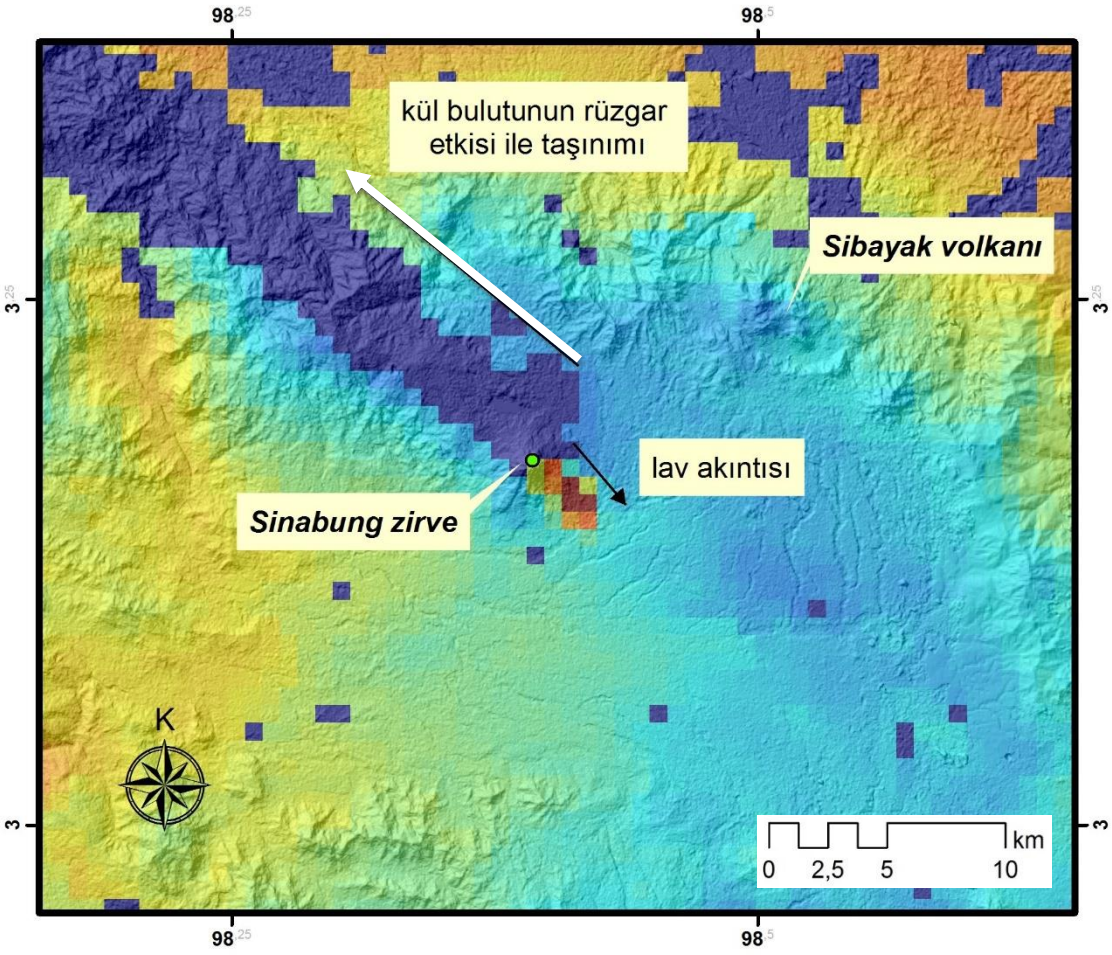


Şekil 3.2. MODIS uydu görüntülerini Sinüsoidal koordinat sisteminde elde etmektedir (v: vertical-düşey; h: horizontal-yatay)[58].

Çizelge 3.1. MODIS cihazının kullanım amaçları ve karakteristik özellikleri. ([1]1-19 bantların birimi nm, 20-36 bantların birimi μm; [2] Uzamsal yansıma değeri (W/m^2-μm-sr); [3] SNR: sinyal-gürültü oranı (Signal to nosie ratio); [4] NE(delta)T= Gürültü eşdeğer sıcaklık farkı (Noise equivalent temperature difference) [55].

Kullanım Amacı	**Bant**	**Dalgaboyu Aralığı[1]**	**Uzamsal Yansıma[2]**	**Gerekli SNR[3]**
Kara/Bulut/Aerosol Sınırları	1	620-670	21.8	128
	2	841-876	24.7	201
Kara/Bulut/Aerosol Özellikler	3	459-479	35.3	243
	4	545-565	29.0	228
	5	1230-1250	5.4	74
	6	1628-2652	7.3	275
	7	2105-2155	1.0	110
Okyanus rengi/Fitoplankton/ Biyojeokimya	8	405-420	44.9	880
	9	438-448	41.9	838
	10	483-493	32.1	802
	11	526-536	27.9	754
	12	546-556	21.0	7550
	13	662-672	9.5	910
	14	673-683	8.7	1087
	15	743-753	10.2	586
	16	862-877	6.2	516
Atmoserik Su Buharı	17	890-920	10.0	167
	18	931-941	3.6	57
	19	915-965	15.0	250
Kullanım Amacı	**Bant**	**Dalgaboyu Aralığı[1]**	**Uzamsal Yansıma[2]**	**Gerekli NE[delta]Y(K)[4]**
Yüzey/Bulut Sıcaklığı	20	3.660-3.840	0.45(300K)	0.05
	21	3.929-3.989	2.38(335K)	2.00
	22	3.929-3.989	0.67(300K)	0.07
	23	4.020-4.080	0.79(300K)	0.07
Atmosferik Sıcaklık	24	4.433-4.498	0.17(250K)	0.25
	25	4.482-4.549	0.59(275K)	0.25
Sirrüs Bulutu Su Buharı	26	1.360-1.390	6.00	150(SNR)
	27	6.535-6.895	1.16(240K)	0.25
	28	7.175-7.475	2.18(300K)	0.25
Bulut Özellikleri	29	8.400-8.700	9.58(250K)	0.05
Ozon	30	9.580-9.880	3.69(250K)	0.25
Yüzey/Bulut Sıcaklığı	31	10.780-11.280	9.55(300K)	0.05
	32	11.770-12.270	8.94(300K)	0.05
Bulut Üst Yüksekliği	33	13.185-13.485	4.52(260K)	0.25
	34	13.485-13.785	3.76(250K)	0.25
	35	13.785-14.085	3.11(240K)	0.25
	36	14.085-14.385	2.08(220K)	0.35

MODIS'in kullanım amaçlarından bir diğeri de yerküre üzerindeki bulunan volkanlardan yayılan çıkarttığı kül bulutunu ve lav akıntılarını tespit edebilmektir (Şekil 3.3). MODIS ve ASTER uyduları volkan gözlemlerinde birlikte kullanılmaktadır. MODIS volkan üzerindeki termal anomaliyi gözlemlediği anda ASTER'in otomatik programlama sistemi uyarılmakta ve cihazı harekete geçirip volkanın yüksek çözünürlüklü görüntüsünü almaktadır [59].

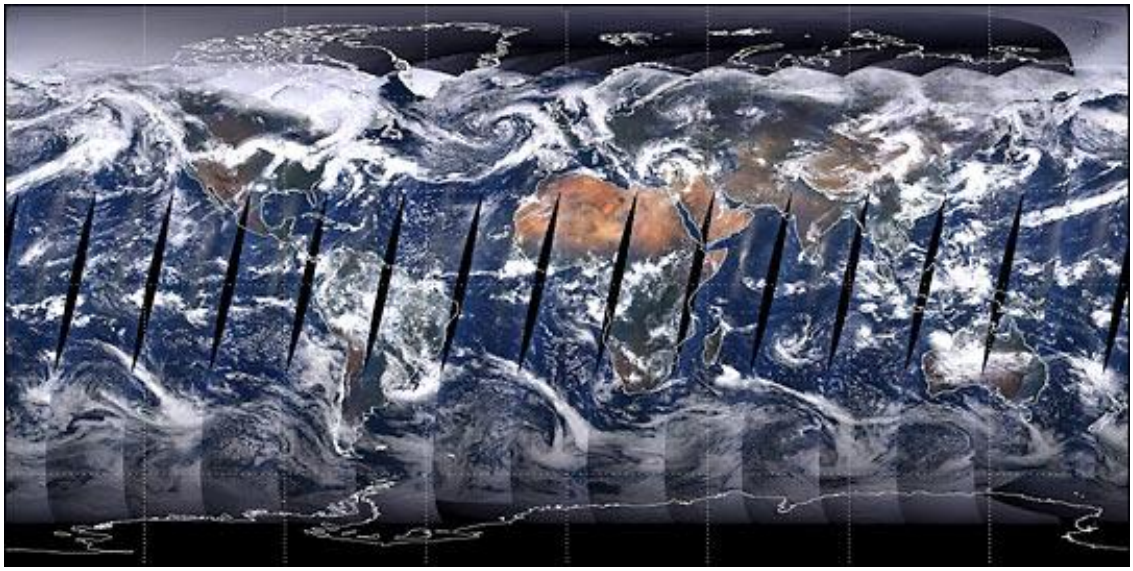


Şekil 3.3. 13 Ocak 2014 tarihinde Terra MODIS tarafından elde edilen yeryüzü sıcaklık görüntüsü (Aster SAM üzerine çakıştırılmış MODIS görüntüsü, Datum: WGS84).

3.1.1.1. MODIS TERRA

NASA'nın çok uluslu araştırma uydusu olan Terra, fırlatıldığı 18 Aralık 1999 tarihinden bu yana yer yüzeyinden 705 km yüksekte dünyanın yörüngesi etrafında güneşle eş zamanlı olarak hareket etmektedir [53].

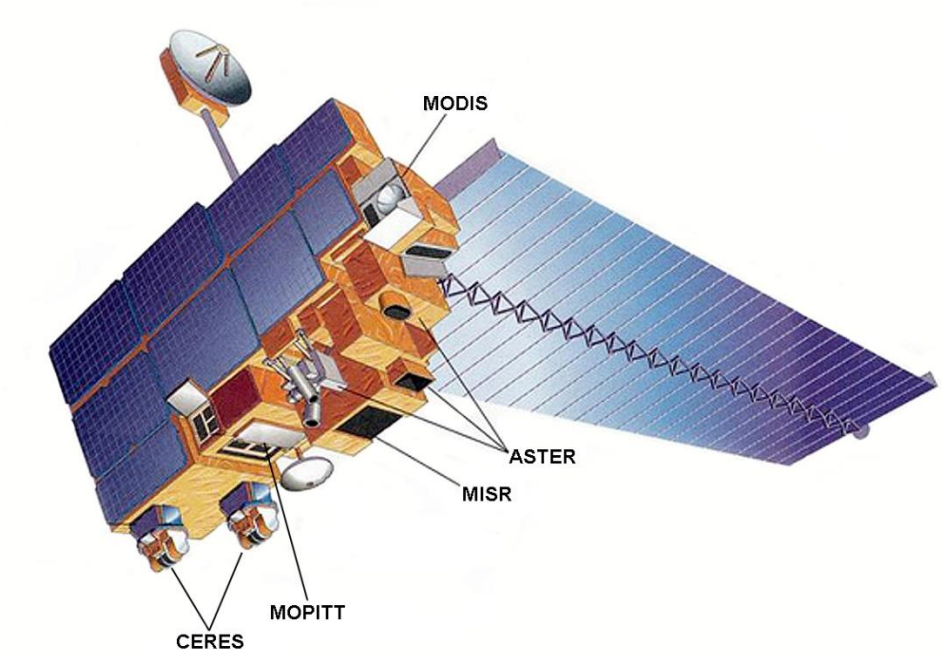
Açılımı Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi (MODIS - Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) olan ve Terra uydusu üzerinde bulunan beş algılayıcıdan birisi olan MODIS, 330 km genişliğindeki bir bölgeyi inceleyebilen, her noktayı 1-2 günde bir görebilecek kapasitede bir modüldür (Şekil 3.4). İlk görüntüyü yerel saate göre sabah yaklaşık 10:30'de (UTC – Coordinated Universal Time) güneyden kuzeye hareket halinde, ikinci görüntüyü yerel saate göre öğleden sonra yaklaşık 10:30'da (UTC) güneyden kuzeye hareket halinde kayıt etmektedir [53]. Modül, gün içerisinde gezegen yüzeyinin ne oranda bulutlarla kaplı olduğunu ölçebildiği gibi, iklimleri etkileyen faktörlerin neler olduğu konusunda önemli bilgiler verebilen bir algılayıcıdır [60].



Şekil 3.4. MODIS Terra, cihazının bir gün boyunca elde ettiği görüntülerin tümü [58].

MODIS ile birlikte, ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer), CERES (Clouds and Earth's Radiant Energy System), MISR (Multi-angle Imaging Spectroradiometer), MOPITT (Measurements of Pollution in the Troposphere) cihazları Terra uydusu üzerinde yer almaktadır (Şekil 3.5).

MODIS, yalnızca yeryüzünde değil atmosferdeki küresel karbon değişimleri konusunda da önemli ipuçları verebilmektedir. Cihazını diğerlerinden ayrı kılan bir özellik de atmosferdeki karbondioksit konsantrasyonlarını direkt olarak ölçebilmesi ve bitki üretiminde ne kadar sera gazı soğurulduğu ve kullanıldığı hakkında daha iyi tahminler oluşturabilmesidir [54]. Kar ve buz ile kaplı alanları da bu cihaz haritalandırabilmek mümkündür [54].



Şekil 3.5. Terra uydusu üzerinde yerleşik olarak bulunan 5 cihazın yerleri [61].

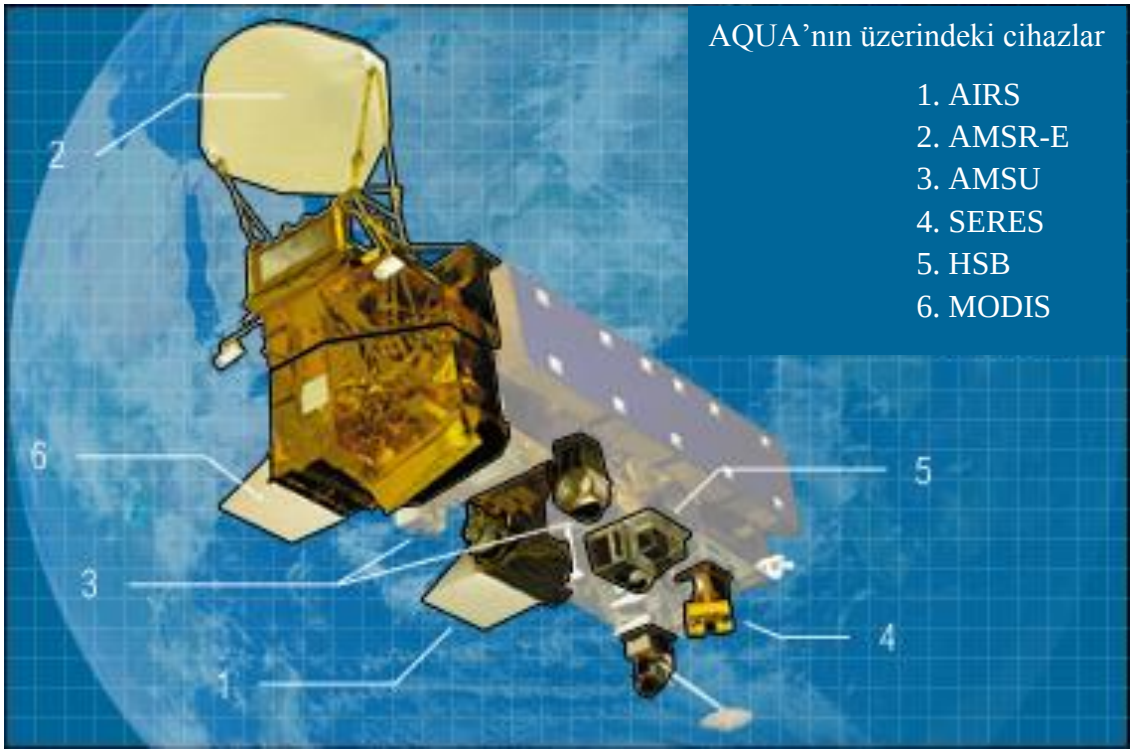
MODIS özellikle, çalışmamızın ana konusu olan volkanik faaliyetler yanında, sel, kasırga gibi afet olaylarının izlenmesine de olanak sağlar. Ayrıca yangınlara karşı da hassas olup, atmosfere yayılan gaz ve dumanları izleyebilen özelliğe sahiptir.

3.1.1.2. MODIS AQUA

Aqua, Latince'de su anlamına gelmektedir. Uydunun fırlatılış amacı adından da anlaşılacağı gibi yerküredeki su döngüsünün, okyanuslardaki buharlaşmanın, atmosferdeki su buharının, bulutların, yağışın, toprak neminin, deniz ve kara buzullarınının ve kar kütlelerinin içerdiği büyük miktarlada su kütlelerinin araştırılmasıdır [62]. Ayrıca karayı kaplayan vejetasyonu, fitoplanktonları,

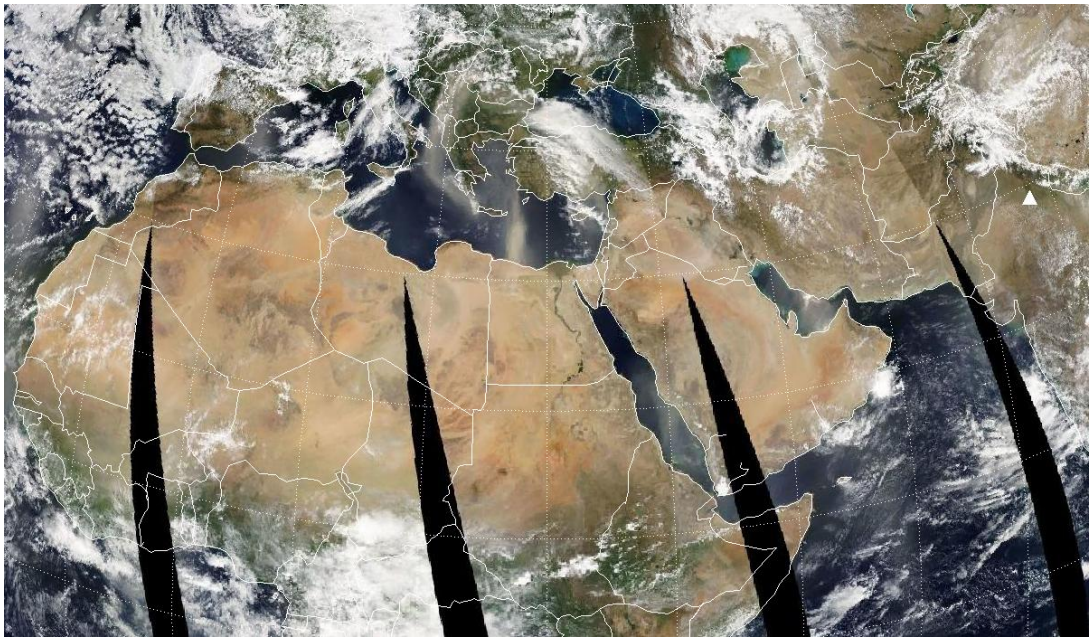
okyanuslardaki çözünmüş halde bulunan organik maddeyi, hava, kara ve su sıcaklıklarını da ölçmektedir [62].

Mayıs 2002'de uzaya fırlatılan Aqua platformu üzerindeki 6 cihazdan birisi MODIS'tir (Şekil 3.6). Aqua platformunda yer alan diğer 5 cihaz AIRS (Atmosferic Infrared Sounder-Atmosfer Kızılötesi Alıcısı), AMSU-A (the Advance Microwave Sounding Unit-İleri Mikrodalga Alıcı Birimi), HSB (the Humidity Sounder for Brazil-Brezilya Nem Alıcısı), AMSR-E (the Advance Microwave Scanning Radiometer-İleri Mikrodalga Taramalı Radyometre) ve CERES'tir (Clouds and the Earth's Radiant Energy System-Bulutlar ve Yeryüzü Işınımlı Enerji Sistemi) [62].



Şekil 3.6. Aqua uydusu üzerinde yerleşik olarak bulunan altı ölçüm cihazının yerleri [63].

Aqua uydusu da Terra gibi dünyanın yörüngesinde seyir halindedir. Günde iki kez görüntü almaktadır. İlk görüntüyü yerel saate göre sabah yaklaşık 01:30'de (UTC) kuzeyden güneye hareket halinde, ikinci görüntüyü yerel saate göre öğleden sonra yaklaşık 13:30'da (UTC) güneyden kuzeye hareket halinde kayıt etmektedir (Şekil 3.7). Güneş eş zamanlı, dairesel, polar yükselen yörüngeye sahiptir ve yörüngenin yerden yüksekliği 705 km'dir [53].



Şekil 3.7. Aqua uydusu üzerindeki MODIS cihazının elde ettiği bir günlük görüntüsündeki Avrasya ve Afrika kıtalarını görünümü. Hareket yönü güneyden kuzeye doğrudur [64].

3.1.2. ASTER

ASTER cihazı, NASA ile Japon Ekonomi Ticaret ve Sanayi Bakanlığı'nın ortak çalışması ile üretilmiştir. Cihaz, Japonların JERS-1 OPS tarayıcısı ve Landsat TM uydusu ile karşılaştırıldığında görüntü algılama kapasitesi açısından ileri düzey bilgi sağlamaktadır [65].

ASTER modülü ile yerkürenin yüksek çözünürlüklü (15 m/pikselden 90 m/piksele kadar), 14 banttan (VNIR-SWIR-TIR) oluşan görüntüleri alınabilmektedir [65]. ASTER görüntüleri multi-spektral görüntüleme teknikleri yanı sıra yansıma, emmisivite ve yüzey sıcaklığı hesaplamalarında kullanılmaktadır. Stereo görüntüleyebilme kapasitesi sayesinde sayısal yükseklik görüntüleri oluşturulabilmektedir [65]. ASTER, Terra platformu üzerindeki yüksek çözünürlüklü üç boyutlu görüntüleme aygıtıdır, diğer Terra modülleri için yakınlaştırıcı lens (zoom lens) olarak hizmet etmektedir [65].

ASTER cihazında VNIR (Visible and Near Infrared – Görünür ve Yakın Kızılötesi), SWIR (Shortwave Infrared – Kısadalga Kızılötesi), TIR (Thermal Infrared – Termal

Kızılötesi) olmak üzere üç alt sistem bulunmaktadır [65]. VNIR alt sistemi 15 m çözünürlüklü görünür ve yakın kızılötesi dalgaboyu uzunluğundaki üç spektral bantta çalışmaktadır. Birisi tek bant detektörlü geriye doğru bakan, diğeri 3 spektral bant detektörlü düşeye bakan iki teleskoptan oluşmaktadır [65]. SWIR alt sistemi de 30 m çözünürlük sağlayan tek düşey noktalı teleskop ile yakın kızılötesi aralığında 6 spektral bant ile çalışmaktadır. TIR alt sistemi, 90 m çözünürlüklü düşey görüşe sahip tek bir teleskop kullanarak termal kızılötesi bölgede 5 bant ile çalışmaktadır [65]. Diğer alt sistem cihazlarından farklı olarak süpürge şeklinde tarama yapan aynaya sahiptir [65].

ASTER, Seviye 1-A (Level-1A) ve Seviye-1B (Level-1B) iki veri seti halinde bulunurlar [65]. Seviye-1A veri seti; VNIR, SWIR ve TIR teleskoplarından yeniden elde edilen, işlenmemiş enstrüman sayısal verilerini içermektedir [65]. Bu üç teleskobun veya sensörün de farklı çözünürlükleri vardır (Çizelge 3.2). Elde edilen görüntü verilerinde geometrik düzeltme katsayıları ve de eklenmiş ancak uygulanmamış radyometrik kalibrasyon katsayıları bulunmaktadır [65]. Ayrıca seviye-1A veri setlerinde SWIR ıraklık açısı düzeltmeleri de bulunmaktadır [65].

Çizelge 3.2. ASTER cihazından elde edilen görüntülerin karakteristik özellikleri [65].

Özellikleri	**VNIR**	**SWIR**	**TIR**
Spektral Aralık	Bant 1: 0.52 - 0.60 µm Düşey bakış	Bant 4: 1.600 - 1.700 µm	Bant 10: 8.125 - 8.475 µm
	Bant 2: 0.63 - 0.69 µm Düşey bakış	Bant 5: 2.145 - 2.185 µm	Bant 11: 8.475 - 8.825 µm
	Bant 3: 0.76 - 0.86 µm Düşey bakış	Bant 6: 2.185 - 2.225 µm	Bant 12: 8.925 - 9.275 µm
	Bant 3: 0.76 - 0.86 µm geriye dönük	Bant 7: 2.235 - 2.285 µm	Bant 13: 10.25 - 10.95 µm
		Bant 8: 2.295 - 2.365 µm	Bant 14: 10.95 - 11.65 µm
		Bant 9: 2.360 - 2.430 µm	
Çözünürlük	15 m	30m	90m
Veri Hızı (Mbit/saniye)	62	23	4.2
Çapraz Görüntüleme (açı)	±24	±8.55	±8.55

Çizelge 3.2'nin devamı

Çapraz Görüntüleme (km)	±318	±116	±116
Görüntü Genişliği (km)	60	60	60
Detektör tipi	Si	PtSi-Si	HgCdTe

ASTER Seviye-1B verileri, Seviye-1A verilerine radyometrik kalibrasyon ve geometrik düzeltme katsayıları uygulanarak üretilmektedir [65]. Bütün bu veriler bir HDF dosyasında metaveri ile birlikte depolanmaktadır. SWIR için bütün bantların uzamsal lokasyonlarına bağlı ıraklık açısı hataları düzeltilmiştir [65].

Seviye-1B ürünlerinin isimleri ve numaraları Seviye-1A ürünleriyle aynıdır. Aster termal görüntüleri için "pg-PR1B0000-2001021503_007_001" örneğini alalım. Burada,

PR1B0000: İşlenme seviyesi,
2001: yılı,
02: ayı,
15: günü,
03: gün içinde üretim planının dizi numarası,
007: sütun numarası işlemi,
001: sütun işlemindeki satır numarası

ifade edilmektedir [65].

3.2. Analizlerde Kullanılan Yazılım Dili – IDL (Interactive Data Language – Etkileşimli Veri Dili)

IDL dizi temelli veri analizi ve görselleştirme konusunda güçlü olan bir yazılım dilidir. Dil'in ilk sürümü 1981 yılında David Stern tarafından yapılmıştır [66]. İlk kullanım amacı astronomi ve uzay bilimleridir. Bunlara sonradan yer bilimleri, sağlık bilimleri ve mühendislik alanları eklenmiştir. IDL'nin kullanıldığı önemli örnekler içerisinde nükleer füzyon plazma alanının kontrolü ve gözlemlenmesi, tıp dünyasında MR olarak ifade edilen manyetik rezonans görüntülerinin 3 boyutlu analizi, Hubble Uzay Teleskobundan alınan görüntülerin analizi gösterilebilir [66]. Hubble Uzay teleskobunu onaran araştırma ekibi IDL'yi ana aynadaki anormallikleri saptamada kullanmışlardır. Ayrıca, 1995 yılında astronotlar uzay mekiğinde ultraviyole radyasyon çalışmalarında IDL kullanmışlardır [66].

IDL, bilim ve mühendislik dallarında sayısal ve görüntü tabanlı veriyi analiz etmek ve işlenmek için kullanılmaktadır. Bir görüntü üzerinde hesap yapmak, görüntüyü göstermek gibi işlemleri basit komutlar kullanarak hızlı bir şekilde analiz etmek mümkündür. C, Basic, APL ve Fortran gibi biçimlendirilmiş (ASCII) ve biçimlendirilmemiş (binary) veri setlerini okuyup yazabilmektedir [67].

3.3. MODIS Volkan Analiz Programı (MOVAP) – Yöntem

Daha önce belirtildiği gibi Doğu Anadolu'da Nemrut, Süphan, Tendürek, Ağrı volkanlarının düşük termal anomalilerinin saptanması çalışmanın amaçlarından biridir. Bu amaca yönelik ilk adım uydu görüntülerinin temin edilmesi ve bir veri tabanının oluşturulmasıdır. Görüntüler NASA'nın Reverb ECHO veri yolundan (http://reverb.echo.nasa.gov, Eylül **2013**) temin edilmiştir. İkinci adım, oluşturulan veri tabanındaki görüntülerin düzeltilmesi, işlenmesi ve bunlar üzerindeki analizler için IDL tabanlı bir kod üretilmesidir (Şekil 3.8). İşlemler ve düzeltmelerin uygulanabilmesi için bazı yardımcı görüntüler (bakı, eğim vb.) ENVI ve ArcGIS yazılımları yardımı ile oluşturulmuştur. Veri tabanından alınan görüntüler, yardımcı görüntülerle birlikte MOVAP iş akış şemasında (Şekil 3.8) gösterildiği şekilde işlenmiştir. Yazılım, çıktıları raporlar halinde alınacak şekilde tanımlanmıştır. Son adım ise, sonuçların grafiklere dökülmesi ve bu grafikler üzerinde yorum yapılmasıdır. MOVAP programına ait arayüzey Şekil 3.9'da gösterilmiştir.

MOVAP, IDL dili ile yazılmış bir işlemler grubudur. Bu tür bilgisayar yazılımları çalışmaları 3 ana prensipte incelenir [68]:

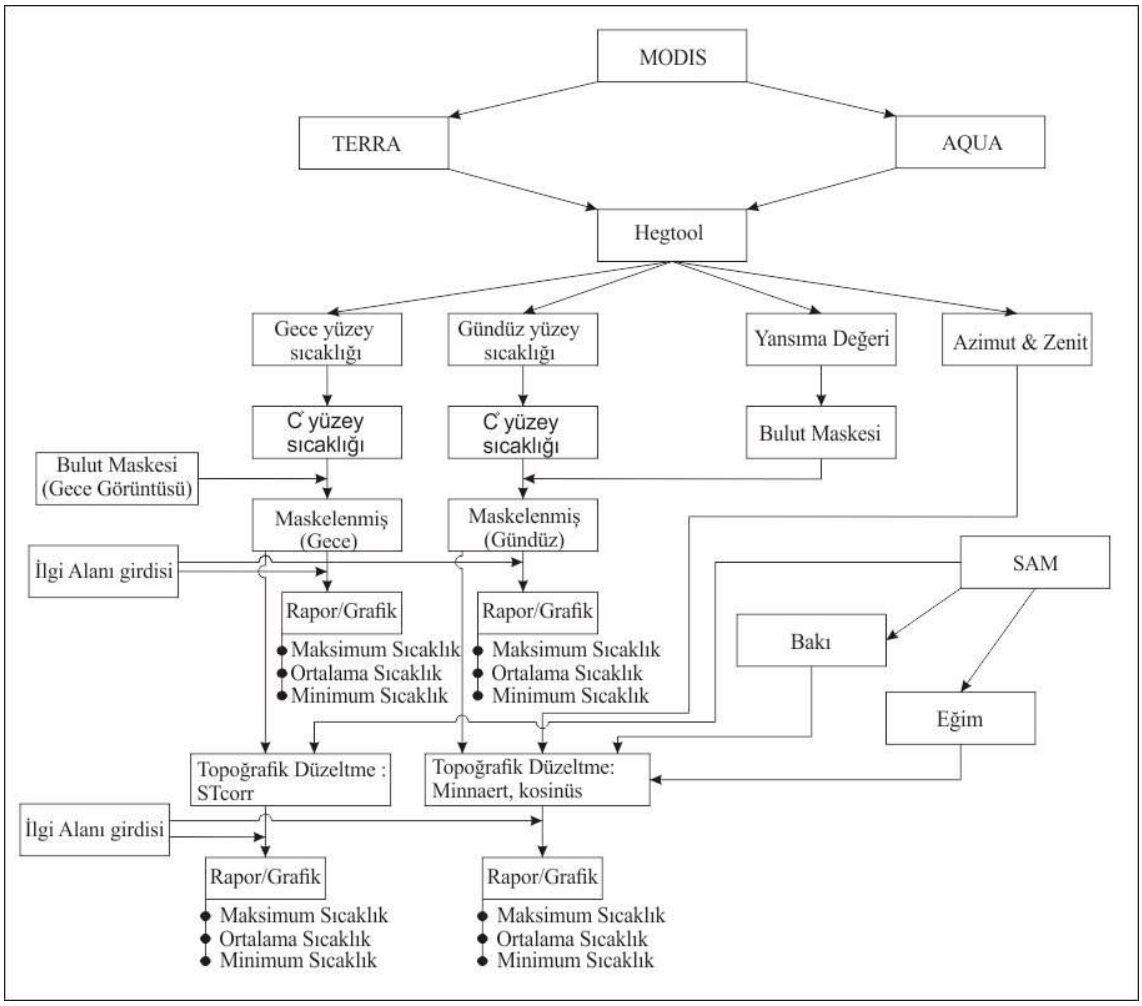
- Girdi, kullanıcı tarafından sağlanan veri grubudur.
- İşlemler, veriler üzerinde yapılması planlanan istediğimiz operasyonlardır. Basit 4 işlem olabileceği gibi karmaşık fonksiyonel hesaplamalar da bu başlık altında toplanmaktadır.
- Çıktı, veri üzerinde uygulanan işlemlerin sonucunda ortaya çıkan sonuçtur.

3.3.1. Ana ve Yardımcı Veri Seti

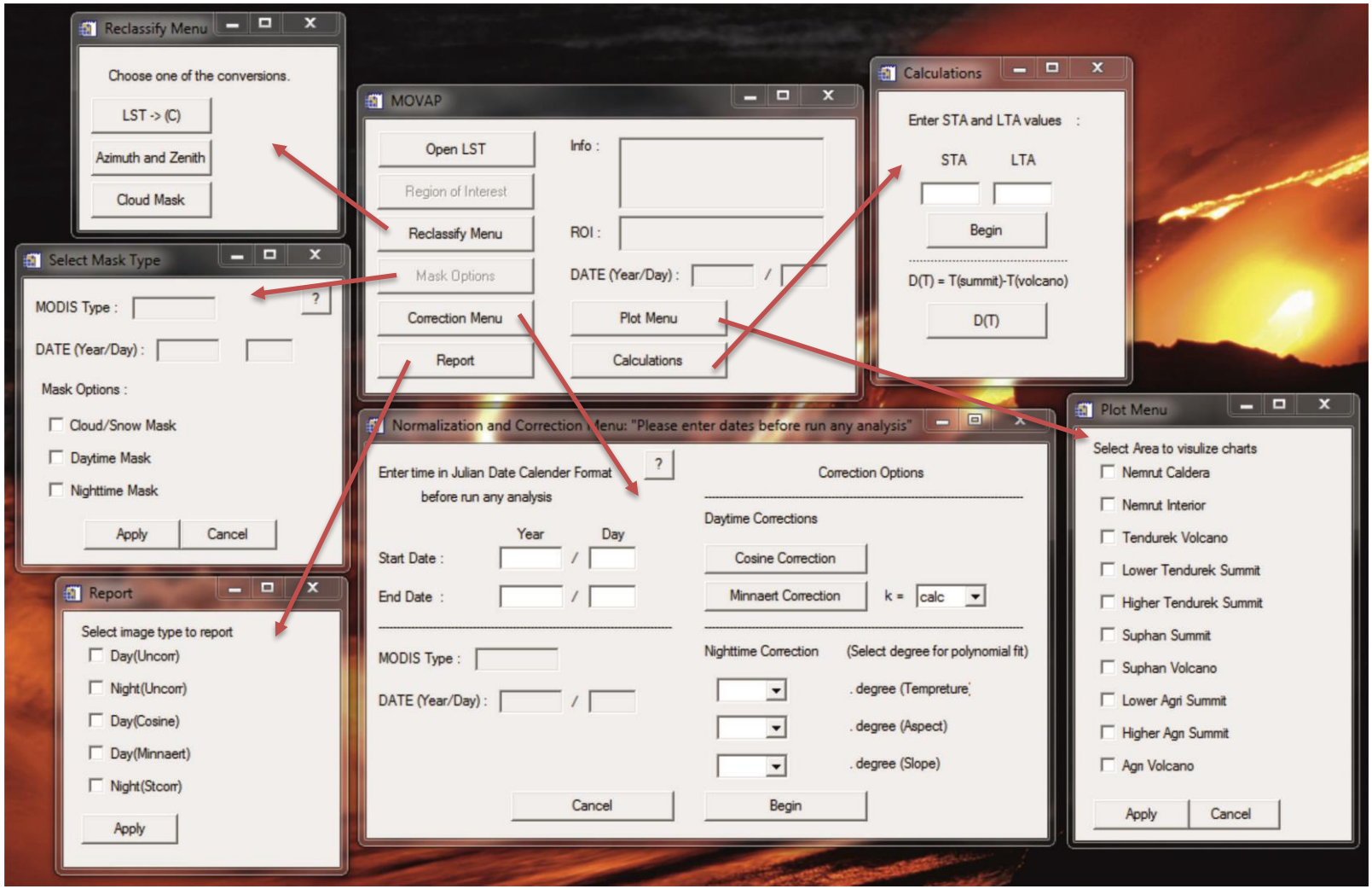
Bütün girdiler bu kümede toplanmaktadır. Veri setleri, ana ve yardımcı veri seti olarak ikiye ayrılmıştır. Ana veri seti, MOVAP'a ilk girdi olarak sağlanan MODIS yüzey sıcaklık görüntüsü, yansıma veri görüntüsü, azimut ve zenit görüntülerinden oluşmaktadır. Yardımcı veri seti ise, hesaplamalara daha sonra dahil olan SAM (sayısal arazi modeli) ve SAM'dan üretilen bakı, eğim görüntüleridir.

Toplanan görüntülere farklı işlemler ve hesaplamalar uygulanmıştır. Ana veri setinde bulunan verinin tamamı HDF uzantılı dosyalardır. Ancak MOVAP kodunun girdisi TIFF (Tagged Image File Format-etiketlenmiş görüntü dosya türü) olarak tanımlanmıştır. Bu dönüştürme 'Hegtool' ile gerçekleştirilmektedir.

MODIS uydu görüntüleri günümüzde NASA'dan HDF (Hierarchical Data Format) veri setleri halinde elde edilebilmektedir. Görüntüleri istediğimiz formata dönüştürebilmek için NASA'nın önerdiği yardımcı yazılım 'Hegtool'dur. Hegtool çok amaçlı kullanılabilen bir dönüştürücü yazılımıdır. Bu yazılım ile veri içerisindeki sinüsoidal projeksiyon sistemini, UTM (Universal Transverse Mercator), Mercator, Lambert, Albers gibi projeksiyon sistemlerine veya benzeri sistemlere dönüştürebilmek mümkündür. Yazılım ayrıca veri çözünürlüğünü düşürme (resample) özelliğine de sahiptir.



Şekil 3.8. MOVAP kodunun yüzey sıcaklık görüntülerini işlemek için takip ettiği ana iş akış şeması.



Şekil 3.9. IDL dili ile üretilen MOVAP programındaki işlemlerin bulunduğu arayüzey ve altı adet alt arayüzeyi.

3.3.1.1. Ham görüntüler ve Veri

HDF veri formatının ana özelliği fazla yer kaplayan görüntü verilerini sıkıştırarak daha kullanışlı hale getirebilmektir (HDF grubu). Her görüntüye ait olan alan bilgileri, görüntü içine gömülmüştür. Ham yüzey sıcaklık görüntüleri (YS) MODIS AQUA MYD11A1 ve MODIS TERRA MOD11A1 veri setlerinde bulunmaktadır (Çizelge 3.3). Her ham görüntü piksellerden oluşmaktadır. Her piksel belirli üst ve alt arasında değerlerle ifade edilmektedir.

Çizelge 3.3. Terra/MODIS MOD11A1 YS (1km) ve Aqua/MODIS MYD11A1 LST (1km) bilimsel veri setlerine ait görüntüler (SDS: Science Data Set- Bilim veri seti)[69].

SDS	Birim	Veri Türü	Dolgu Değeri	Geçerli Değer	Ölçek Faktörü	İlave Kaydırma
Gündüz yüzey sıcaklığı	Kelvin	16-bit işaretsiz tamsayı	0	7500-65535	0.02	-
Gündüz YS ve Emissivite kalite kontrolü	bit	8-bit işaretsiz tamsayı	-	0-255	-	-
Gündüz YS gözlem zamanı	Saat	8-bit işaretsiz tamsayı	0	0-240	0.1	-
Gündüz YS görüntünün zenith açısı	Derece	8-bit işaretsiz tamsayı	255	0-130	1.0	-65.0
Gece yüzey sıcaklığı	Kelvin	16-bit işaretsiz tamsayı	0	7500-65535	0.02	-
Gece YS ve Emissivite kalite kontrolü	bit	8-bit işaretsiz tamsayı	-	0-255	-	-
Gece YS gözlem zamanı	Saat	8-bit işaretsiz tamsayı	0	0-240	0.1	-
Gece YS görüntünün zenith açısı	Derece	8-bit işaretsiz tamsayı	255	0-130	1.0	-65.0
31. bant yayım kuvveti	yok	8-bit işaretsiz tamsayı	0	1-255	0.002	0.49

Çizelge 3.3'ün devamı

32. bant yayım kuvveti	yok	8-bit işaretsiz tamsayı	0	1-255	0.002	0.49
Gündüz açık hava kapsamı	yok	16-bit işaretsiz tamsayı	0	1-65535	0.0005	-
Gece açık hava kapsamı	yok	16-bit işaretsiz tamsayı	0	1-65535	0.0005	-

İşlemlerimizde MODIS'in elde ettiği azimut, zenit ve yansıma görüntüleri de kullanılmıştır. Bu görüntüler, MOD09GA (Terra) ve MYD09GA (Aqua) veri setlerinde yer almaktadır. Bu veri setleri 0,5 km ve 1 km olmak üzere iki farklı çözünürlükte görüntüler içermektedir. 0,5 km çözünürlüğe sahip görüntülerde 1'den 7'ye kadar devam eden farklı dalga boylarına sahip MODIS yüzey yansıma bantları bulunmaktadır. 1 km çözünürlüğe sahip azimut, zenit ve yansıma durum veri görüntüleri dahil 9 görüntü bulunmaktadır (Çizelge 3.4).

MODIS görüntülerinin, kullanışlı olması için dosyanın isimlendirilme şekli önemlidir. Her dosyanın oluşturulduğu zaman, cinsi, koordinatları farklıdır. Bu nedenle dosyaların bir sistem dâhilinde isimlendirmeleri, karışıklığı önler. Örnek olarak, MOD11A1.A2008007.h21v05.005.2008008210214.hdf dosyasını ele alırsak;

MOD: Terra uydusunun kısaltılmış simgesini (MYD – Aqua uydusu),
MOD11A1: ürünün kısaltılmış ismini,
.A2008007: Miladi tipi tarihlemeyi (A-YYYYGGG),
.h21v05: görüntü karesinin yerini (Şekil 3-2),
.005: versiyon numarası,
.2008008210214: üretim zamanının miladi tarihini (YYYYGGGSSDDS'S'),
.hdf: Veri türünü (HDF-EOS) (Y: yıl, G: gün, S: Saat, D: dakika, S': saniye)

ifade etmektedir [58].

3.3.1.2. Gündüz ve Gece Yüzey Sıcaklığı

MODIS Terra ve MODIS Aqua cihazları gün içerisinde ikişer görüntü almaktadır. Bu cihazlar öğleden önce bir adet, öğleden sonra bir adet olmak üzere iki gündüz yüzey sıcaklık görüntüsü ve akşam saatlerinde bir adet, gece saatlerinde bir adet olmak üzere iki gece yüzey sıcaklığı görüntüsü elde etmektedir. Bu veriler Gündüz yüzey sıcaklığı ve Gece yüzey sıcaklığı görüntüleri olmak üzere MOD11A1 ve MYD11A1 veri setleri içerisinde bulunmaktadır (Çizelge 3.4).

Görüntüler sinüsoidal projeksiyon sistemine göre referanslanmıştır. Görüntülerdeki pikseller 7500 ile 65535 değer aralığına sahiptir. Görüntülerin piksel değerlerinin Kelvin cinsinden yazılması için ölçek faktörü ile oranı alınması gerekmektedir.

Çizelge 3.4. Terra/MODIS MOD09GA ve Aqua/MODIS MYD09GA bilimsel veri setlerine ait görüntüler (SDS: Science Data Set- Bilim veri seti)[70].

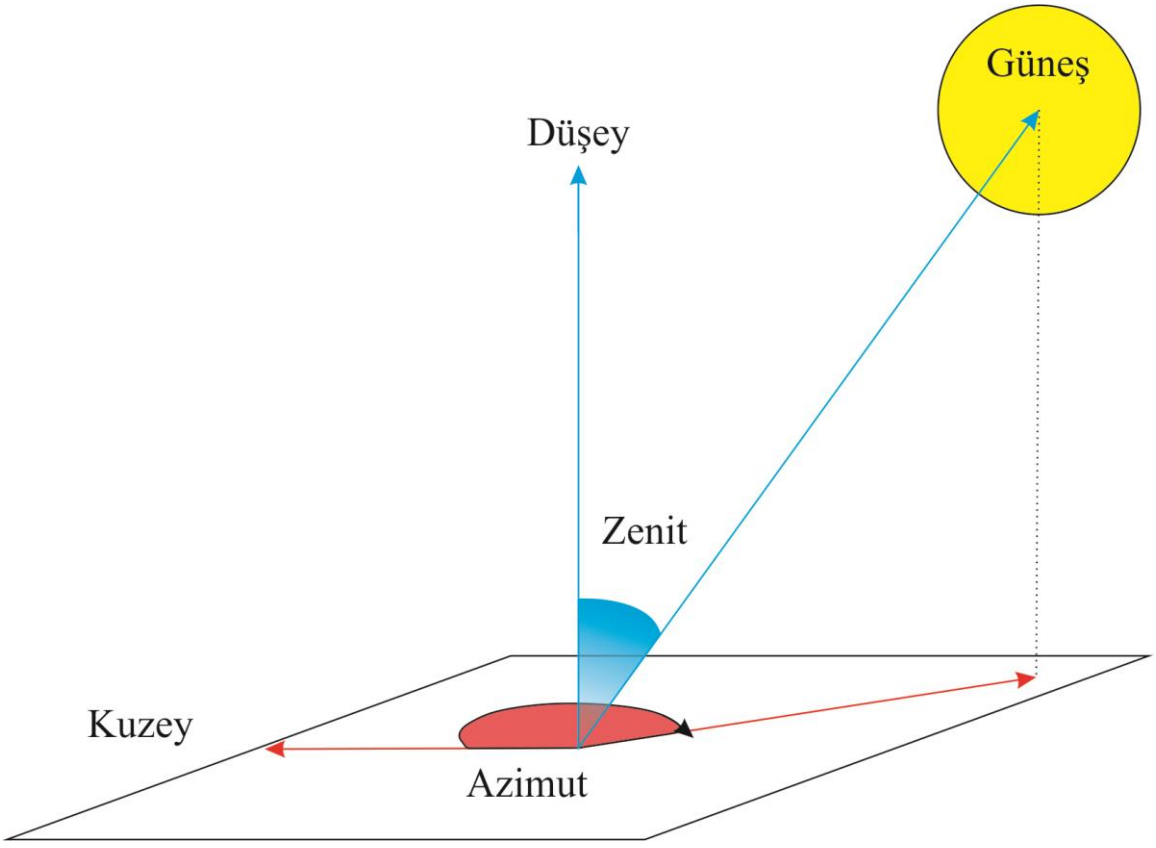
Veri Grubu	SDS	Birim	Veri Türü	Dolgu Değeri	Geçerli Değer	Ölçek Faktörü
1 km	Gözlemleme miktarı	-	8-bit işaretsiz tamsayı	-1	0-127	-
	Yansıma veri durumu	Bit	16-bit işaretsiz tamsayı	65535	0-57335	-
	Sensör zenit	Derece	16-bit işaretsiz tamsayı	-32767	0-18000	0,01
	Sensör azimut	Derece	16-bit işaretsiz tamsayı	-32767	-18000-18000	0,01
	Piksel-sensör uzaklığı	Metre	16-bit işaretsiz tamsayı	65535	27000-65535	25
	Solar zenit	Derece	16-bit işaretsiz tamsayı	-32767	0-18000	0,01
	Solar azimut	Derece	8-bit işaretsiz tamsayı	-32767	-18000-18000	0,01
	Konum belirleme işaretleri	Bit	8-bit işaretsiz tamsayı	255	0-248	-
	Yörünge yönü	-		-1	0-15	-

Azimut – Zenit

Uzaktan algılama yönteminde güneş büyük ölçüde rol almaktadır. Yer yüzeyine gelen enerjinin bir kısmı dünyada hapsolurken, bir kısmı uzaya geri dönmektedir. Yer yüzeyinden yansıyan enerji her cisimde farklı yansıma değerleri göstermektedir. Bu da uzaktan algılamanın temelini oluşturmaktadır.

Güneş ışınları yer yüzeyine dik şekilde gelmektedir. Ancak Dünya'nın jeoid şeklinde olması nedeniyle bu ışınlar farklı açılarla yeryüzüne ulaşır. 21 Mart ve 23 Eylül ayında güneş ışınları ekvatora 90 derecelik açı ile gelirken, 21 Aralık'ta Oğlak dönencesine, 21 Haziran'da ise Yengeç dönencesine 90 derecelik açı ile ulaşır. Türkiye'ye gelen güneş ışınları bütün bir yıl boyunca en fazla 74,7˚, en az ise 27,9˚ derecelik açı yaparak ulaşmaktadır.

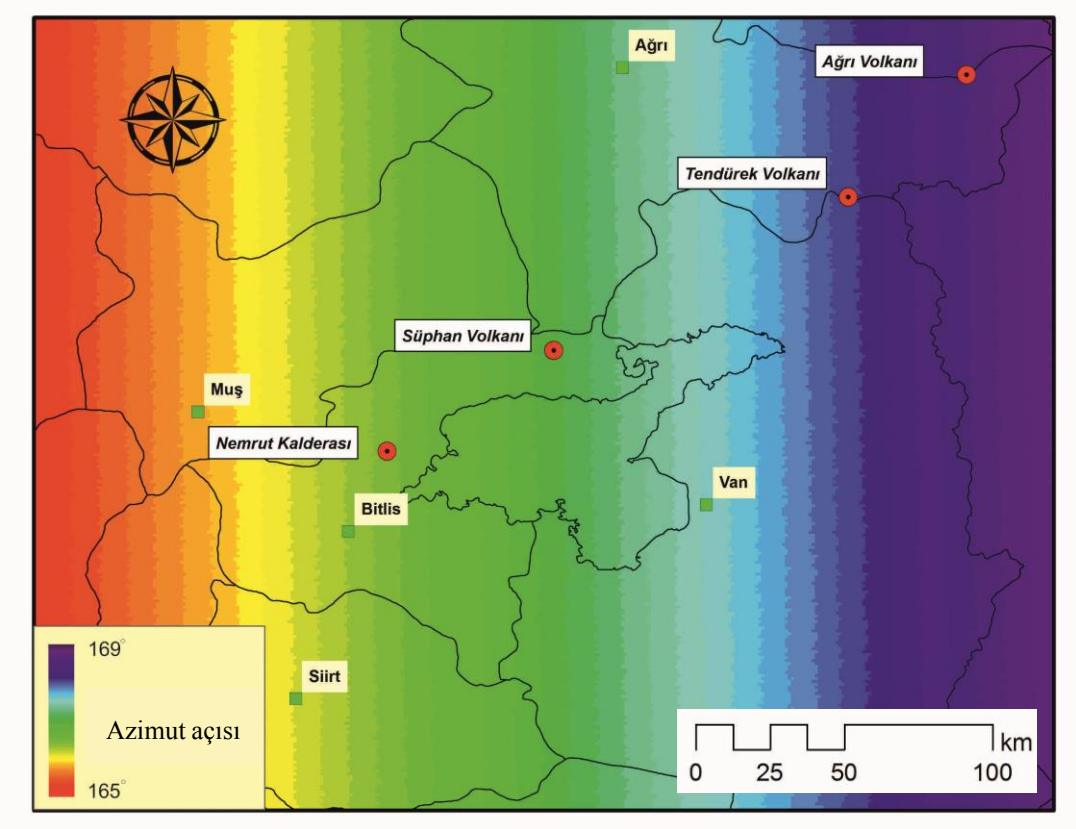
Azimut ve zenit kavramları gerçek açıyı ifade etmektedir. Bu gerçek açı, yer yüzeyindeki belirli bir noktadaki düşey eksen vektörü ile aynı noktadan güneşe olan istikametteki vektörün arasındaki açıdır (Şekil 3.10).



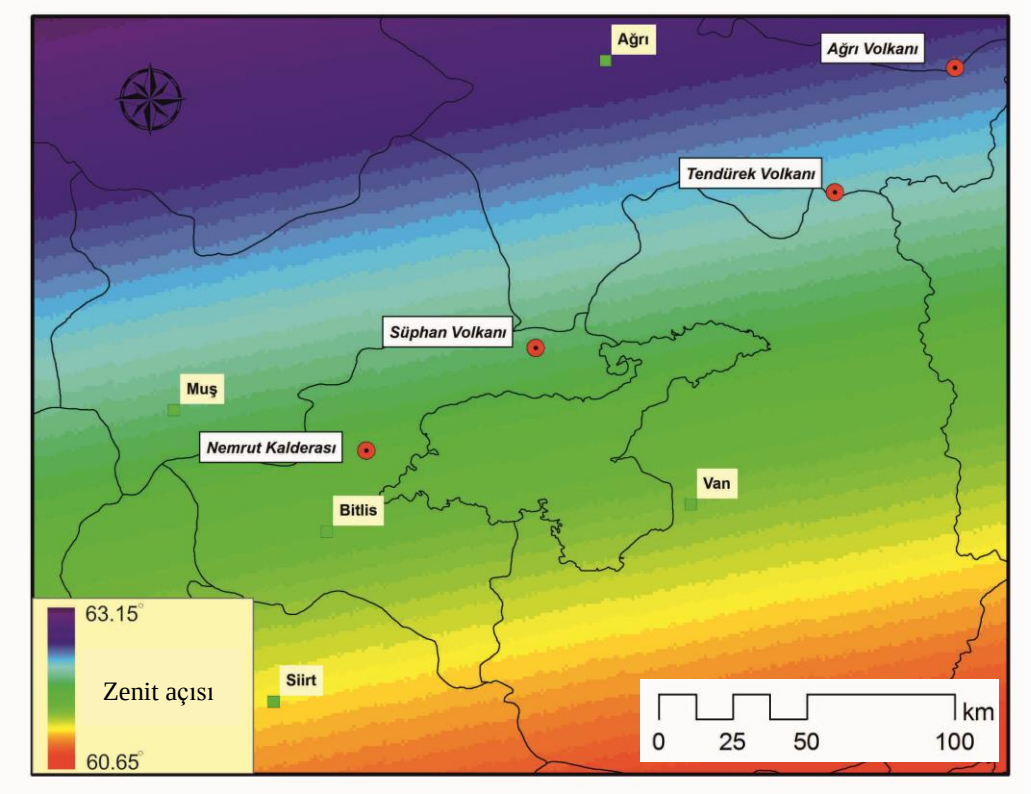
Şekil 3.10 Azimut ve zenit açıları ile ilgili tanımlamalar

Yüzey sıcaklık görüntülerinde yeryüzü kaynaklı ve güneş kaynaklı iki farklı girdiyi görebiliriz. Gündüz görüntülerinde bu iki girdinin birlikte bulunması yeryüzü kaynaklı termal girdinin perdelenmesine neden olabilir. Güneş kaynaklı girdi, gece görüntüsü ile çalışılarak veya azimut ve zenit açıları kullanılarak iki farklı yöntem ile kısmen yok edilebilmektedir.

Azimut değerinde 0 (sıfır) değeri kuzey yönünü ifade etmektedir. Doğu Anadolu'da güneş ışınları Şekil 3.11'de görüldüğü gibi güneyden 11-15 derece doğu yönü ile gelmektedir. 09.10.2010 tarihinde alınan görüntüde güneşin yönü azimut cinsinden Nemrut kalderasına 166,42˚ derece, Ağrı volkanına 168,57˚ derece açı ile gelmektedir. Aynı tarihteki görüntüye ait zenit açısı, 60,65˚ ile 63,15˚ derece açı arasında gelmektedir (Şekil 3.12).



Şekil 3.11. Doğu Anadolu'nun 09.01.2010 tarihinde yüzeye düşen güneş ışınlarının derece cinsinden azimut yönü haritası.



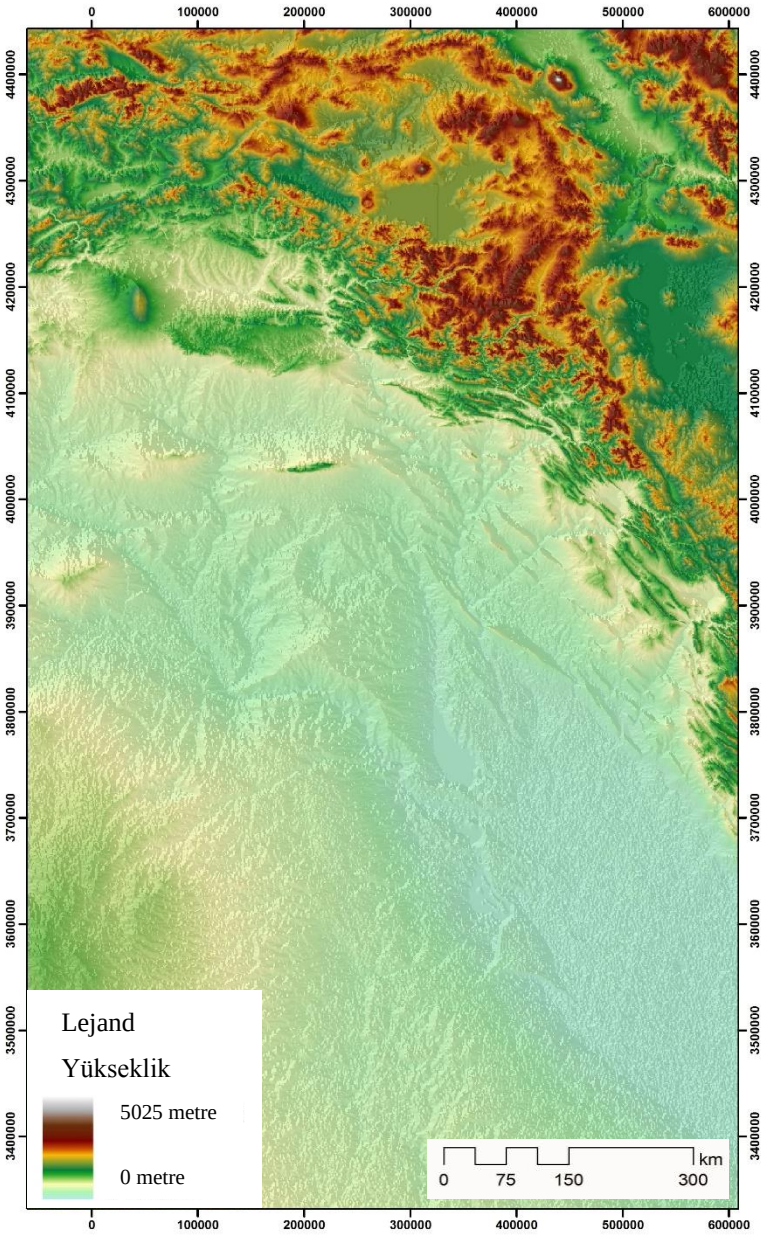
Şekil 3.12. 09.01.2010 tarihli Doğu Anadolu bölgesine gelen güneş ışınlarının zenit cinsinden açısı.

3.3.1.3. Sayısal Arazi Modeli (SAM)

Sayısal arazi modeli yer yüzeyini temsil eden kabartıdır. SAM'ı matris olarak düşünürsek, her matris bileşeni (her piksel) yükseklik değeri olan grid sistemleri şeklinde ifade edilmektedir. Bu grid sistemleri, eş yükseklik eğrileri, nokta yükseklik verileri veya stereoskopik görüntüler kullanılarak elde edilebilir (Baudemont ve Parrot 2000).

SAM, vektörel ve raster veri olarak iki türlü ifade edilebilmektedir. Raster SAM basite indirgenmiş veri modelidir. Vektörel SAM ise düzensiz üçgenlerden oluşan daha karmaşık ağ (TIN – Triangulate Irregular Network – Düzensiz Üçgen Ağı) veri modelidir.

Bölgenin 30 m çözünürlüklü SAM'ı USGS'den (EROS – Earth Resources Observation and Science Center) parçalar halinde indirilmiştir [71]. Bu parçalar ENVI yazılımı ile mozaik yöntemini kullanarak bütün hale getirilmiş ve MODIS görüntüleri ile hesaplanabilmesi için ARCGIS yazılımı ile 30 m çözünürlüklü görüntü 1 km çözünürlüğe düşürülmüştür (Şekil 3.13).



Şekil 3.13. MODIS görüntüsüne uyarlanmış renklendirilmiş ASTER SAM raster görüntüsü (UTM 36N)(ASTER SAM, METI ve NASA ürünüdür.)[71]

3.3.2. Meteoroloji Hava Sıcaklık Verileri

Bölgede ait T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü bünyesinde faaliyet gösteren otomatik istasyonların 12 yıl boyunca günde iki kez, gündüz ve gece ölçtüğü santigrat derece cinsinden sıcaklık verisi alınmıştır. Araştırma bölgemize ait bu veriler, uydu verileri ile kıyaslanmıştır. Meteorolojiden alınan veriler 12 yıllık setler halinde grafiklere yansıtılmış ve bu grafikler MODIS'ten alınan sıcaklık verisiyle

karşılaştırılmıştır. Bu veri karşılaştırma sayesinde mevcut olan veya oluşabilecek yüzey anomalileri hava değişimiyle ilişkilendirilmekte ve/veya farklılıklar saptanmaktadır. Bölgede dört ayrı bölge için dört ayrı meteoroloji istasyonundan veriler alınmıştır (Çizelge 3.5).

Çizelge 3.5. Meteorolojiden alınan hava durum raporlarının yerleşim merkezleri ve zaman aralıkları [72].

İstasyon	Volkan	Zaman dilimi	Kaynak
Tatvan	Nemrut	2001-2012	T.C. Orman ve Su İşleri Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğü
Muradiye/Van	Tendürek	2001-2012	
Doğubeyazıt	Ağrı	2001-2012	
Ahlat	Süphan	2001-2012	
Kabanjahe	Sinabung	2010-2013	Meteoblue
Lumajang	Semeru	2012	
Nigadisari	Tengger	2012	
Goma	Nyirangogo	2012	

3.3.3. Veri Ön Hazırlığı

Bu kısımda veri analizi öncesi veriyi işlemlere hazır hale getirmek için yapılan işlemler tartışılmaktadır. Bu işlemler sırasıyla çalışma alanının kesilmesi, görüntülerin Kelvin cinsi sıcaklık biriminden santigrat sıcaklık birimine dönüştürülmesi, sayısal arazi modelinden verilerin elde edilmesi ve maskelemelerdir.

3.3.3.1. Çalışma Alanının Kesilmesi

Çalışma kapsamında analiz edilecek alanlar (İlgi Alanları – İA) belirlenmiştir. Görüntü üzerinde her volkana ait iki adet pencere kesilerek İA oluşturulmuştur. Bu pencerelerden biri volkan konisinin tamamını, diğer pencere ise zirveyi kapsamaktadır. Zirve penceresindeki alanlar, zirveyi, zirvede yer alan bir domu, kaldera içinde bulunan volkanik yapıları ve/veya termal girdinin gözlenebileceği alanları ifade etmektedir.

3.3.3.2. Görüntülerin Kelvin → Santigrat Derece Dönüşümü

Gündüz yüzey sıcaklık değeri her bir pikselin Çizelge 3.3'te verilen ölçek faktörü ile çarpımından hesaplanmaktadır. Bu hesaplama işlemleri MOVAP kodu ile gerçekleştirilmektedir. Ortaya çıkan sıcaklık görüntüsünün birimi Kelvin olup daha sonra istenilen diğer birimlere çevrilebilmektedir. Görüntünün bu hali ham veri olarak nitelendirilmektedir.

3.3.3.3. Sayısal Arazi Modelinden Elde Edilen Veriler

Yer yüzeyi sadece pürüzsüz bir düzlem olarak ifade edilemez. Topoğrafik süreksizlikler olan sırtlar, ovalar, vadiler ve benzeri yapılar yer yüzeyinde ard arda bulunmaktadır. Bir görüntüde her pikselin azimut ve zenit açıları farklıdır. Ayrıca gelen güneş ışınları yer kürenin eksen eğikliğinden dolayı her gün farklı açılar yaparak yüzeye ulaşmaktadır. Topoğrafik düzeltmenin yapılabilmesi için ışınımların yüzeye ulaştığındaki açının, yüzey eğiminin ve yüzeyin bakı verilerinin bilinmesi gerekmektedir.

Bakı ve eğim verileri sayısal arazi modelinden türetilmiştir. Bu modellerin oluşumunda ENVI yazılımı kullanılmıştır. Program, topoğrafik modellemelerde kernel dönüştürmesi kullanmaktadır.

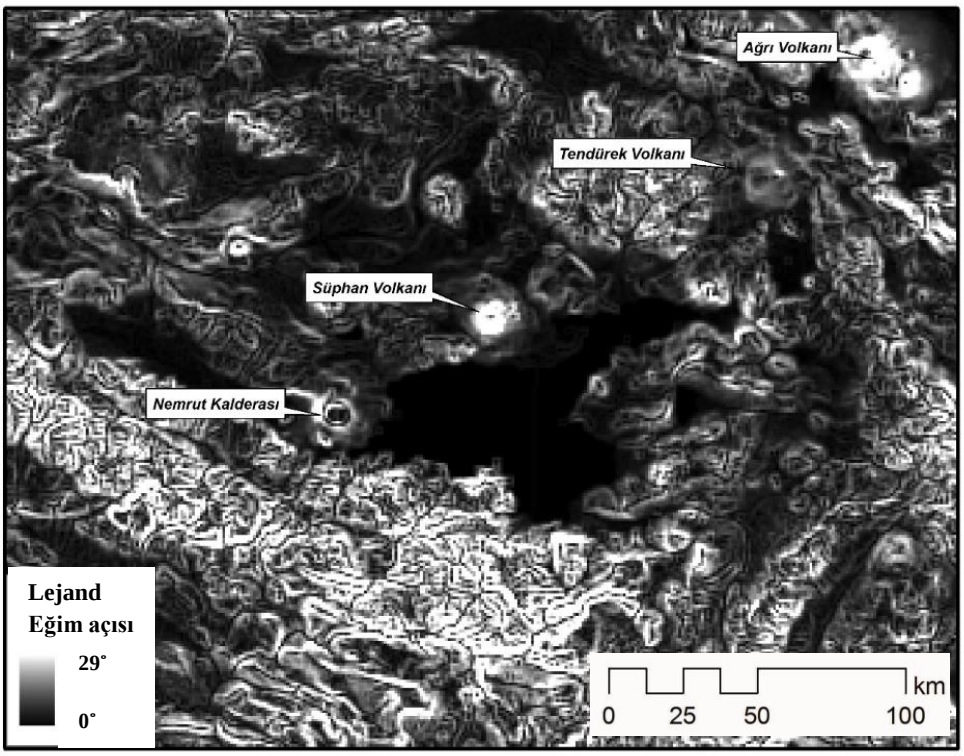
Eğim

Eğim, xy kartezyen koordinat sisteminde bulunan bir doğrunun x ekseni ile yaptığı açının tanjant değeridir. Düzlemin, başka bir deyişle yamacın topoğrafik yüzeyinde sırt, tepe gibi eğime sahip morfolojik yapılar bulunmaktadır (Şekil 3.14). Eğimin hesaplamalarımızdaki önemi, gelen güneş ışınlarının zenit değerlerine etki etmesidir. Yani, yüzey eğimi değiştikçe yüzeye gelen güneş ışınlarının zenit açısı değişecektir. Eğimi açısı farklı yüzeylere çarpan ışınlar her defasında farklı açı yaparak yansıyacaktır [73, 74, 75].

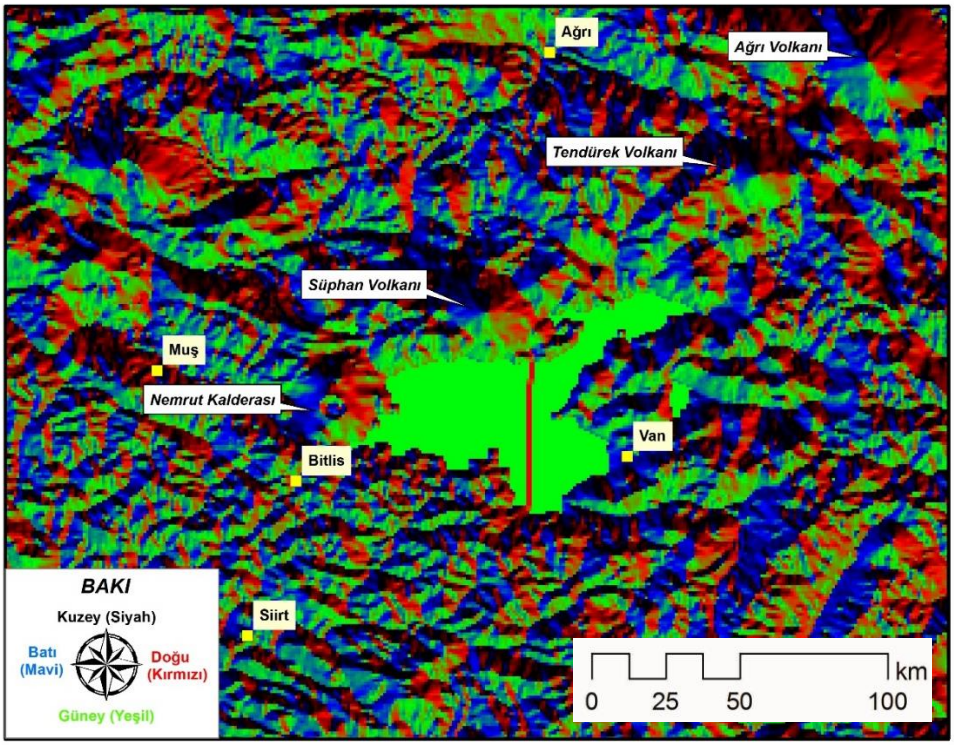
Bakı

Bakı, eğime sahip topoğrafik bir yüzeyin ufuk çizgisini gösterdiği doğrusal yöndür ve yüzeydeki en dik yamacın yönü olarak tanımlanır [76]. Bakının dağlık kesimlerde gibi eğimi çok yüksek yüzeylerde etkisi çok fazladır. Dağların güney yamacının kuzey yamacına göre daha düşük olmasının nedeni bu etkiden dolayıdır. Topoğrafyanın değişiminde ve ayrıca lokal iklim değişikliklerinde de etkili olmaktadır [77]. Türkiye gibi yengeç dönencesinin kuzeyindeki ülkelerde bütün yıl boyunca güneş ışınları güneye bakan yamaçlara düşmektedir.

Doğu Anadolu'ya ait SAM görüntüsünden üretilen bakı haritasına bakıldığında Süphan ve Ağrı volkanlarının konik şekilleri olması bakı özelliklerini daha anlaşılır kılmaktadır (Şekil 3.15). Sırtlar ve vadilerin oluşturduğu bu topografyanın görüntüsünde her bir renk farklı bakı yönünü belirtmektedir (Şekil 3.15).



Şekil 3.14. Doğu Anadolu bölgesinde 1 km çözünürlüklü SAM'den hesaplanmış eğim açısı değerleri. Siyah renkten beyaz tonlara gidildikçe eğim açısı artmaktadır.



Şekil 3.15. Doğu Anadolu'ya ait eğim yönlerini gösteren 1 km çözünürlüklü bakı haritası. Yamaçlar yönlerine göre renklendirilmiştir.

3.3.3.4. Maskeleme

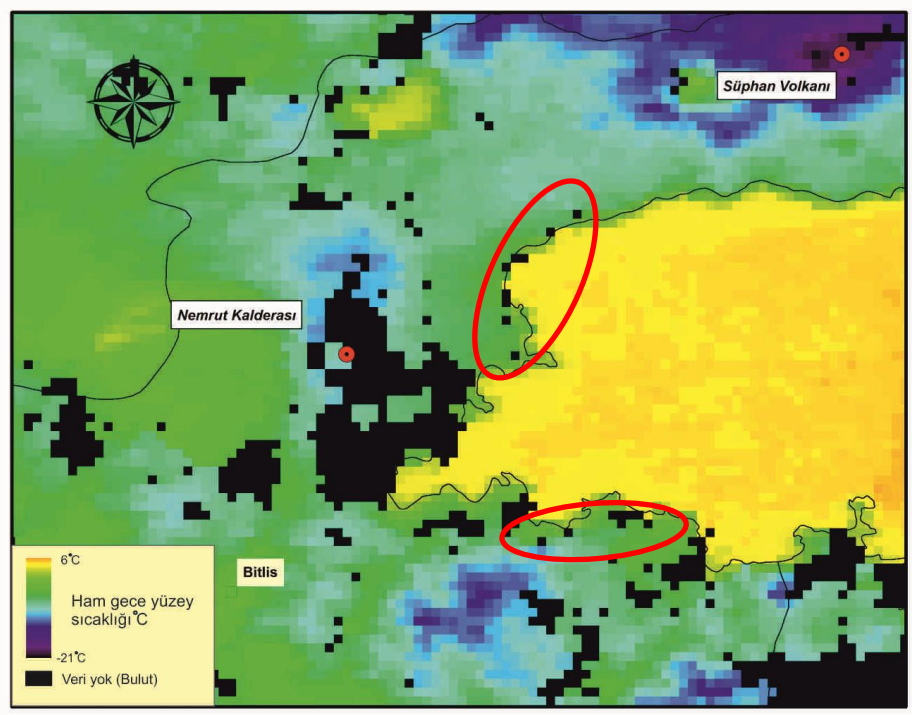
Uydu görüntüsüne ait verinin tamamı sağlıklı olmayabilir. Bulutlu veya karlı yüzeye ait veri gerçeği yansıtmaz. Bu gibi problemleri düzeltme olanağı olmadığı için istenmeyen bulutlu ve/veya karlı veri maskelenir.

Gündüz görüntülerde bulutluluk ve kış aylarında yüzeyi örten kar analizlerde istenmeyen durumlardır. Gece görüntülerinde ise güneş faktörünün olmaması nedeni ile durum biraz farklıdır. Bu kez topoğrafik yüksekliğe bağlı olarak yüzey sıcaklığı değişecektir.

3.3.3.5. Gündüz Bulut ve Kar Maskelemesi

Görüntülerde termal girdinin gözlenmesi ancak bulutlu olmayan piksellerin işlemleri üzerinden mümkün olmaktadır. Bulutu maskeleme yöntemi ile bulutun bulunduğu pikselleri yok sayarak, hesaplamalara katılması engellenmektedir.

Kış aylarında bölgede kar yağışları meydana gelmekte ve yüzeyi tamamen kaplamaktadır. Kar, yüzeyin yansıma değerini değiştirdiği gibi analiz sonuçlarını etkilemektedir. Buluta yapıldığı gibi kar yüzeyi değerleri de maskelenmektedir. Ayrıca sadece kış aylarında değil, ilkbahar ve sonbahar mevsimlerinde gerçekleşen yağışlar ve bölgede bulunan büyük su kütleleri nemi arttırmakta ve görüntüyü etkilemektedir. Bu etki ham yüzey sıcaklık görüntülerinde Van gölünün sınırları boyunca açıkça görülmektedir (Şekil 3.16).



Şekil 3.16. Van gölünün sınırları boyunca görünen yoğun nemli havadan meydana geldiği düşünülen pikseller.

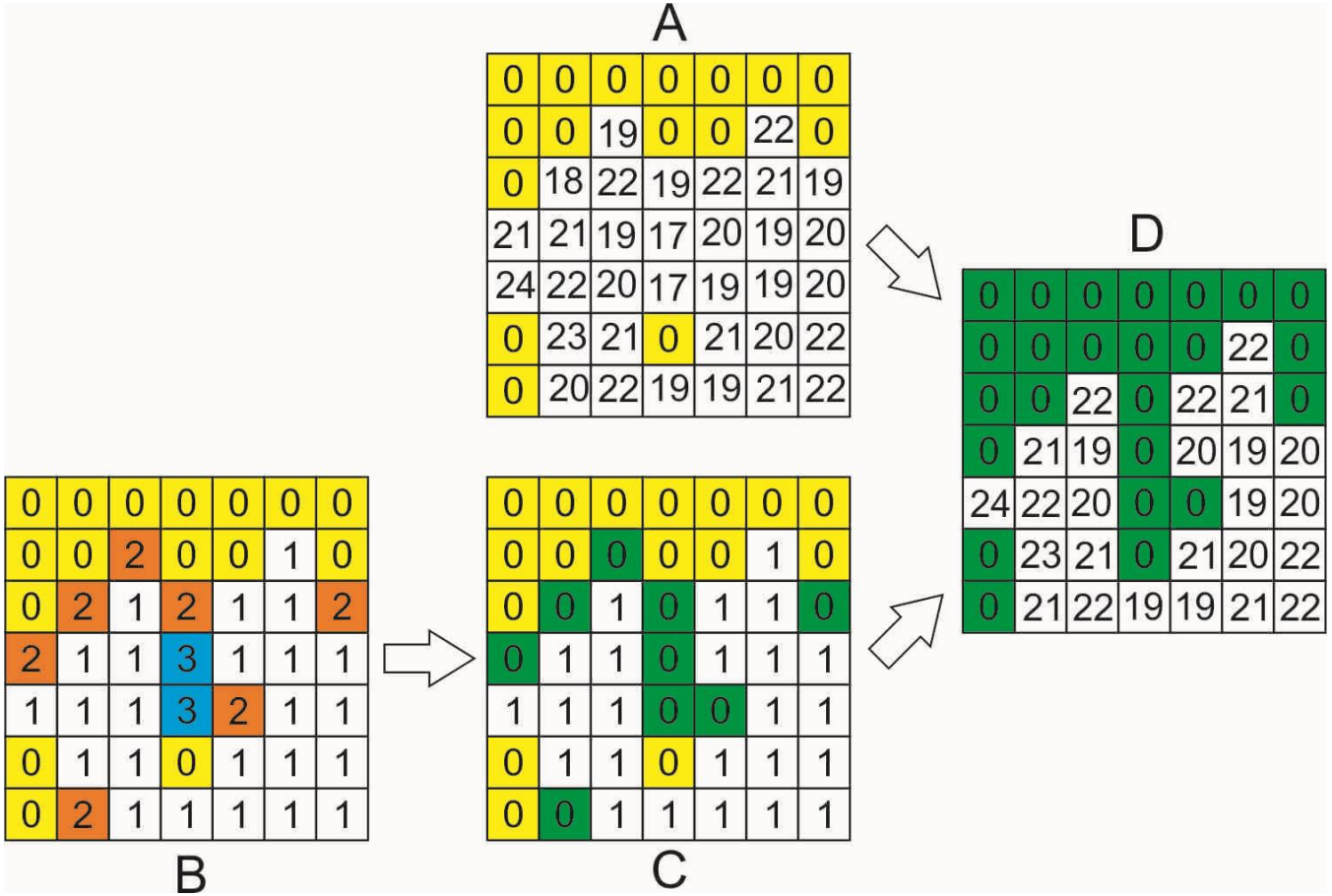
Bulut ve kar maskesinin oluşturulması için MOD09GA (Terra) ve MYD09GA (Aqua) veri setleri içindeki 1 km çözünürlüğe sahip yüzey yansıma değeri kullanılmıştır. Bu yansıma değerleri değişik birimlerde birbirinden farklı değerler göstermektedir. Bu yansıma görüntüsünün her pikseli teker teker yansıma değerine göre tekrar gruplandırılmıştır. Bu işlem yansıma görüntüsünün bulut ve kar maskesine dönüşümünü mümkün kılmaktadır (Şekil 3.17 ve Şekil 3.18).

3.3.3.6. Gece Bulut Maskesi

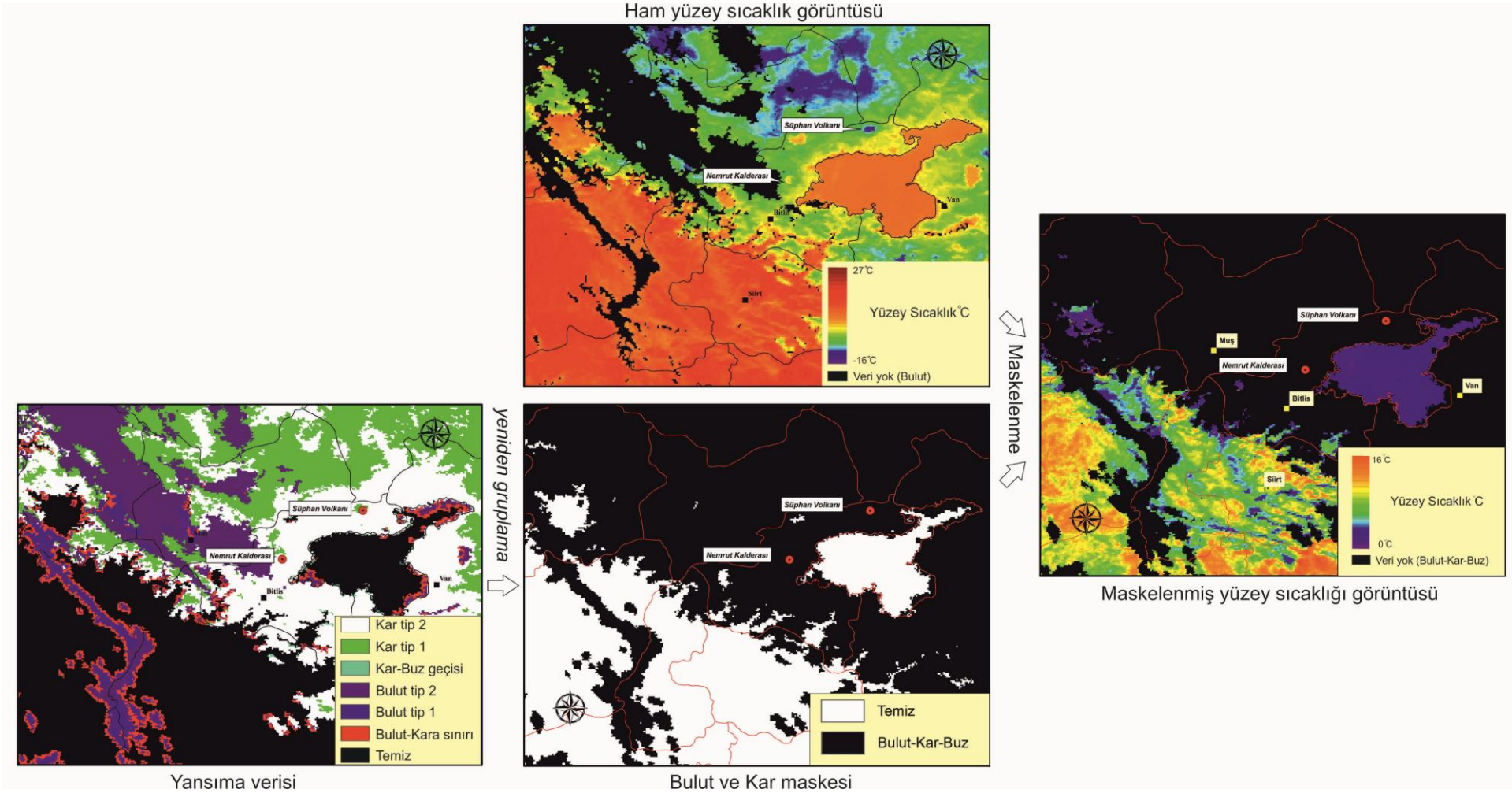
Gece görüntülerinin gündüz görüntülerinden farkı güneş ışınlarının yansıma verilerinin olmamasıdır. Bu yüzden gece görüntülerinde karlı yüzeyleri ayırt etmek kolay değildir. Aster uydu görüntülerinde, MODIS'in aksine karlı yüzeyi görmeniz mümkündür. Sonuç olarak gündüz görüntülerinde olduğu gibi gece görüntüleri için de yansıma verisinin olmaması nedeniyle kar ve buz maskesi gece görüntülerine uygulamamaktadır.

Her ne kadar gündüz verisindeki gibi gece görüntülerinde bulut-kara piksel geçişinin gösteren yansıma verisi olmasa da, gece görüntülerinde bulutun etrafında böyle bir geçişli sınırın varsayılması gerekmektedir. Her piksel biriminin gerçekte 1 km^2'ye denk geldiği düşünülürse, bulut piksellerini çevreleyen pikselleri maskelemek bu sınırı maskelememize yeterli olacaktır (Şekil 3.19).

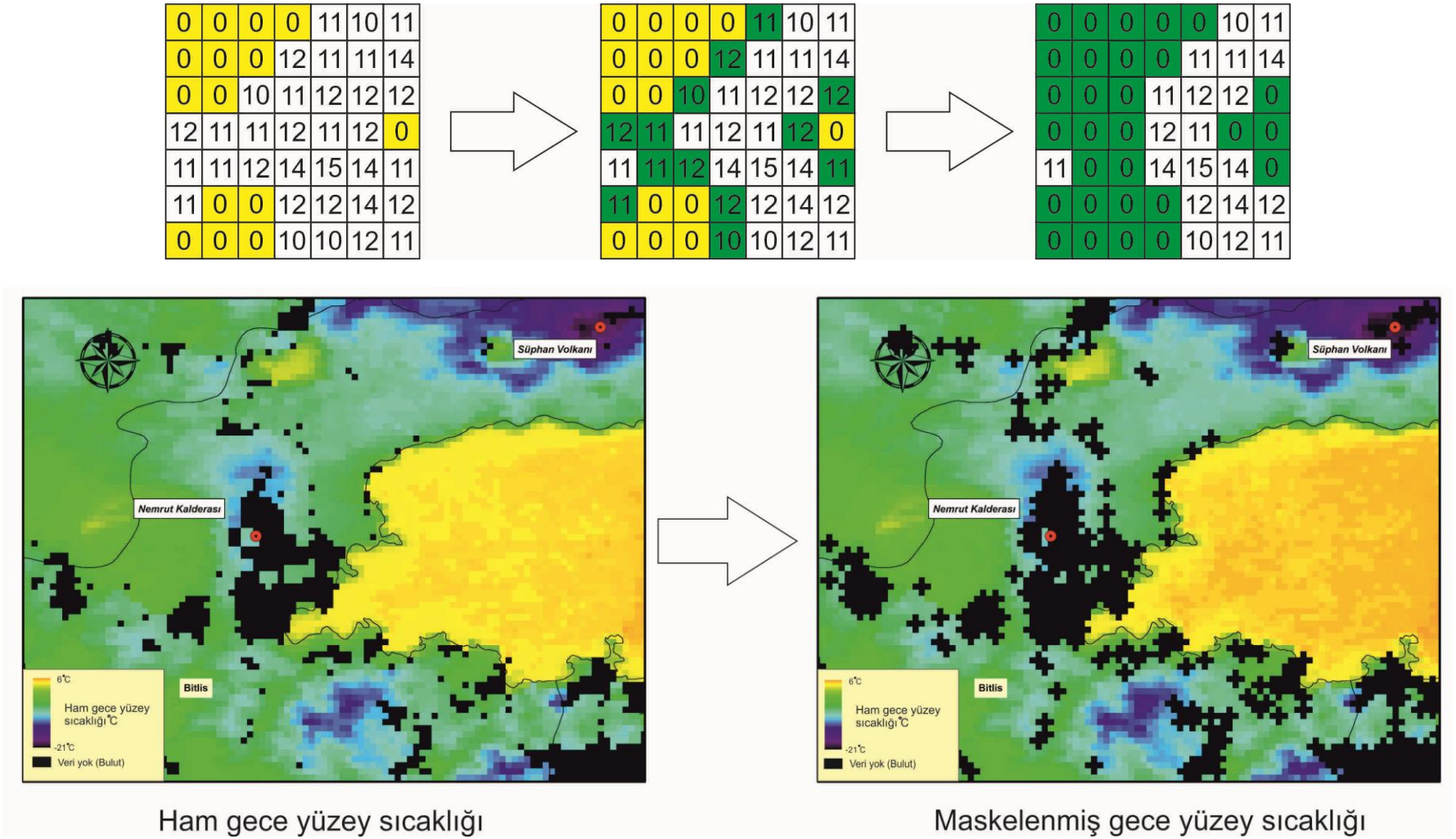
Ayrıca aynı günün TERRA MODIS ve AQUA MODIS gece yüzey sıcaklık görüntülerini karşılaştırdığımızda bulutun kapladığı piksel verileri belirli bir düzlemde rüzgâr ile birlikte ve yaklaşık 4 saatlik zaman diliminde yer değiştirdiği görülmektedir (Şekil 3.20).



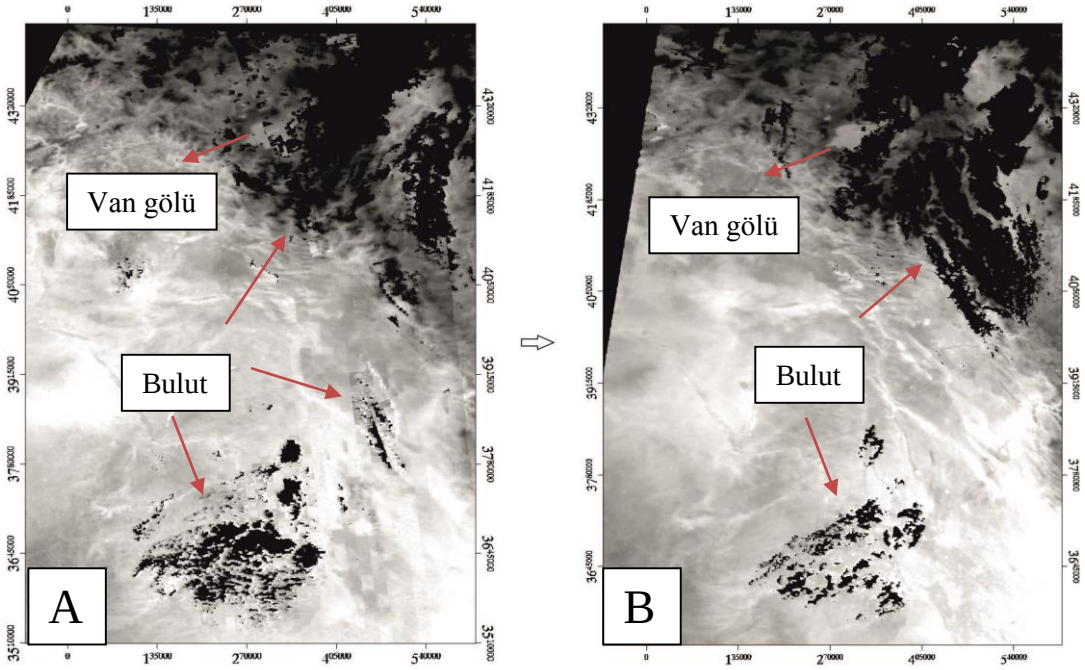
Şekil 3.17. Kar ve bulut maskesi oluşturulmasında gerçekleşen işlemler. A: ham yüzey sıcaklık görüntüsü, B: yansıma görüntüsü, C: yansıma görüntüsünün yeniden gruplandırılmış görüntüsü, D: maskelenmiş yüzey sıcaklığı görüntüsü (Sarı: bulutlu piksel, Turuncu: seyrek bulutlu piksel, Mavi: karlı-buzlu piksel, Yeşil: tekrar hesaplanmış piksel)



Şekil 3.18. 09.01.2010 tarihli görüntülerin maskelenmiş yüzey sıcaklığı verilerini oluşturma şeması.



Şekil 3.19. MODIS yüzey sıcaklık gece görüntüsüne uygulanan maskeleme yöntemi. Gölün etrafında oluşan nem yoğunlaşmaları da ham gece yüzey sıcaklık görüntüsünde görülmektedir .



Şekil 3.20. A: MOD11A1 (Terra) setinde bulunan gece yüzey sıcaklık görüntüsü, B: MYD11A1 (Aqua) setinde bulunan gece yüzey sıcaklığı görüntüsü. Yaklaşık 4 saatlik zaman farkı ile alınmış MODIS gece görütüleri.

3.3.4. Düzeltmeler

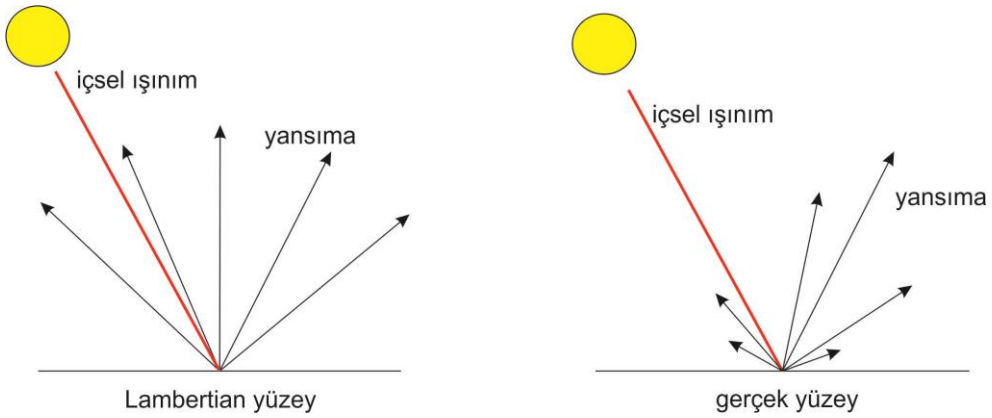
Uydu görüntülerinde topoğrafik etkiler yüzeyin eğim açısı ve güneşin konumuna bağlı olarak aydınlanmasındaki farklılıklardan ortaya çıkar. Bu farklılıklar yüzey sıcaklıklarını değiştirmektedir. Etkileri azaltmak için topoğrafik düzeltme yöntemleri kullanılmaktadır [24, 73, 74, 75].

Çalışma yöntemi içerisinde üç ayrı düzeltme kullanılmıştır. Bu düzeltmelerin ikisi gündüz görüntülerine yönelik olan kosinüs [73, 74, 75] ve Minnaert [78] düzeltmeleridir. Gece görüntülerinde ise STcorr düzeltmesi [24] uygulanmıştır.

Yüzeylerin yansıma karakterleri Lambertian ve Lambertian olmayan yüzeyler olmak üzere iki ayrı kategoride sınıflandırılabilir (Şekil 3.21). Kosinüs düzeltmesinde kullanılan, en basit topoğrafik yaklaşım olan Lambertian yöntemler, atmosferik etkileri bütün yönlerde eşit şekilde ihmal ederek içsel ışınımını yansıtan bir yüzeyi esas alır.

Minneart düzeltmesi de Lambertian olmayan yüzeyler için uygulanmaktadır. Lambertian olmayan yöntem aslında fiziksel tabanlı değildir. Fakat iki yönlü yansıma dağılım fonksiyonunun sabitleri cinsinden ışınım yayılmasını belirlemeye çalışır [79]. Burada

yansıma dağılım fonksiyonu yüzeylerin yansıma karakterlerini belirtir. Düzeltme miktarı dalga boyuna bağlıdır. Böylece her bir bant için sabitlerin değerlemesi ayrıca gereklidir. Topoğrafik etki yakın kızılötesi bantta çoğunlukla baskındır [73].Yansıma özellikleri kara örtüsüne bağlı olduğundan kullanılan sabitler aynı zamanda her bir kara örtüsünün özelliğine bağlı olarak hesaplanmaktadır [74, 75, 80].



Şekil 3.21. Lambertian ve gerçek yüzeyin yansıma davranışları.

3.3.4.1. Gündüz Yüzey Sıcaklık Görüntü Düzeltmeleri

Gündüz yüzey sıcaklık görüntü düzeltmelerinin uygulanmasına neden olan faktör başlı başına güneştir. Bu çalışmada, söz konusu güneş etkisini kaldırmak için kullanılan yöntemlerden ikisi kosinüs düzeltmesi ve Minnaert düzeltmesidir.

Kosinüs Düzeltmesi

Bu yöntemde, yüzeyin tüm doğrultularda eşit miktarlarda yansımayı gerçekleştiren, Lambertian davranışa sahip olduğu varsayılmaktadır. Bundan dolayı Lambertian düzeltme fonksiyonu yüzeyin yönelimi nedeniyle oluşan aydınlanmadaki farklılıkları düzeltmeye çalışır [81].

Lambertian varsayımı için çoğunlukla kullanılan düzeltme Teillet ve arkadaşları (1982) tarafından önerilen,

$$\cos i = \cos E \cos Z + \sin E \sin Z \cos(A_0 - A_s) \quad (3.1)$$

$$Ln\,(\lambda) = L(\lambda)\,/\cos i, \quad (3.2)$$

$$L_H = L_T \cos z\ /\cos i \cos a \quad (3.3)$$

denklemlerin kullanıldığı kosinüs metodudur.

Yukarıdaki denklemlerde kullanılan değerler sırasıyla şöyledir:

L = ışıma,

Z = zenit açısı,

L_H = yatay yüzey için ışıma,

L_T = eğimli yüzey üzerinde gözlenen ışıma,

i = yüzeyin normaline ilişkin geliş açısı,

E = eğim açısı,

A_0 = azimut,

A_S = bakı.

Lambertian varsayımı topoğrafik düzeltmeler için basit ve uygun olmasına rağmen düzeltilmiş görüntülerde sıkça karşılaşılan bir sorun vardır: gölgeli, güneşi az gören veya görmeyen eğimli yüzeylerin, güneş ışınlarının geldiği yüzeylere göre aşırı düzeltildiği gözlemlenmiştir [73, 74, 75]. Bu nedenle Lambertian olmayan topoğrafik düzeltme yöntemleri geliştirilmiştir.

Minnaert Düzeltmesi

Ay yüzeyinin kabaca tanımlanmasında kullanılan yarı deneysel denklem Minnaert (1941) tarafından ortaya koyulmuştur. Bu denkleme dayalı olan Minnaert düzeltmesi Lambertian olmayan topoğrafik bir düzeltme metodudur.

Minnaert düzeltmesi, kosinüs düzeltmesinin biraz daha kapsamlısıdır ve

L_H = yatay düzlemin yansıma değeri,

L_T = eğimli yüzeyin yansıma açısı,

z = güneş zenit açısı,

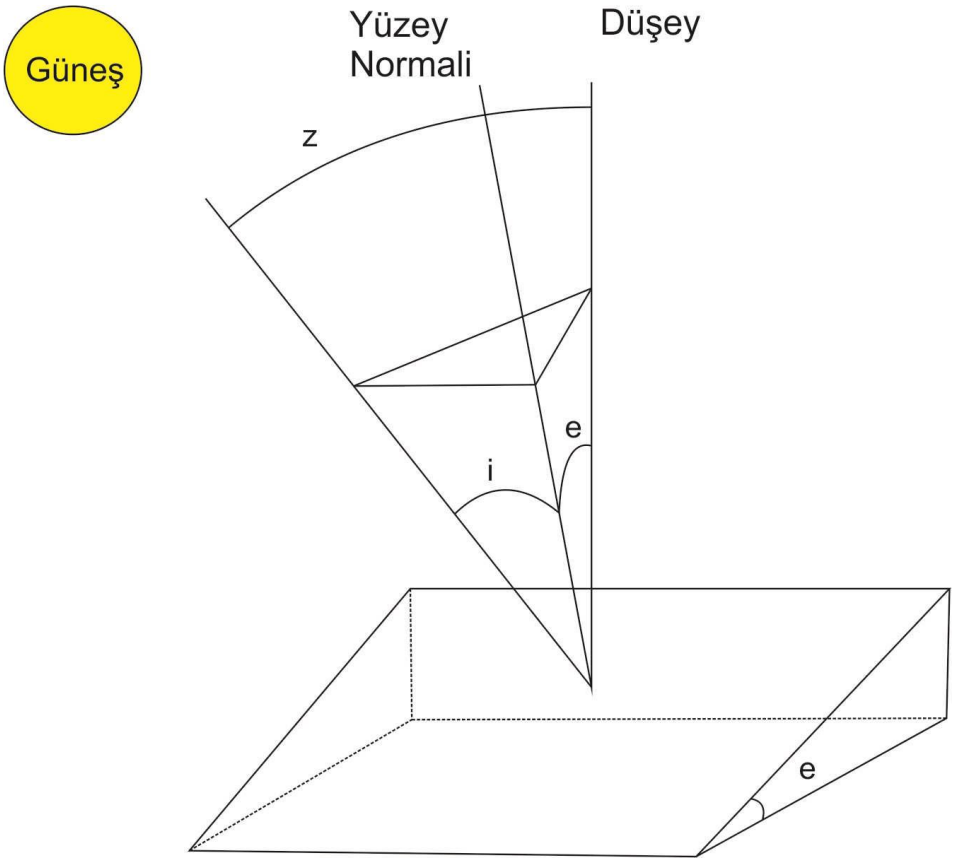
i = yüzeyin normali ile güneş ışınımın arasındaki açı,

k = Minnaert sabiti olmak üzere,

$$L_H = L_T \times \left(\frac{\cos z}{\cos i}\right)^k \tag{3.4}$$

denklemi ile verilir.

Yüzeyin Lambertian olması k sabitine bağlıdır. k sabiti, i ve e (Şekil 3.22) açıları ile girilen görüntünün yansıma değerleri arasındaki lineer regresyon ile belirlenir. "k" değerleri 0 ile 1 arasındadır ve k=1 Lambertian yüzeyini karakterize etmektedir [78].



Şekil 3.22. Yüzeyin normali ile güneş ışınımın arasındaki açının hesaplanabilmesi için gerekli açılar (z: zenit açısı, e: yüzeyin eğimi, i: yüzeyin normali ile güneş ışınımın arasındaki açı) [74].

3.3.4.2. Gece Yüzey Sıcaklık Görüntü Düzeltmeleri

Daha önce maskeleme konusunda da bahsedildiği gibi gece görüntülerinin gündüz görüntülerine göre farklı olmasının nedeni güneş ile ilgili bütün komplikasyonların göz ardı edilmesidir. Bunun sonucu olarak gece görüntülerinde yükseklik, aydınlatma etki yansıması ve termal girdinin yansıması yüzeyde görülecektir.

STcorr

STcorr, uydu görüntülerinin topoğrafik olarak düzeltmesini hedefleyen metotdur. Kullanılan diğer düzeltme metotları, gündüz görüntüleri için ideal olabilirken, gece termal görüntülerinde de yükseklik ve aydınlatma etki yansıması olabilir. STcorr, gece kızılötesi termal görüntülerindeki topoğrafik etkileri düzeltmek için görüntü tabanlı normalizasyonu gerçekleştirmek amacıyla tasarlanmıştır. Gece yüzey kinetik ısı görüntüsünü, sayısal arazi modelini, bakı görüntüsünü ve eğim görüntüsünü kullanarak, yüzey sıcaklık görüntüsünden aydınlanma etkilerini ve yüksekliğe bağlı sıcaklık değişimini ortadan kaldırmaya, yardımcı olur [24]. Esas itibariyle, STcorr gece yüzey sıcaklık termal görüntüleri düzeltmek için tasarlanmıştır. STcorr'da kullanılan yöntem, görüntü tabanlı gece termal kızılötesi görüntülerdeki eğim ve bakı etkilerini ve de yüksekliğe bağlı değişimi düzelten 3 aşamalı yarı empirik bir yöntemdir [24]. İlk adımda SAM ve yüzey kinetik ısı görüntüsü kullanılarak yüksekliğe bağlı sıcaklık değişimi elde edilmektedir. Bu görüntü, yüzey sıcaklığı ve yüksekliği arasındaki ilişkiye göre sıcaklık değişimini temsil etmektedir. Hesaplanan azalma kullanılarak görüntünün yükseklik değişim düzeltmesi yapılmaktadır [24]. Bu hesaplama prosedürü basit bir operasyondur ve

$$f(G_1) = \left(\frac{dT}{dz}\right) \times f(z) \tag{3.5}$$

$$f(C_1) = f(T) - f(G_1) \tag{3.6}$$

denklemleriyle tanımlanabilir [24].

Burada "G_1" rakımın yükselmesiyle atmosfer sıcaklığının azalma oranı, "T" yüzey kinetik sıcaklığı, "z" yükseklik, "$f(C_1)$" yükselti-düzeltilmiş görüntüdür. İkinci adım bakı düzeltmesidir. Bu düzeltme, bakının kendisi ve yükselti-düzeltilmiş yüzey sıcaklık görüntüsü arasındaki ilişki kullanılarak sağlanır. Burada f bir doğrusal fonksiyon değildir. İkinci veya üçüncü dereceden polinom eğrisi kullanılarak bakı gradyanı gösteren görüntü elde edilir. Bu gradyan görüntüsü, yüzey sıcaklık anomali görüntüsünü normalize etmede kullanılmaktadır [24]. Böylece bakı-düzeltilmiş görüntü elde edilir:

$$f(G_2) = \left(\frac{dC_1}{da}\right) \times f(a) \tag{3.7}$$

$$f(C_2) = f(C_1) - f(G_2) \tag{3.8}$$

"G_2" bakı eğimi, "a" bakı ve "$f(C_2)$" bakı-düzeltilmiş görüntüdür. Üçüncü adım yüzey eğimi düzeltmesidir. Bu adım yüzey eğimi düzeltilmiş görüntüyü oluşturmak için yüzey eğim görüntüsü ve bakı düzeltilmiş görüntüsünü kullanır. Yüzey şekillerinin eğimi ve bakı-düzeltilmiş sıcaklık anomali görüntüsü arasındaki ilişkiye bağlı bir regresyondur [24]. Bu bağıntıyı tanımlayan fonksiyon kullanılarak anomali görüntüsü normalize edilir :

$$f(G_3) = \left(\frac{dC_2}{ds}\right) \times f(s) \tag{3.9}$$

$$f(C_3) = f(C_2) - f(G_3) \tag{3.10}$$

"G_3" eğim gradyanı, "s" eğim , "$f(C_3)$" en son elde edilen eğim doğrulanmış görüntüdür [24].

3.3.5. İşlemler / Analiz

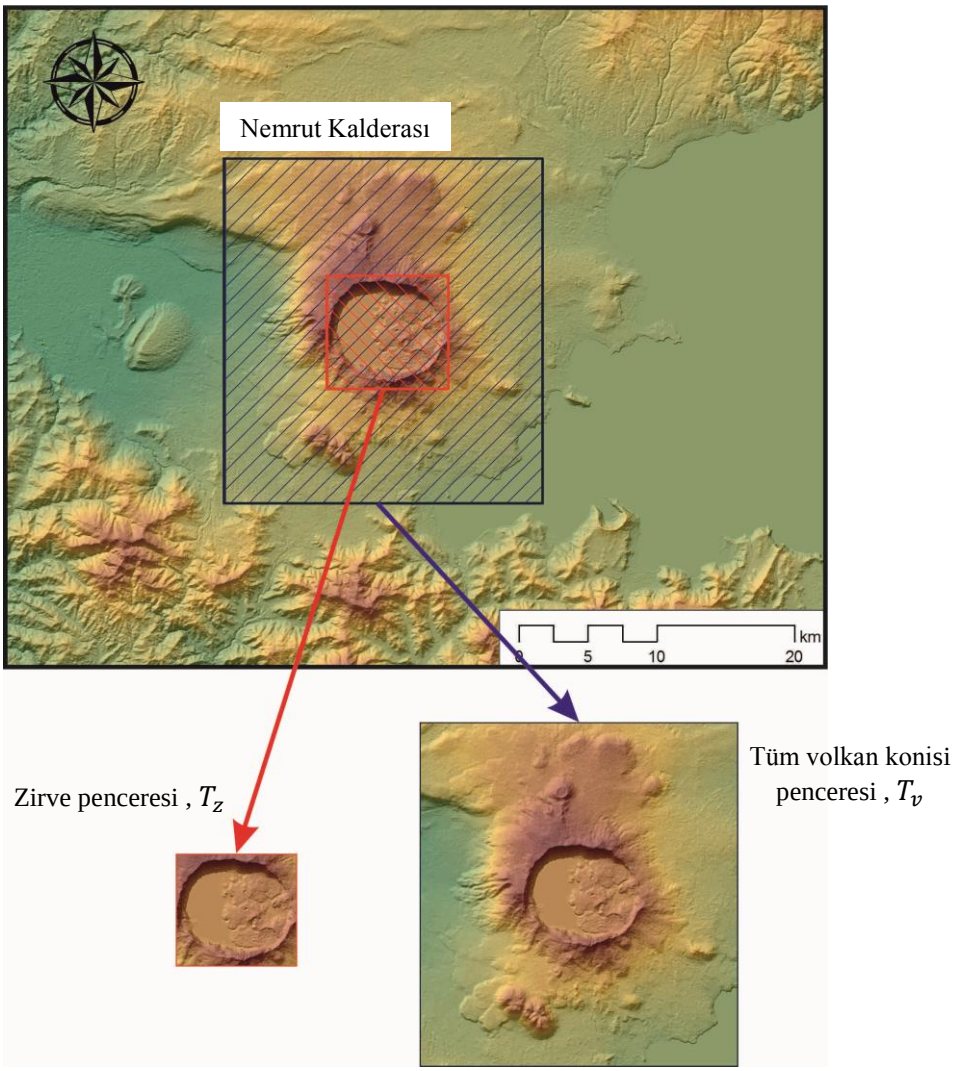
Veri hazırlama aşamaları ve kosinüs, Minnaert, STcorr düzeltmelerinden sonra gündüz ve gece yüzey sıcaklık görüntülerine pencereler arası sıcaklık farkı yöntemi (ΔT) ve STA/LTA algoritma işlemleri uygulanmıştır. Analizlerin temelini oluşturan bu iki yöntem bu bölümde açıklanmaktadır.

3.3.5.1. ΔT Sıcaklık Farkı Değeri

Zirve konisinde ölçülen en yüksek yüzey sıcaklık değeri $T_{z_{maks}}$, tüm volkan konisinde ölçülen en yüksek yüzey sıcaklık değeri $T_{v_{maks}}$ olmak üzere (Şekil 3.23),

$$\Delta T_{maks} = T_{z_{maks}} - T_{v_{maks}} \tag{3.11}$$

farkı, zirve bölgesinde gerçekleşecek anomaliler hakkında yorumda bulunmamızı sağlar.



$$T_{z_{maks}} - T_{v_{maks}} = \Delta T_{maks}$$

Şekil 3.23. Nemrut Kaldera'sı SAM görüntüsü üzerinde zirve penceresi ve tüm volkan konisini tanımlaması.

Bu hesaplama ile zirvede meydana gelebilecek sıcaklık artışları aranacaktır. Örneğin P_n, n'inci pikseli göstermek üzere, T_{P_n} bu pikselde ölçülen sıcaklık değeri olsun. Bu durumda eğer yüzeyde k tane piksel varsa tüm volkan konisi alanında ölçülen maksimum yüzey sıcaklık değeri,

$$T_{v_{maks}} = maks\left(T_{P_n}\right)_{n=1}^{k} = maks\left(T_{P_1}, T_{P_2}, \dots, T_{P_k}\right) \quad (3.12)$$

olarak alınır.

Benzer şekilde, $T_{z_{maks}}$ değeri de zirve konisi alanı için hesaplanarak, ΔT_{maks} sıcaklık farkı değeri elde edilmiş olur. Teorik olarak ΔT yöntemi sıfır değerini aldığında volkandaki maksimum sıcaklığın zirve penceresinde olduğu ifade eder. Ayrıca ortalama sıcaklık farkı değeri,

$$\Delta T_{ort} = T_{z_{ort}} - T_{v_{ort}} \tag{3.13}$$

olmak üzere,

$$T_{v_{ort}} = \frac{\sum_{n=1}^{k} T_{P_n}}{k} \tag{3.14}$$

ortalaması alınarak ve $T_{z_{ort}}$ benzer şekilde hesaplanarak, ortalama yüzey sıcaklık değeri olan ΔT_{ort} bulunur.

3.3.5.2. STA/LTA Algoritması

STA/LTA algoritması (Short Time Average/Long Time Average – Kısa Süre Ortalaması/Uzun Süre Ortalaması) sismolojide sismik verilerin analizlerinde kullanılan bir tetikleme yöntemidir. Algoritmanın amacı sismik olayları otomatik olarak ayıklayıp kayıt etmektir [82]. STA/LTA algoritması diğer genlik eşik tetikleme algoritma türlerine göre daha fazla sayıda düşük ölçekli deprem ve sarsıntı kaydedebilmektedir [82]. Aynı zamanda insan hareketi sonucu oluşmuş yanlış sarsıntıları da ayıklamaktadır [82].

Örneğin m, kısa zaman penceresindeki gün sayısını n, uzun zaman penceresindeki gün sayısını göstersin, yani $m \ll n$ olsun. T_1, T_2…,T_m, kısa zaman sürecindeki her bir gün için sıcaklık değerleri ve T_1, T_2…,T_n, uzun zaman sürecindeki her bir gün için ölçülen sıcaklık değerleri ise, kısa zaman ortalaması ve uzun zaman ortalaması sırasıyla

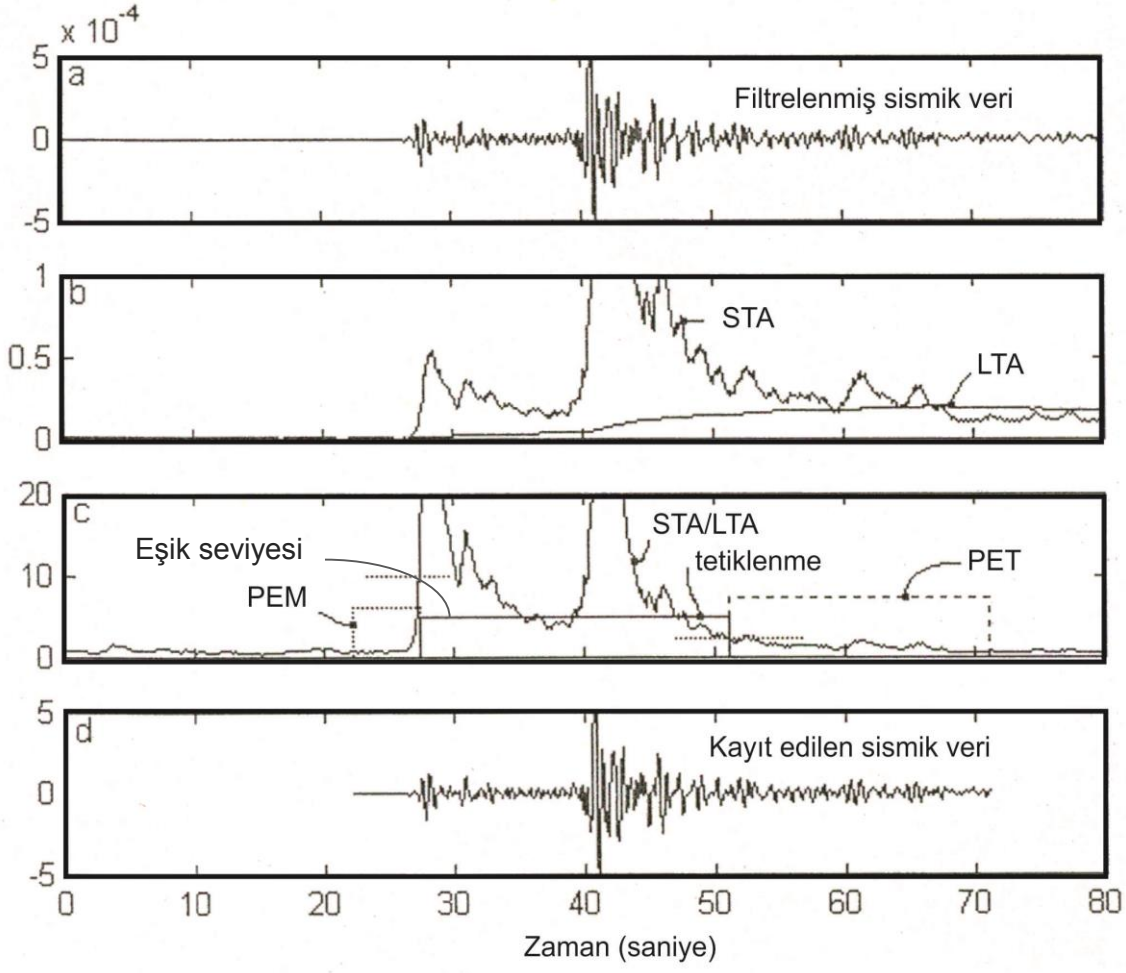
$$\text{STA} = (\sum_{k=1}^{m} T_k)/m \text{ ve LTA} = (\sum_{j=1}^{n} T_j)/n \tag{3.15}$$

olur. Böylece,

$$\text{STA/LTA} = \frac{(\sum_{k=1}^{m} T_k)/m}{(\sum_{j=1}^{n} T_j)/n} \tag{3.16}$$

istenen algoritma olur [82].

STA/LTA algoritmasının çalışmasının daha iyi anlaşılması için Şekil 3.24'te tipik bir sismik hareketin STA/LTA algoritması ile nasıl tetiklendiği gösterilmektedir [82]. Şekil 3.25a kesintisiz sismik veriyi, Şekil 3.24b STA ve LTA pencerelerinde ortalama mutlak sinyali göstermekte, Şekil 3.24c STA/LTA oranını göstermekte, ayrıca tetiklenebilir aktif durum çizgisi, olay sonrası zamanı (the post-event time – PET) ve olay öncesi zamanı (the pre-event time – PEM)(noktalı dikdörtgen) göstermektedir. Tetiklenmeme eşik seviyesi değeri 2'ye ayarlanmıştır. Buna göre STA/LTA değeri 10 eşik değerini aştığında tetiklenecektir. Şekil 3.24d gerçekte kayıt edilen sismik gürültüyü göstermektedir [82].



Şekil 3.24. Bölgesel bir hareketin STA/LTA algoritması ile yorumlanması [82].

Bu bilgiler doğrultusunda yüzey sıcaklık verilerinin de volkanlarda benzer bir davranış sergileyebileceğini söylemek mümkündür. Yüzey sıcaklık grafiklerinde monoton devam eden sıcaklardan sapma durumu, STA/LTA algoritması ile tespit edilebilir. Bu durum

çalışmamız dahilinde test edilecektir. STA/LTA algoritması ise sıcaklık değişimlerini ifade eder ve bir eşik değer kullanılmaktadır. Bu eşik değerini aşan STA/LTA değeri, o zaman aralığında sıcaklık değişiminin oluştuğunu ifade eder.

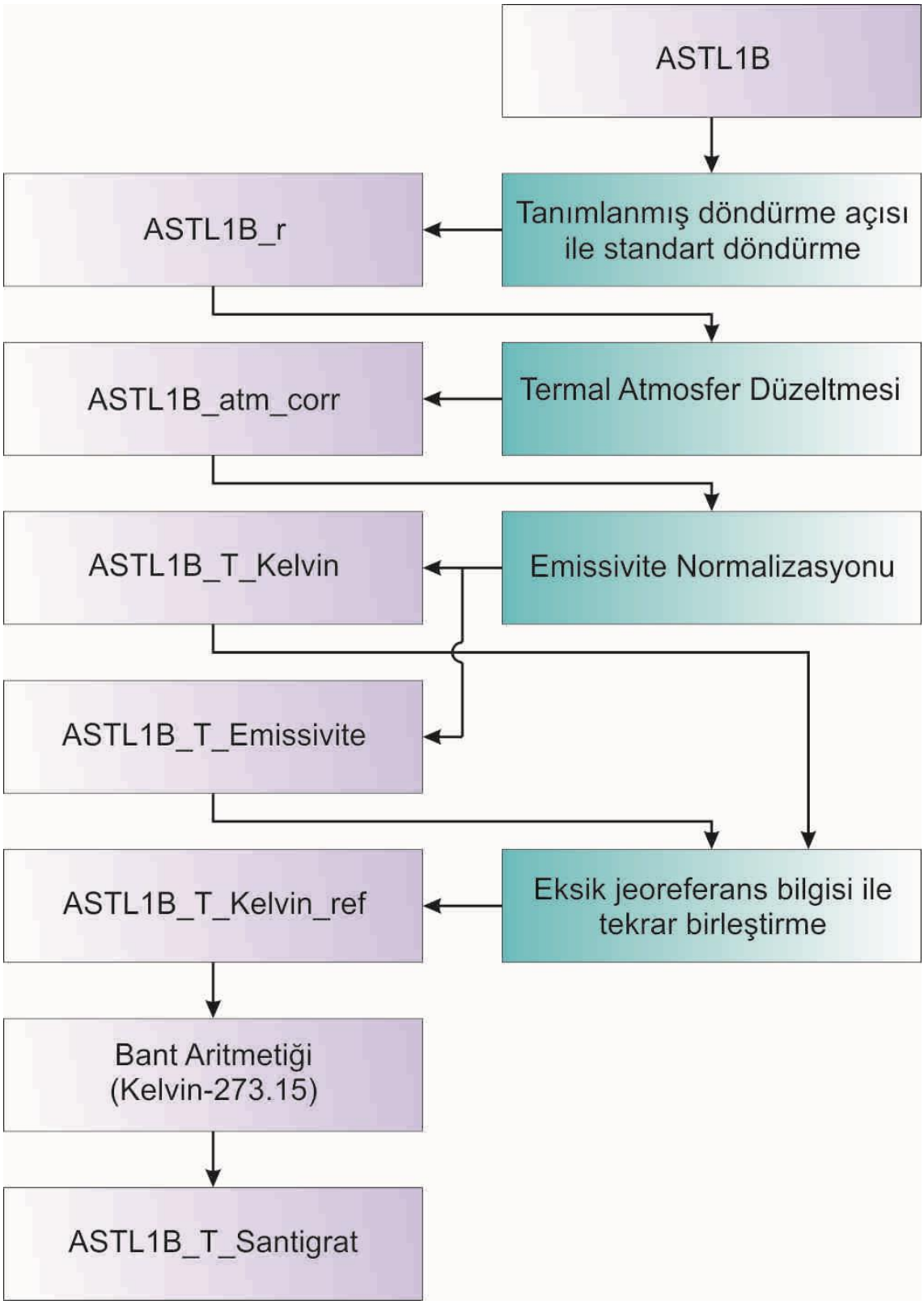
3.3.5.3. Aster Uydu Görüntülerinde Yüzey Sıcaklığı Hesabı

Ham ASTER görüntülerinde yüzey sıcaklık değerlerini hesaplayabilmek için gerekli adımlar Şekil 3.25'te gösterilmiştir.

İlk adım ham görüntünün metaverisinde bulunan görüntünün ne kadar döndürülmesi gerektiği bilgisini kullanarak görüntüyü kuzeylemektir.

İkinci adım görüntüye atmosferik düzeltme uygulanmasıdır [65, 83, 84]. Atmosfer etkilerini kaldırmak için su buharı miktarı, aerosol dağılımı ve görüntünün görünürlüğü gibi özellikler bilinmelidir. Bu atmosferik özelliklerin direk ölçümleri nadiren mevcut olması nedeniyle atmosferik bilgiyi hiperspektral ışıma verisinden elde etmeyi mümkün kılan teknikler bulunmaktadır [65, 83, 84].

Son olarak emissivite normalizasyonu, termal kızılötesi yansıma verisinden elde edilen sıcaklık değerlerini ve emissiviteyi hesaplamak için kullanılmaktadır [24, 65, 83, 84]. Normalizasyon tekniği sabit emissivite değerlerini kullanarak verideki her bir piksel ve bant için sıcaklığı hesaplar ve her bir piksel için en yüksek sıcaklık, Plank fonksiyonu kullanarak emissivite değerleri hesaplanmaktadır [24, 65, 83, 84]. Hesaplanan sıcaklık değerleri Kelvin cinsinden elde edilecektir. İsteğe bağlı olarak veri Kelvin'den santigrat dereceye dönüştürülebilir.



Şekil 3.25. ASTER uydu görüntüsünün santigrat cinsi sıcaklığa dönüştürme işlemi akış şeması.

4. BULGULAR

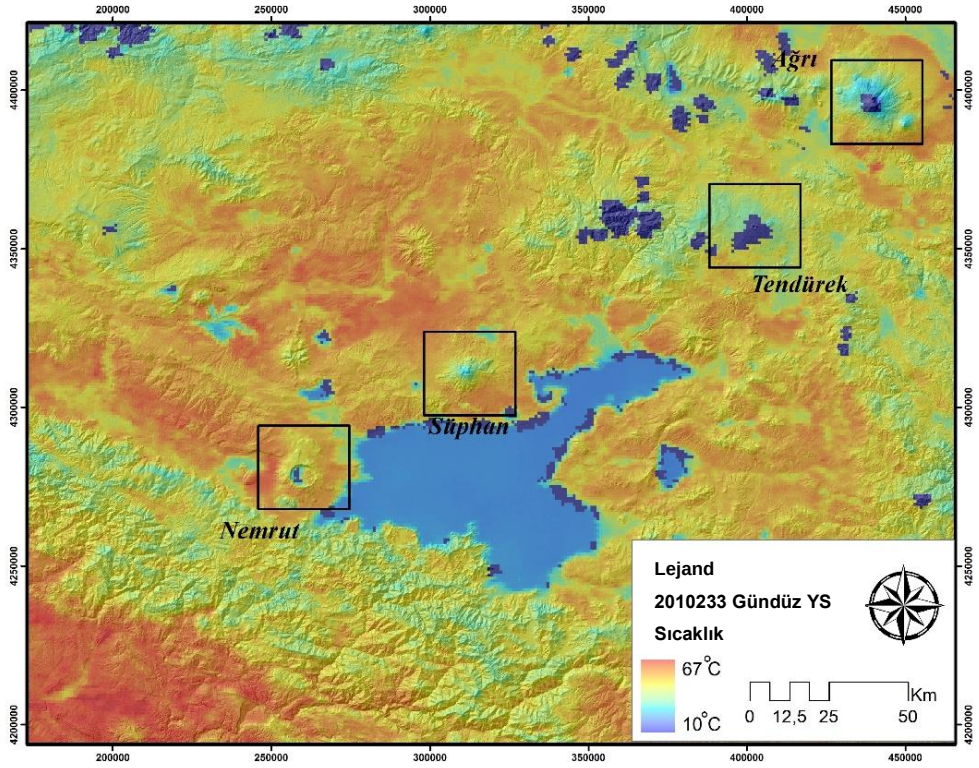
Uygulanan işlemler sonucunda 12 yıllık süreci ifade eden 230 adet ve 1 yıllık süreci ifade eden 105 adet grafik oluşturulmuştur (EK-A.1, EK-A.2, EK-A.3, EK-A.4 – 12 yıllık grafikler; EK-B.1, EK-B.2, EK-B.3, EK-B.4 – 1 yıllık grafikler). Sıcaklık verilerinin grafikleri genel olarak sinüsoidal eğriler halinde gözlenmektedir. Bu mevsimsel sıcaklık düşüşlerini ve yükselişlerini ifade etmektedir. Bu eğrilerin tekdüze halde izlediği yolun dışına çıkan bir sıcaklık verisi potansiyel anomali olarak düşünülmüş ve irdelenmiştir. Söz konusu anomalilerin analizinin sağlanabilmesi için ΔT ve STA/LTA yöntemleri kullanılmıştır.

4.1. Doğu Anadolu Volkanları

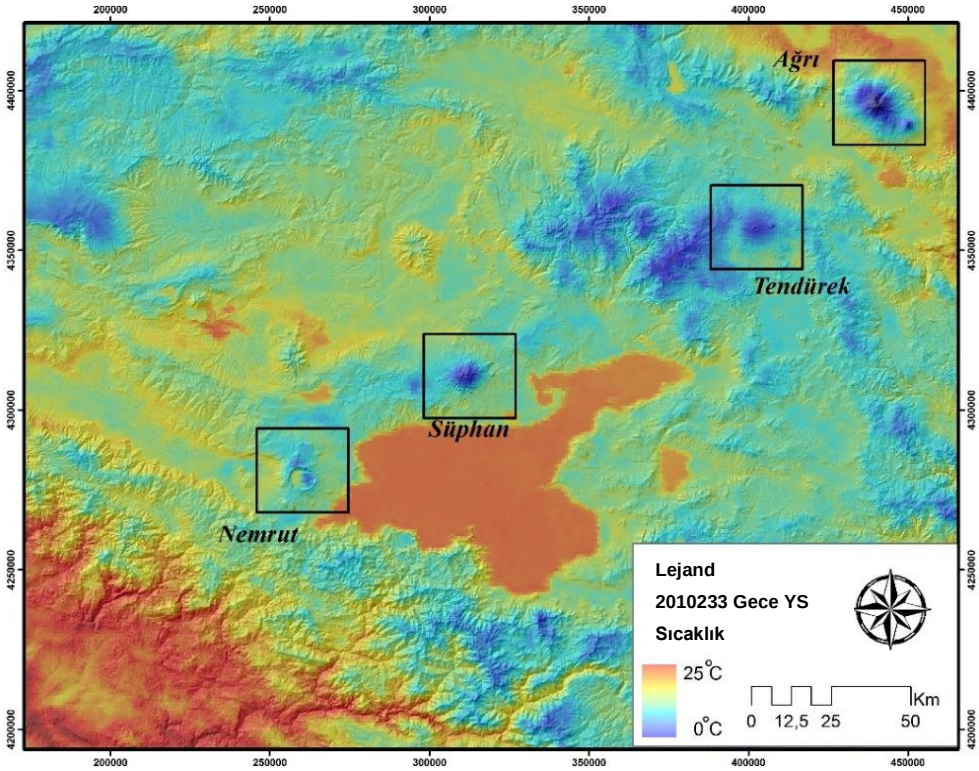
MOVAP kodu ile yapılan işlemler sonucu oluşturulan ve ayrı birer klasör olarak kaydedilen MODIS görüntüleri ile bir veri tabanı oluşturulmuştur. Bu veri seti, gündüz 8119 adet, gece 8141 adet olmak üzere, toplam 16.260 adet yüzey sıcaklık görüntüsünden oluşmaktadır. Doğu Anadolu'da bulunan volkanlar ile ilgili grafik sonuçları, 1) tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum piksel değerleri, 2) zirve penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum piksel değerleri ve 3) volkanda anomali olarak tespit edilen değerler olmak üzere her volkan için ayrı ayrı tablolar ile özetlenmiştir.

Gündüz ve geceye ait örnek MODIS yüzey sıcaklık görüntüleri Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de gösterilmektedir. 21.08.2010 tarihine ait bu iki görüntüye bakıldığında topoğrafik olarak yüksek kesimlerin daha soğuk olduğu ve göllerin (örneğin Van gölünün) etrafına göre gündüz soğuk gece ise sıcak olduğu görülmektedir. Şekil 4.1'de lacivert renklerde görülen pikseller bulutluğu göstermektedir. Bu pikseller işlemler sırasında bulut maskeleri ile gizlenmiştir (Bknz. Bölüm 3.3.3.4. Maskeleme).

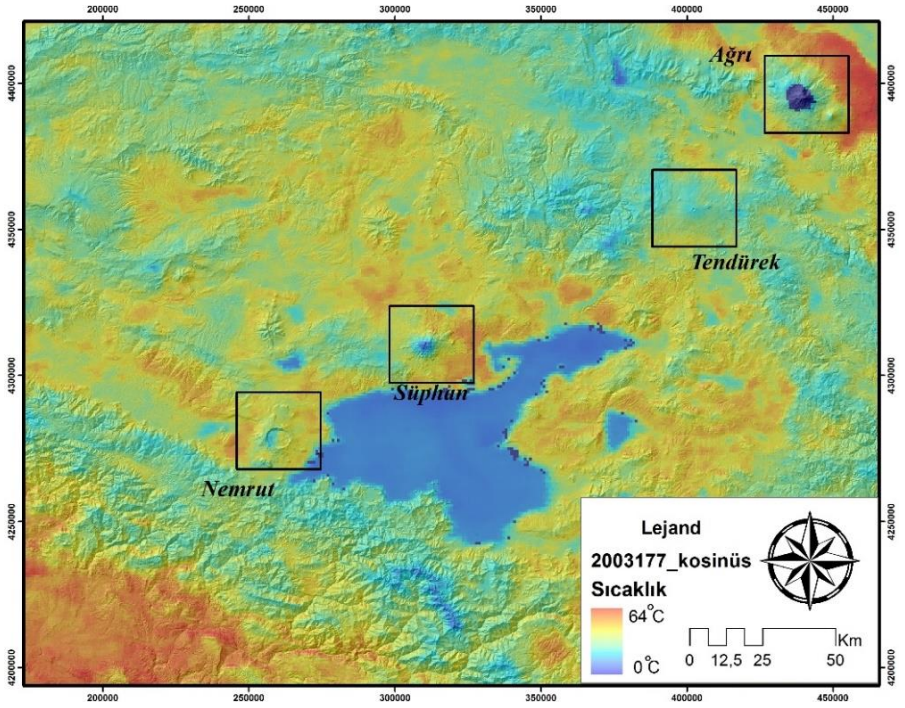
Sıcaklık görüntülerine uygulanan topoğrafik düzeltmelere örnekler Şekil 4.3, Şekil 4.4, Şekil 4.5'te sunulmaktadır. Şekil 4.3 kosinüs düzeltmesi uygulanmış gündüz görüntüsünü, Şekil 4.4 Minnaert düzeltmesiyle uygulanmış gündüz görüntüsünü ve Şekil 4.5 de STcorr düzeltmesi uygulanmış gece görüntüsünü ifade etmektedir.



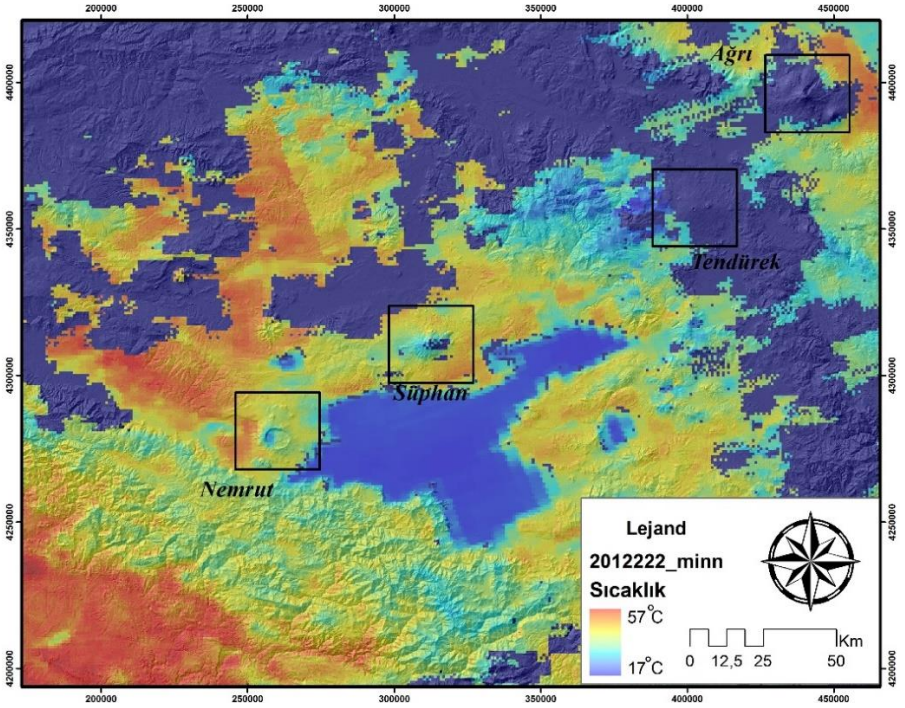
Şekil 4.1. Düzeltme uygulanmamış gündüz yüzey sıcaklık görüntüsü (21.08.2010).



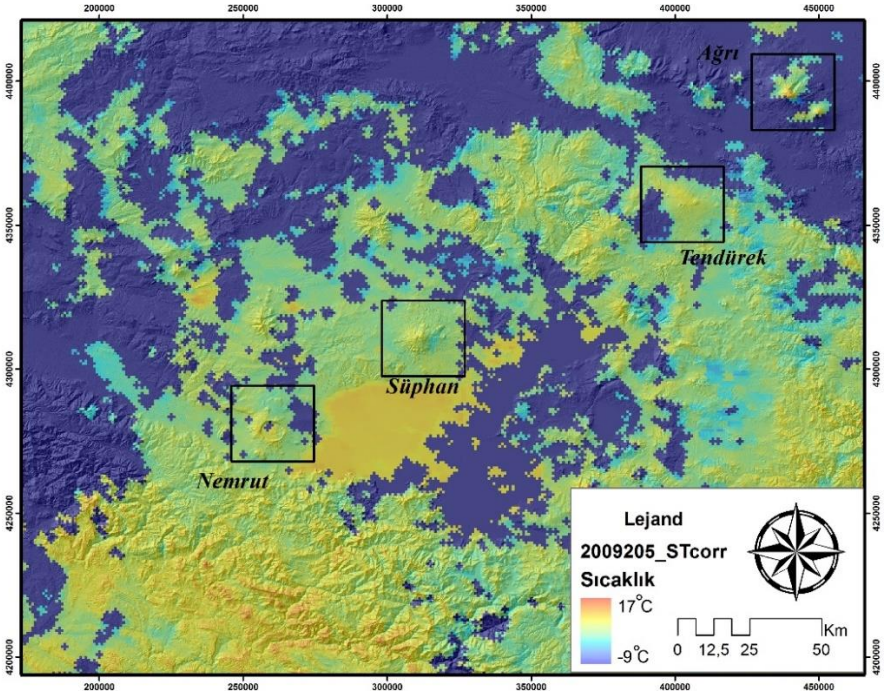
Şekil 4.2. Düzeltme uygulanmamış gece yüzey sıcaklık görüntüsü (21.08.2010).



Şekil 4.3. Kosinüs düzeltmesi uygulanan 26.07.2003 tarihli MODIS görüntüsü. Güneş, azimut açısı 207˚ ve zenit açısı 17˚'dedir. Görüntünün azimut açısı değerine bakıldığında, güneşin ışınlarının G-GB'ya bakan yamaçlarda yüksek sıcaklık değerleri vermesi beklenmelidir, oysaki kosinüs düzeltmesinin bir sonucu olarak sırtların veya yükseltilerin KD yamaçları sıcak görülmektedir. Bu sıcaklığın nedeni kosinüs düzeltmesinin bir yan etkisi olan aşırı düzeltme durumudur. Görüntüde Ağrı dağının KD yamacında bu etki oldukça belirgindir.



Şekil 4.4. Minnaert düzeltmesi uygulanan 10.08.2012 tarihli MODIS görüntüsü.



Şekil 4.5. STcorr düzeltmesi uygulanan 24.06.2009 tarihli MODIS görüntüsü.

Nemrut Kalderası, Tendürek Dağı, Süphan Dağı ve Ağrı Dağı üzerindeki analizlerimizde elde ettiğimiz sonuçlar burada özetlenmiştir. Tespit edilen anomaliler bu kısımda sunulmuştur. Anomalilerin tespitinde üç yöntem kullanılmıştır. ΔT yöntemi, STA/LTA filtresi ve ΔT-STA/LTA filtresi değerlerinin aynı zaman aralıklarına denk gelen sıcaklık değişimlerini gerçek anomali olarak düşünülmüştür. ΔT değeri "sıfır" ve STA/LTA filtrelemelerinin de eşik değeri geçmesi durumunda anomali olduğu varsayılmıştır.

Doğu Anadolu'da incelenen volkanlara ait düzeltme uygulanmamış gündüz ve gece görüntülerinden oluşturulmuş grafiklerde maksimum, ortalama ve minimum yüzey sıcaklığı değerlerinin her birinin ortalaması alınmış ve bölgedeki yüzey sıcaklığının yıllık değişimi hesaplanmıştır.

4.1.1. Nemrut Kalderası

Nemrut kalderasına ait 12 yıllık toplam 40 adet grafik üretilmiştir (EK-A.1 – Nemrut Yüzey Sıcaklığı Grafikleri). Nemrut volkanına ait tüm volkan penceresinde ve kaldera içi penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum yüzey sıcaklık değerleri Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de gösterilmektedir. Nemrut yüzey sıcaklık grafiklerinde anomali olarak düşünülen toplam 24 adet nokta tespit edilmiştir (Çizelge 4.3).

Mayıs ile Eylül ayları arasında daha sık veri alındığı diğer aylarda bölgenin hemen hemen tamamının genellikle bulutlu ve kar altında olmasının veri kayıplarına neden olduğu söylenebilir. Gece görüntülerinde kar nedeniyle kışın oluşan anomalilerin ayırt edilmesi zor olmaktadır.

Çizelge 4.1. Nemrut Kalderası'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Tüm volkan	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	62,65	26,31	62,6	60,46	29,48
Ortalama Sıcaklık	21,49	-0,01	29,74	16,33	-0,59
Minimum Sıcaklık	-32,01	-44,87	-48,54	-53,36	-31,37

Çizelge 4.2. Nemrut Kalderası'na ait kaldera içi penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Kaldera içi	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	55,45	20,43	54,2	53,06	26,26
Ortalama Sıcaklık	19,92	0,50	27,045	13,21	0,70
Minimum Sıcaklık	-22,01	-41,01	-29,11	-47,98	-28,29

Çizelge 4.3. Nemrut Kalderası'nda anomali olarak tespit edilen değerler.

Tarih	*Görüntü Zamanı*	*Düzeltme Tipi*	*Grafik Türü*	*Sıcaklık (˚C)*
10 May 2003	*Gündüz*	*Düzeltmesiz*	*Kaldera içi sıcaklık değerleri*	*39,07*
19 Ara 2006	*Gündüz*	*Düzeltmesiz*	*Kaldera içi sıcaklık değerleri*	*19,21*
29 Kas 2007	*Gündüz*	*Düzeltmesiz*	*ort. ΔT değeri*	*5,74*
25 Tem 2009	*Gündüz*	*Düzeltmesiz*	*ort. ΔT değeri*	*5,24*
13 Tem 2009	*Gündüz*	*Düzeltmesiz*	*Kaldera içi sıcaklık değerleri*	*48,99*
4 Ara 2010	*Gündüz*	*Düzeltmesiz*	*Kaldera içi sıcaklık değerleri*	*22,57*
25 Haz 2004	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,69*
6 Eyl 2004	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,65*
23 Tem 2005	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,70*
6 Tem 2007	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,79*
5 May 2009	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,54*
19 May 2010	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,48*
9 Ağu 2011	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,63*
20 Eyl 2011	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,60*
26 May 2012	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,48*
5 May 2003	*Gündüz*	*Minnaert*	*Kaldera içi maks. (STA/LTA)*	*0,38*
22 Tem 2005	*Gündüz*	*Minnaert*	*ort. ΔT değeri*	*4,04*
4 Haz 2009	*Gündüz*	*Minnaert*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,52*
25 Tem 2009	*Gündüz*	*Minnaert*	*ort. ΔT değeri*	*5,58*
8 May 2010	*Gündüz*	*Minnaert*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,45*
25 Haz 2012	*Gündüz*	*Minnaert*	*Kaldera içi maks. (STA/LTA)*	*0,57*
25 May 2007	*Gece*	*STcorr*	*Kaldera içi maks. (STA/LTA)*	*7,53*
13 Haz 2011	*Gece*	*STcorr*	*Kaldera içi maks. sıcaklık değeri*	*17,26*

4.1.2. Tendürek Dağı

Tendürek volkanına ait toplam 75 adet grafik oluşturulmuştur (EK-A.2 – Tendürek Yüzey Sıcaklığı Grafikleri). Elde edilen maksimum, ortalama ve minimum yüzey sıcaklık değerleri çizelgeler haline getirilmiştir (Çizelge 4.4, Çizelge 4.5, Çizelge 4.6). Tendürek volkanına ait yüzey sıcaklık grafiklerinde anomali olarak değerlendirilen toplam 14 adet nokta tespit edilmiştir (Çizelge 4.7).

Çizelge 4.4. Tendürek Dağı'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Tüm volkan	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	55,17	22,21	57,53	56,58	19,23
Ortalama Sıcaklık	19,69	-3,48	20,08	23,59	-1,24
Minimum Sıcaklık	-31,21	-44,45	-30,93	-49,93	-32,95

Çizelge 4.5. Tendürek Dağı'na ait batı krater penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Batı Krateri	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	45,89	14,27	48,72	43,02	16,26
Ortalama Sıcaklık	25,22	-6,82	25,17	16,51	0,2
Minimum Sıcaklık	-14,23	-40,37	-15,73	-12,59	-18,91

Çizelge 4.6. Tendürek Dağı'na ait doğu krater penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Doğu krateri	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	47,75	15,37	48,35	39,55	14,76
Ortalama Sıcaklık	25,46	-5,16	24,72	15,34	0,25
Minimum Sıcaklık	-18,81	-36,37	-15,93	-12,6	-14,73

Çizelge 4.7. Tendürek volkanında anomali olarak tespit edilen değerler.

Tarih	*Görüntü Zamanı*	*Düzeltme Tipi*	*Grafik Türü*	*Anomali Değeri*
20 Tem 2003	*Gündüz*	*Düzeltmesiz*	*Doğu krater sıcaklık değerleri*	*40,60*
19 Tem 2005	*Gündüz*	*Düzeltmesiz*	*Doğu krater sıcaklık değerleri*	*43,61*
6 Ağu 2008	*Gündüz*	*Düzeltmesiz*	*Doğu krater sıcaklık değerleri*	*43,96*
8 May 2008	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*Doğu krater maks. ΔT-STA/LTA*	*0,74*
25 Şub 2009	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*Batı krater maks. ΔT-STA/LTA*	*0,62*
8 Haz 2010	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*Batı krater maks. ΔT-STA/LTA*	*0,83*
26 Eki 2009	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*Batı krater maks. ΔT-STA/LTA*	*0,65*
22 Ağu 2003	*Gündüz*	*Minnaert*	*Batı krater maks. ΔT-STA/LTA*	*0,60*
16 Kas 2004	*Gece*	*STcorr*	*Batı krater maks. (STA/LTA)*	*17,28*
30 Eyl 2006	*Gece*	*STcorr*	*Batı krater maks. ΔT-STA/LTA*	*0,09*
8 Tem 2009	*Gece*	*STcorr*	*Batı krater maks. ΔT-STA/LTA*	*0,36*
20 Nis 2010	*Gece*	*STcorr*	*Batı krater maks (STA/LTA)*	*11,52*
20 Tem 2011	*Gece*	*STcorr*	*Doğu krater maks. ΔT-STA/LTA*	*0,24*
30 May 2012	*Gece*	*STcorr*	*Batı krater maks. ΔT-STA/LTA*	*0,17*

4.1.3. Süphan Dağı

Süphan volkanının 12 yıllık sıcaklık verileri ile 40 adet grafik oluşturulmuştur (EK-A.3 – Süphan Yüzey Sıcaklığı Grafikleri) . Süphan volkanına ait 12 yıl boyunca maksimum, ortalama ve minimum yüzey sıcaklıkları Çizelge 4.8 ve Çizelge 4.9'da gösterilmektedir. Volkan'a ait yüzey sıcaklık grafiklerinde anomali olarak değerlendirilen toplam 17 adet nokta tespit edilmiştir (Çizelge 4.10).

Çizelge 4.8. Süphan Dağı'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Tüm volkan	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	61,37	24,45	62,00	75,97	23,67
Ortalama Sıcaklık	22,12	-1,27	21,74	16,75	-1,38
Minimum Sıcaklık	-25,09	-46,09	-49,85	-57,01	-27,80

Çizelge 4.9. Süphan Dağı'na ait zirve penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Zirve	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	46,03	17,63	52,37	48,25	21,80
Ortalama Sıcaklık	22,12	-6,81	23,62	16,02	1,89
Minimum Sıcaklık	-19,81	-42,41	-49,72	-26,73	-20,78

Çizelge 4.10. Süphan volkanında anomali olarak tespit edilen değerler.

Tarih	*Görüntü Zamanı*	*Düzeltme Tipi*	*Grafik Türü*	*Anomali Değeri*
22 Eyl 2007	*Gündüz*	*Düzeltmesiz*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,64*
21 Nis 2005	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,61*
16 Eki 2008	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,65*
30 Nis 2010	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,61*
26 Nis 2011	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,71*

Çizelge 4.10'un devamı

15 Eki 2004	*Gündüz*	*Minnaert*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,30*
24 May 2007	*Gündüz*	*Minnaert*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,62*
12 Eyl 2011	*Gündüz*	*Minnaert*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,66*
7 Eki 2002	*Gece*	*STcorr*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0*
7 Eyl 2004	*Gece*	*STcorr*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,02*
29 Ağu 2007	*Gece*	*STcorr*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0*
13 Ağu 2008	*Gece*	*STcorr*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0*
29 Eyl 2008	*Gece*	*STcorr*	*zirve sıcaklıkları*	*23,25*
24 Eyl 2010	*Gece*	*STcorr*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0*
12 Haz 2011	*Gece*	*STcorr*	*zirve sıcaklıkları*	*23,78*
24 Nis 2011	*Gece*	*STcorr*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,12*
25 Ağu 2011	*Gece*	*STcorr*	*maks. ΔT-STA/LTA*	*0,21*

4.1.4. Ağrı Dağı

Ağrı volkanının 12 yıllık sıcaklık verisi ile 75 adet grafik oluşturulmuştur (EK-A.4 – Ağrı Yüzey Sıcaklık Grafikleri). Ağrı dağına ait tüm volkan penceresinde, Küçük ve Büyük Ağrı zirve pencerelerinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum yüzey sıcaklık değerleri Çizelge 4.11, Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.13'te gösterilmektedir. Ağrı volkanına ait yüzey sıcaklık grafiklerinde toplam 13 adet anomali tespit edilmiştir (Çizelge 4.14).

Çizelge 4.11. Ağrı Dağı'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Tüm volkan	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	64,43	30,55	67,35	68,09	32,79
Ortalama Sıcaklık	23,86	-0,14	25,1	28,82	-0,92
Minimum Sıcaklık	-21,53	-46,69	-49,96	-49,55	-34,70

Çizelge 4.12. Ağrı Dağı'na ait batı zirve penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Batı zirve	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	39,75	17,93	64,33	40,61	28,51
Ortalama Sıcaklık	18,40	-9,77	16,28	15,09	0,28
Minimum Sıcaklık	-21,17	-46,69	-49,69	-17,60	-26,92

Çizelge 4.13. Ağrı Dağı'na ait doğu zirve penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Doğu zirve	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	46,43	19,03	67,50	54,88	20,98
Ortalama Sıcaklık	24,73	-4,77	22,85	24,53	-0,16
Minimum Sıcaklık	-16,23	-37,75	-49,22	-24,11	-21,20

Çizelge 4.14. Ağrı volkanında anomali olarak tespit edilen değerler.

Tarih	*Görüntü Zamanı*	*Düzeltme Tipi*	*Grafik Türü*	*Anomali Değeri*
31 May 2008	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*Batı zirve maks. ΔT*	*0*
9 Tem 2008	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*Batı zirve maks. ΔT*	*0*
18 Nis 2008	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*Batı zirve maks. ΔT*	*0*
27 May 2011	*Gece*	*Düzeltmesiz*	*Batı zirve maks. ΔT-STA/LTA*	*1,52*
26 Eyl 2003	*Gündüz*	*Minnaert*	*Batı zirve maks. (STA/LTA)*	*1,08*
27 Ağu 2007	*Gündüz*	*Minnaert*	*Batı zirve maks. (STA/LTA)*	*1,03*
6 Eki 2008	*Gündüz*	*Minnaert*	*Doğu zirve ort. ΔT-STA/LTA*	*2,79*

Çizelge 4.15'ün devamı

13 Kas 2008	*Gündüz*	*Minnaert*	*Batı zirve maks. ΔT-STA/LTA*	*0,56*
29 Ara 2010	*Gündüz*	*Minnaert*	*Sıcaklık değerleri*	*59,66*
23 Kas 2004	*Gece*	*STcorr*	*Batı zirve (STA/LTA)*	*19,44*
26 Nis 2010	*Gece*	*STcorr*	*Batı zirve sıcaklık değerleri*	*17,90*
12 Haz 2011	*Gece*	*STcorr*	*Batı zirve sıcaklık değerleri*	*27,90*
11 Ara 2006	*Gece*	*STcorr*	*Batı zirve maks. (STA/LTA)*	*10,30*

4.2. Aktif Volkanlar

Dünya'da son 10 yıl içinde aktif olan volkanlardan dördüne ait MODIS görüntüleri incelenmiştir. Bu volkanlar daha önceki bölümde ele aldığımız Tengger, Semeru, Sinabung ve Nyiragongo'dur. Bu görüntülerde bilinen patlamaların öncesinde, patlama esnasında ve sonrasındaki sıcaklık değerleri grafikler haline getirilmiştir. Volkanların MODIS görüntülerine kosinüs, Minnaert ve STcorr düzeltmeleri uygulanmıştır. Kosinüs düzeltmesi uygulanmış görüntüler karşılaştırıldığında ekvatoral enlemdeki görüntülerin Doğu Anadolu görüntülerine göre aşırı düzeltmeye tabir edilen etkiye daha az maruz kaldıkları görülmüştür.

4.2.1. Tengger Kalderası

Tengger Kalderası'nın 2012 yılına ait sıcaklık verileri 40 adet grafik haline getirilmiştir (EK-B.1 – Tengger Yüzey Sıcaklığı Grafikleri). Tengger Kalderası'nda uygulanan kosinüs düzeltmesinin Doğu Anadolu bölgesinde uygulanan düzeltmeye göre daha olumlu sonuç verdiği Çizelge 4.2 ile Çizelge 4.16'da ki kosinüs sıcaklık değerlerinde görülmektedir. Kaldera içinde bulunan Bromo kraterinden halen yoğun gaz ve buhar çıkışları meydana gelmektedir. MODIS görüntülerinde kaldera içi doğu kısmının çoğu sıcak görülmektedir (Şekil 4.9c). 03.10.2012 tarihinde gerçekleşen patlamadan önce sıcaklık değerlerinde bir artış eğilimi görülmektedir. (EK-B.1a – Tengger gündüz yüzey sıcaklıkları (düzeltilmemiş) grafiği). 28.03.2012 tarihli patlamadan önceki görüntülerden bulutluluk nedeniyle herhangi bir anomali tespit edilememiştir. Tengger'e ait tüm volkan ve kaldera içi pencerelerinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum yüzey sıcaklığı değerleri Çizelge 4.15 ve Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Tengger Kalderası'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Tüm volkan	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	38,59	24,53	89,24	55,72	14,54
Ortalama Sıcaklık	20,82	9,39	18,90	24,77	-1,10
Minimum Sıcaklık	7,09	-18,89	-52,21	11,67	-12,80

Çizelge 4.17. Tengger Kalderası'na ait kaldera içi penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Kaldera içi	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	33,09	22,69	30,37	55,72	14,54
Ortalama Sıcaklık	21,16	10,63	6,00	29,66	-1,66
Minimum Sıcaklık	14,33	-6,01	-26,35	13,08	-11,52

4.2.2. Semeru Vokanı

Semeru Volkanı için toplam 40 adet grafik oluşturulmuştur (EK-B.4 – Semeru Yüzey Sıcaklığı Grafikleri). Semeru 31 Ağustos 1967 tarihinden beri aktif olan bir volkandır [4]. MODIS görüntülerinde volkanın zirvesinde sürekli olarak yüksek sıcaklık gözlenmektedir ve 2012 yılı içerisinde iki adet patlama gerçekleşmiştir [4]. Volkanın kuzeyinde bulunan gölde de yüksek sıcaklık değeri ölçülmektedir. Semeru volkanına ait tüm volkan ve zirve pencerelerinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum yüzey sıcaklığı değerleri Çizelge 4.17 ve Çizelge 4.18'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.18. Semeru Volkanı'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Tüm volkan	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	34,53	31,57	90,6	47,24	5,1
Ortalama Sıcaklık	25,55	16,66	32,52	28,05	0,82
Minimum Sıcaklık	16,27	7,81	-0,31	20,88	-11,08

Çizelge 4.19. Semeru Volkanı'na ait zirve penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Zirve	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	32,73	30,09	56,81	42,98	3,6
Ortalama Sıcaklık	26,09	17,59	34,56	29,44	-1,87
Minimum Sıcaklık	16,27	10,43	20,74	18,24	-8,74

4.2.3. Sinabung Volkanı

2013 yılı ve 2014 yılının ilk iki ayını kapsayan Sinabung volkanına ait MODIS görüntüleri incelenmiştir. Düzeltilmemiş gece görüntüleri kullanılarak 6 grafik oluşturulmuştur (EK-B.2 – Sinabung Yüzey Sıcaklığı Grafikleri). Gündüz görüntülerinden volkanın bulut altında olması nedeniyle yeterli sayıda sıcaklık verisi elde edilmemiştir. Bu nedenle gündüz görüntüleri değerlendirilememiştir. İncelenen veri setlerinde zirve, bulut, ve/veya piroklastik patlamalar nedeniyle görülememektedir. Tespit edilen anomaliler sadece volkanın güney doğu yamacı boyunca akan lavlardan ve piroklastik akıntılardan kaynaklanmaktadır. Sinabung volkanına ait tüm volkan ve zirve

pencerelerinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum yüzey sıcaklık değerleri Çizelge 4.19 ve Çizelge 4.20'de sunulmuştur.

Çizelge 4.20. Sinabung Volkanı'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Tüm volkan	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	-	24,27	-	-	-
Ortalama Sıcaklık	-	-0,38	-	-	-
Minimum Sıcaklık	-	1,03	-	-	-

Çizelge 4.21. Sinabung'a Volkanı'na ait zirve penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Zirve	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	-	23,31	-	-	-
Ortalama Sıcaklık	-	13,03	-	-	-
Minimum Sıcaklık	-	1.03	-	-	-

4.2.4. Nyiragongo Volkanı

Nyiragongo Volkanı için toplam 19 adet grafik oluşturulmuştur (EK-B.3 – Nyiragongo Yüzey Sıcaklığı Grafikleri) . Nyiragongo volkanı 2002 yılından beri sürekli aktiftir [4]. Volkanın kraterinde bulunan lav gölü açık şekilde MODIS görüntülerinde görülmektedir (Şekil 4.12). Lav gölü, 2012 yılına ait 1 yıllık MODIS görüntülerinde genel olarak bulut altında kalmıştır. Ancak bazı görüntülerde, bulut mevcut olan sıcaklık değerini engelleyemeyecek kadar etkisiz kalmaktadır. Bu değer sonuç olarak gerçek değer değildir, fakat anomali değeri olarak kabul edilebilir.

Çizelge 4.21 ve Çizelge 4.22'de verilen gece maksimum sıcaklık değerleri kraterde ölçülmüştür. Gündüz görüntülerinde az sayıda sıcaklık değeri rapor haline getirilebilmiştir, ancak bu değerler krater penceresinde yer almamaktadır. Gündüz görüntülerinde oluşan bu yetersizlik, bu görüntülere uygulanan kosinüs ve Minnaert düzeltmelerine de yansımaktadır.

Çizelge 4.22. Nyiragongo Volkanı'na ait tüm volkan penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Tüm volkan	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	40,09	49,63	88,06	42,02	39,54
Ortalama Sıcaklık	26,35	8,71	26,48	27,68	-2,06
Minimum Sıcaklık	12,19	-12,17	-15,76	-	-27,84

Çizelge 4.23. Nyiragongo Volkanı'na ait krater penceresinde ölçülen maksimum, ortalama ve minimum sıcaklık değerleri.

MODIS Yüzey Sıcaklığı (˚C) Krater	*Gündüz (Düzeltilmemiş)*	*Gece (Düzeltilmemiş)*	*Gündüz (Kosinüs)*	*Gündüz (Minnaert)*	*Gece (STcorr)*
Maksimum sıcaklık	-	49,63	-	-	39,54
Ortalama Sıcaklık	-	9,87	-	-	1,17
Minimum Sıcaklık	-	-8,87	-	-	-27,84

4.3. ASTER Yüzey Sıcaklık Görüntüleri

12 yıl içerisinde tespit edilen anomaliler için yüksek çözünürlüğe sahip ASTER görüntüleri temin edilmiştir. Bütün bölgelere ait görüntüler ve görüntülerin tarihleri Çizelge 4.23.'te gösterilmektedir.

Çizelge 4.24. İncelenen ASTER cihazı görüntüleri ve tarihleri.

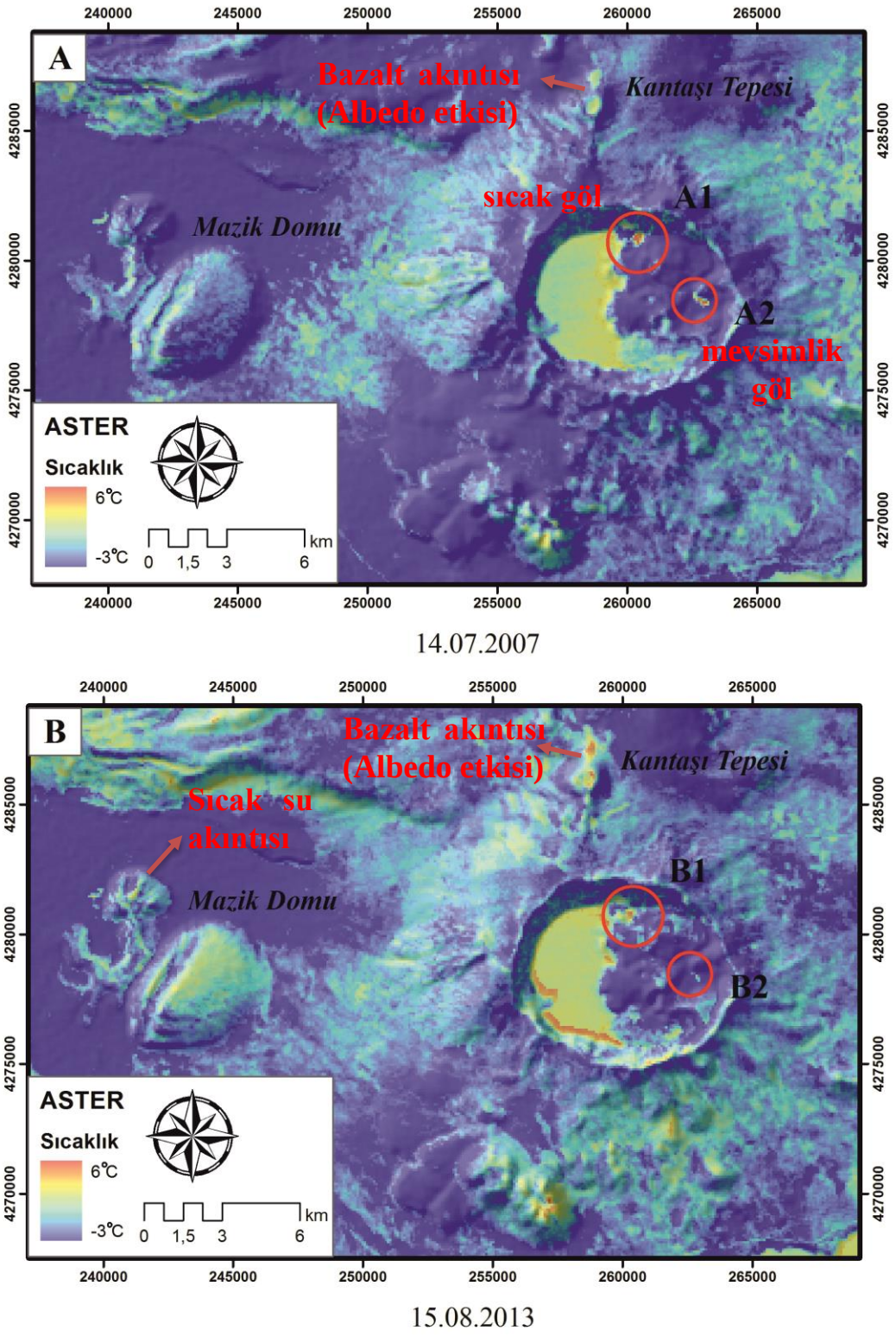
Volkan İsmi	*Gündüz Görüntüleri*	*Gece Görüntüleri*
Nemrut	*14.08.2006* *09.07.2008*	*14.07.2007* *07.08.2010* *15.08.2013*
Süphan	*25.09.2004*	
Tendürek	*11.10.2004*	*23.06.2002* *10.11.2009* *17.09.2010* *07.07.2013*
Ağrı	*25.06.2002* *11.09.2013*	*25.06.2002* *20.02.2012* *16.12.2013*
Tennger/Semeru	*26.10.2012*	*19.10.2002* *10.02.2012*
Sinabung	*10.02.2014*	*13.01.2014*

Temin edilen gündüz ve gece görüntülerini analiz ve hesaplamalarda kullanılması için her bir ASTER görüntüsünün jeoreferanslanması hatasız olarak yapılmalıdır. Bu işlemden sonra Bölüm 3.3.5.3'te anlatıldığı üzere, ASTER uydu görüntüleri santigrat dereceye çevrilmiştir. ASTER görüntülerine atmosferik düzeltme ve emissivite normalizasyonu uygulanmış ve Kelvin cinsinden yüzey sıcaklığı görüntüsü oluşturulmuştur. Kelvin–santigrat derece dönüşümü yapıldıktan sonra anomalilerin tespitinin yapılması için STcorr düzeltmesi uygulanmıştır.

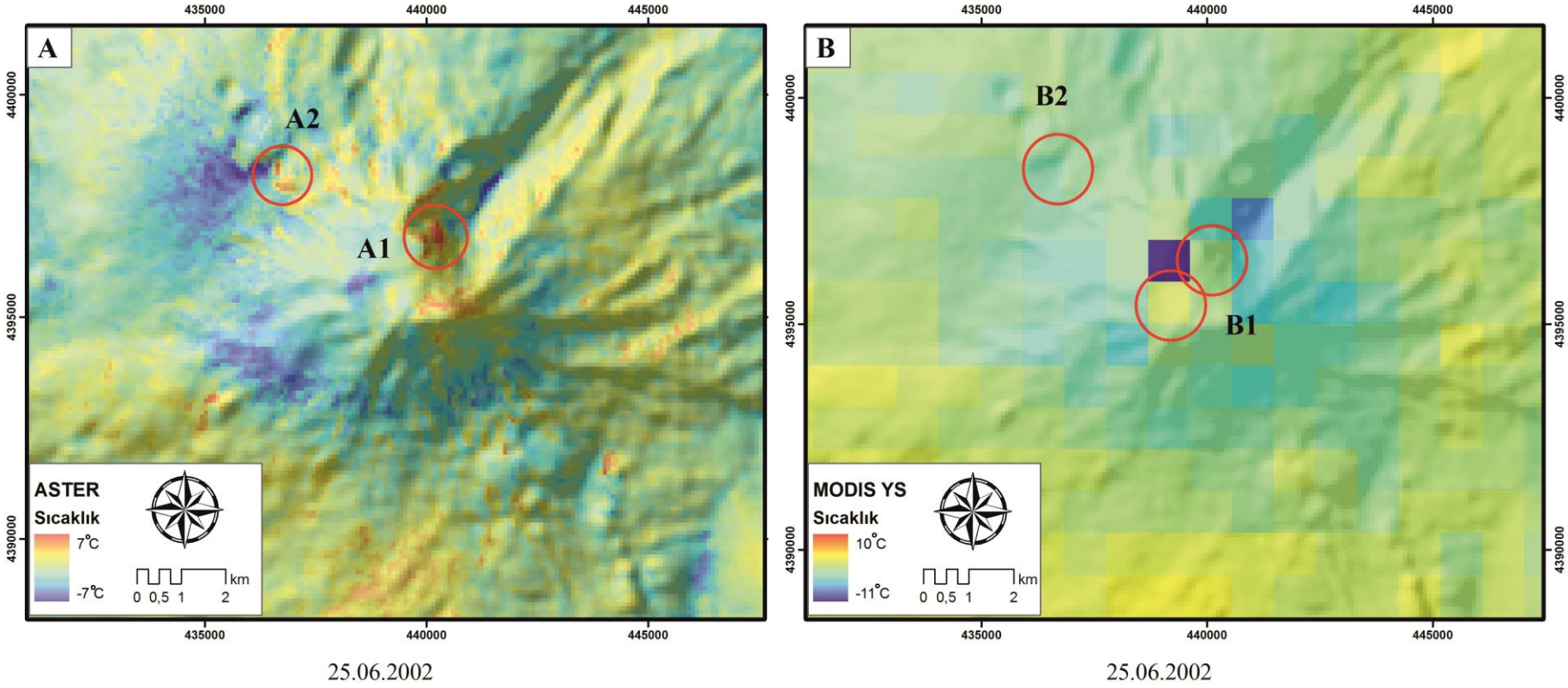
Nemrut kalderasının ASTER gece görüntülerine yapılan düzeltmeler sonucu üretilen yüzey sıcaklık görüntüsü incelenmiştir (Şekil 4.6). Kaldera içindeki sıcak alanlar/anomaliler haritalanmıştır (Şekil 4.6 A1). 14.07.2007 ve 15.08.2013 tarihli gece görüntülerinde A1 ve B1 noktalarındaki sıcak gölün (Ilığ göl) varlığı bilinmektedir. Ancak A2 ve B2 noktasındaki mevsimlik gölü incelediğimizde, bu gölün 2007 yılına göre alan olarak küçüldüğü gözlenmektedir. Bazalt akıntıları kalderanın kuzey kısmında yer alan Kantaşı Tepe etrafında anomali gibi görünmektedir. Ancak bu bölgede sıcak su çıkışı olmadığı bilinmektedir. Bölgedeki bazalt ve obsidiyen akıntıları tepe boyunca akmıştır. Albedo etkisi bu genç volkanik ürünün sıcak görünmesine neden olmaktadır [24]. Mazik

domunun kuzeybatı kenarında sıcak su kaynaklarının varlığı bilinmektedir (Şekil 4.6; [20, 24]).

Ağrı Dağı'a ait 25.06.2002 tarihli STcorr düzeltmesi uygulanan ASTER gece görüntüsü ile 25.06.2002 tarihli STcorr düzeltmesi uygulanan MODIS gece yüzey görüntülerinin arasında az da olsa verilerin tutarlı olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.7). Şekil 4.7 A ve Şekil 4.7 B'de A1-B1 lokasyon çiftlerinde işaretlenen noktalarda normalin üzerinde sıcaklık değerleri görülmektedir. Ancak ASTER görüntüsünde A2 lokasyonunda görünen sıcaklık farkı MODIS görüntüsünde B2 noktasında ayırt edilememektedir.

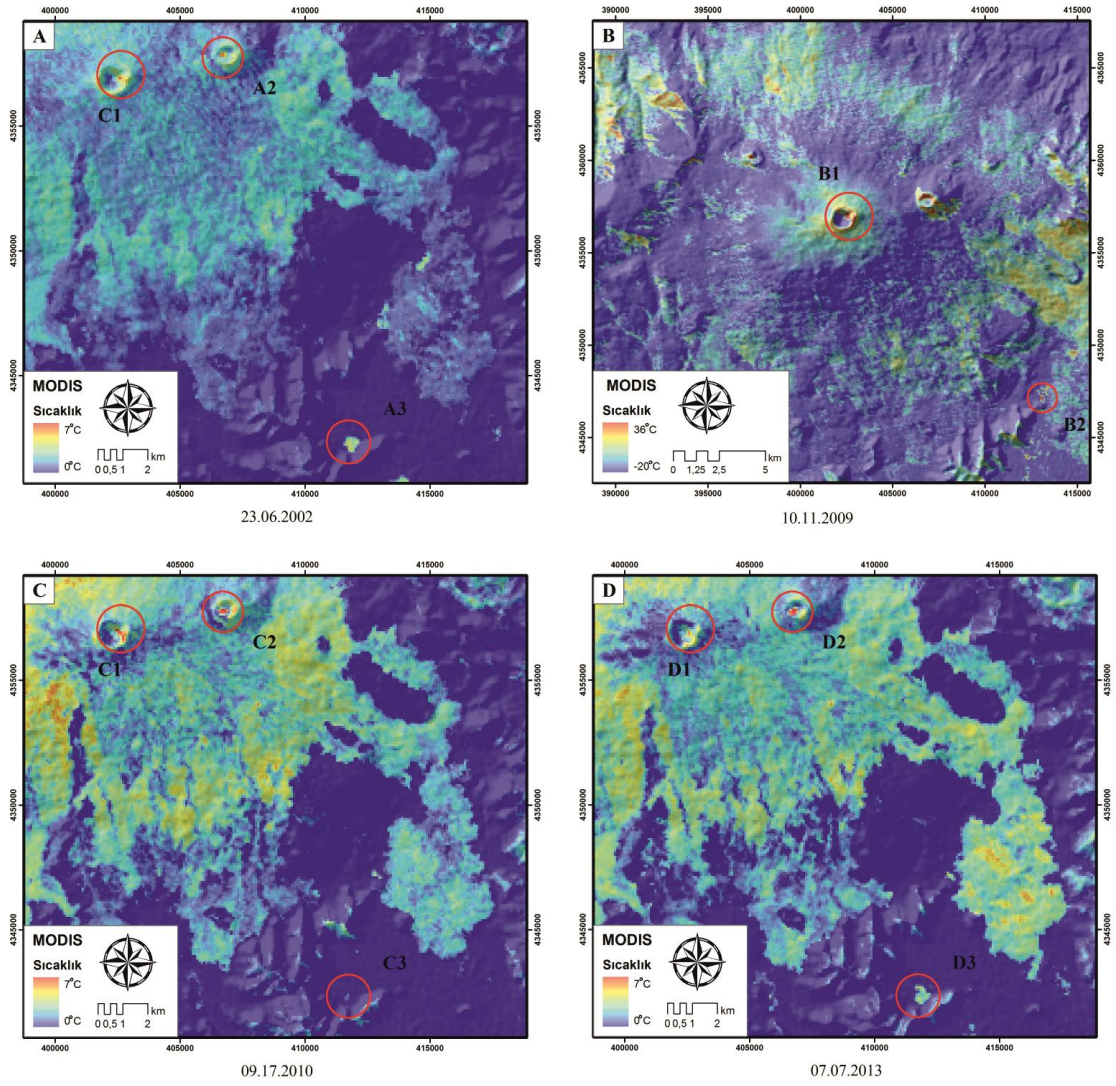


Şekil 4.6. Nemrut volkanının STcorr düzeltmesi uygulanmış gece termal görüntüleri.



Şekil 4.7. Ağrı'ya ait STcorr düzeltmesi uygulanmış yüzey kara sıcaklık görüntüleri

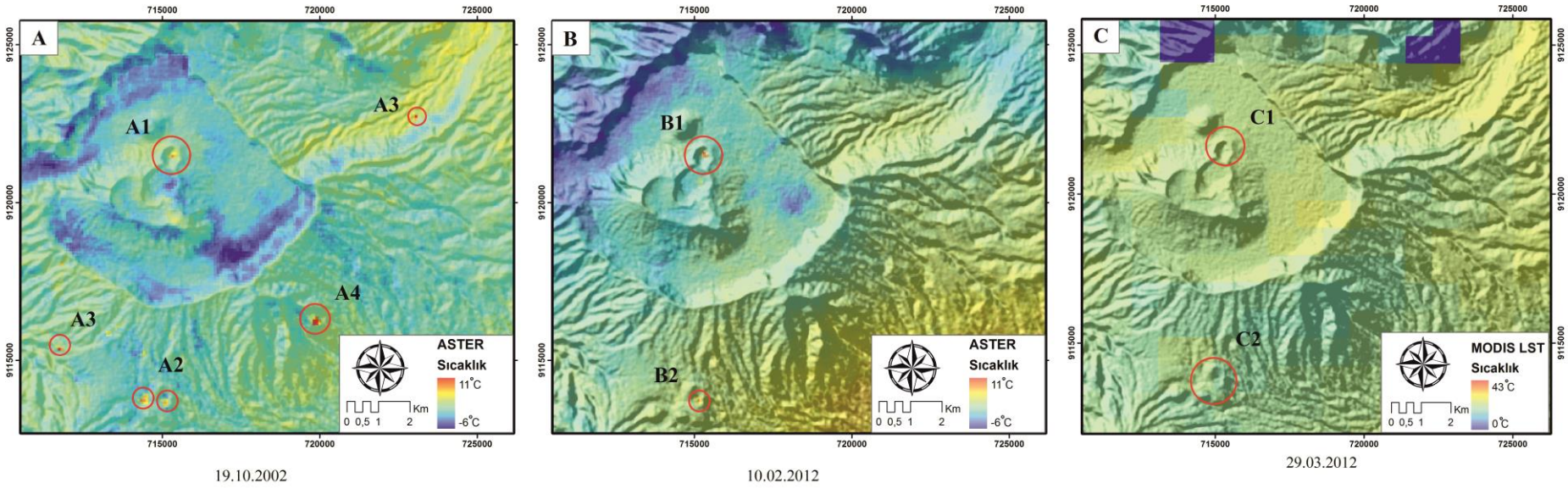
Tendürek Dağı'nın iki kraterinde de sıcaklık anomalileri tespit edilmiştir (Şekil 4.8.). Batı kraterin güney tarafında gözlenen sıcaklığın kaynağı krater gölüdür.



Şekil 4.8. Tendürek volkanının 4 farklı zamanda alınmış ASTER gece görüntüleri. Bütün görüntülere STcorr düzeltmesi uygulanmıştır.

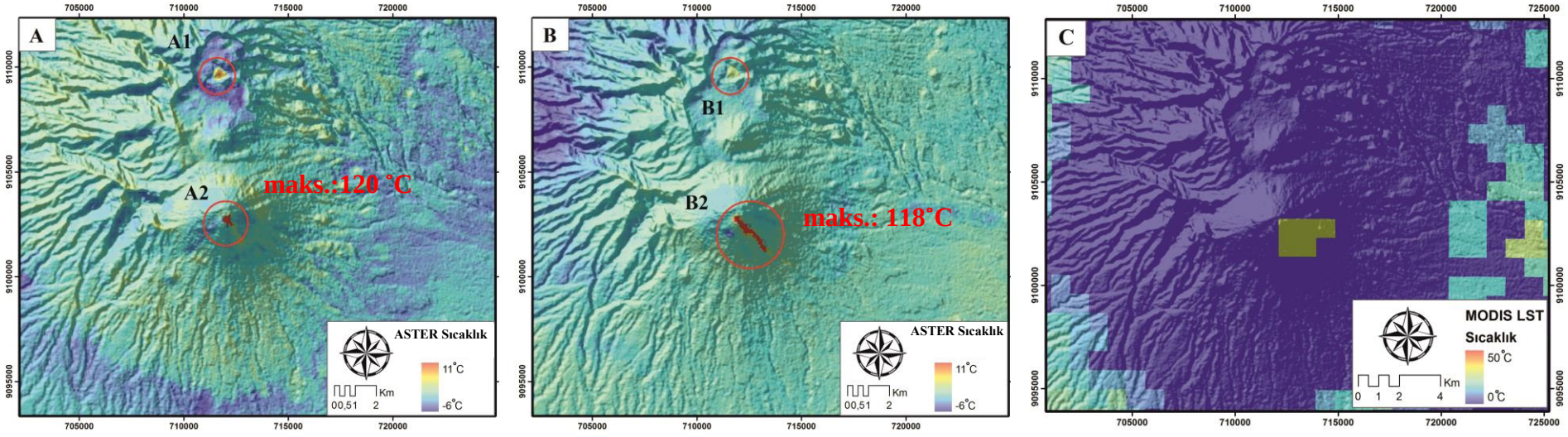
Süphan volkanı için, MODIS görüntülerinden elde edilen anomaliler dışında herhangi bir somut görüntü oluşturulamamıştır. ASTER verisinde gündüz olması ve güneş etkisi sonucu termal anomalilerin tespiti yapılamamıştır.

Tengger kalderasına ait 19.10.2002 tarihli ASTER görüntüsünde birden fazla anomali tespit edilmiştir (Şekil 4.9-A). A3 ile işaretlenen lokasyonda su birikintisi yoktur, anomalilerinin kaynağı arazi çalışmasıyla ortaya konmalıdır. A2 lokasyonunda iki küçük krater gölü olan Regulo ve Pane bulunmaktadır. 10.02.2012 tarihli görüntüde 2 adet sıcaklık tespit edilmiştir. B1 noktasındaki sıcaklık Bromo krateri içerisinden çıkan gaz bulutunun sıcaklığını yansıtmaktadır. B2 noktasında, kısmen sıcak görünen Pane gölü bulunmaktadır. MODIS gece yüzey sıcaklığı görüntüsünde (Şekil 4.9c) Bromo kraterine ait bir düşük sıcaklık verisi gözlenmektedir. Regulo ve Pane göllerinin bulunduğu bölgede ise sıcaklığın ortam sıcaklığından daha yüksek olduğu gözlenmiştir.

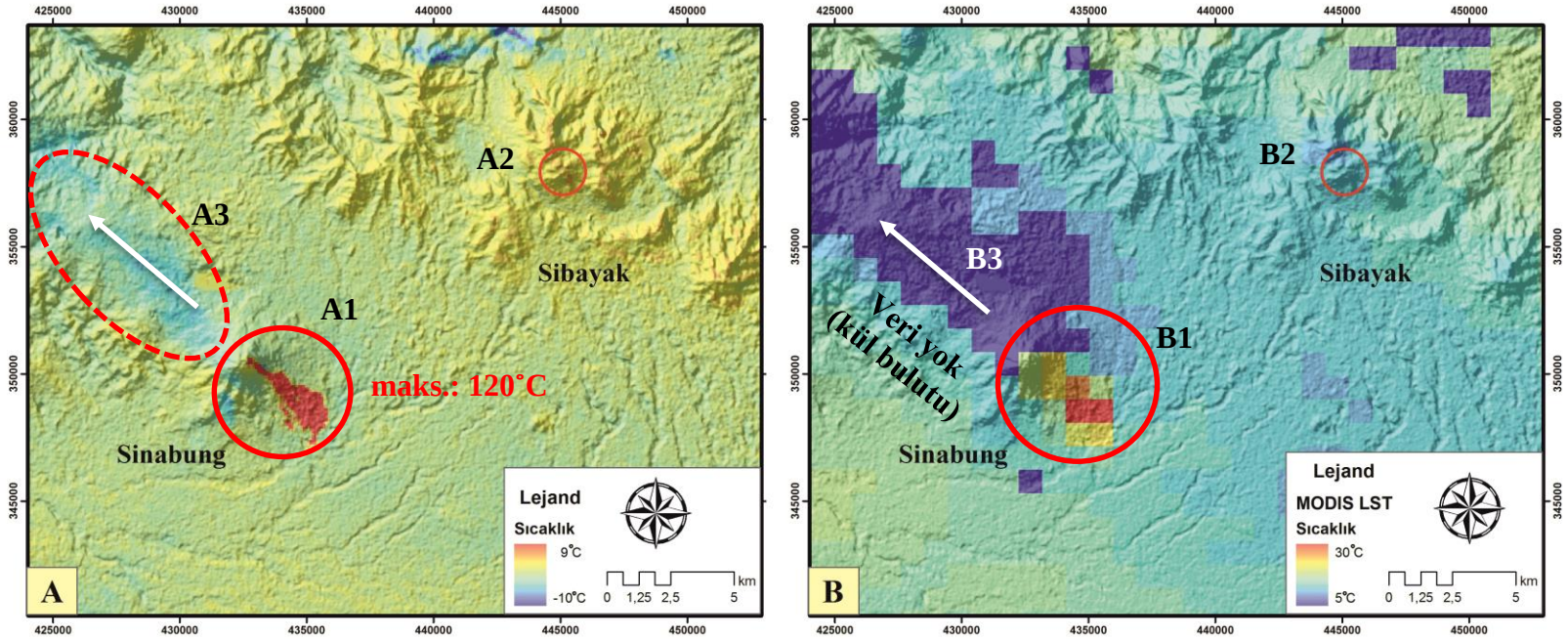


Şekil 4.9. Tengger kalderasına ait iki gece STcorr düzeltmesi uygulanmış ASTER görüntüleri (A/B), MODIS gece yüzey sıcaklık görüntüsü (C).

Semeru volkanının ASTER ve MODIS görüntüleri: ASTER görüntülerinde Semeru'nun kuzeyindeki Kumbolo krater gölü gözlenmektedir (Şekil 4.10-A1). Semeru, 31 Ağustos 1967 yılından beri bölgedeki en aktif bir volkanlardan biridir. Eylül 2002 (GVP; [4]) yılında gerçekleşen patlamadan yaklaşık bir ay sonrasında ASTER görüntüsünde kraterde lav görülmektedir (Şekil 4.10-A2). 10.02.2012 tarihinde ise lav akıntısı güneydoğu yamacı boyunca akmaktadır (Şekil 4.10-B2). MODIS gece yüzey sıcaklığı görüntüsünde, Kumbolo krater gölü bulut altında olduğundan izlenememektedir ancak havanın bulutlu olmasına rağmen Semeru volkanın zirvesindeki termal çıktı gözlenebilmektedir (Şekil 4.10C).



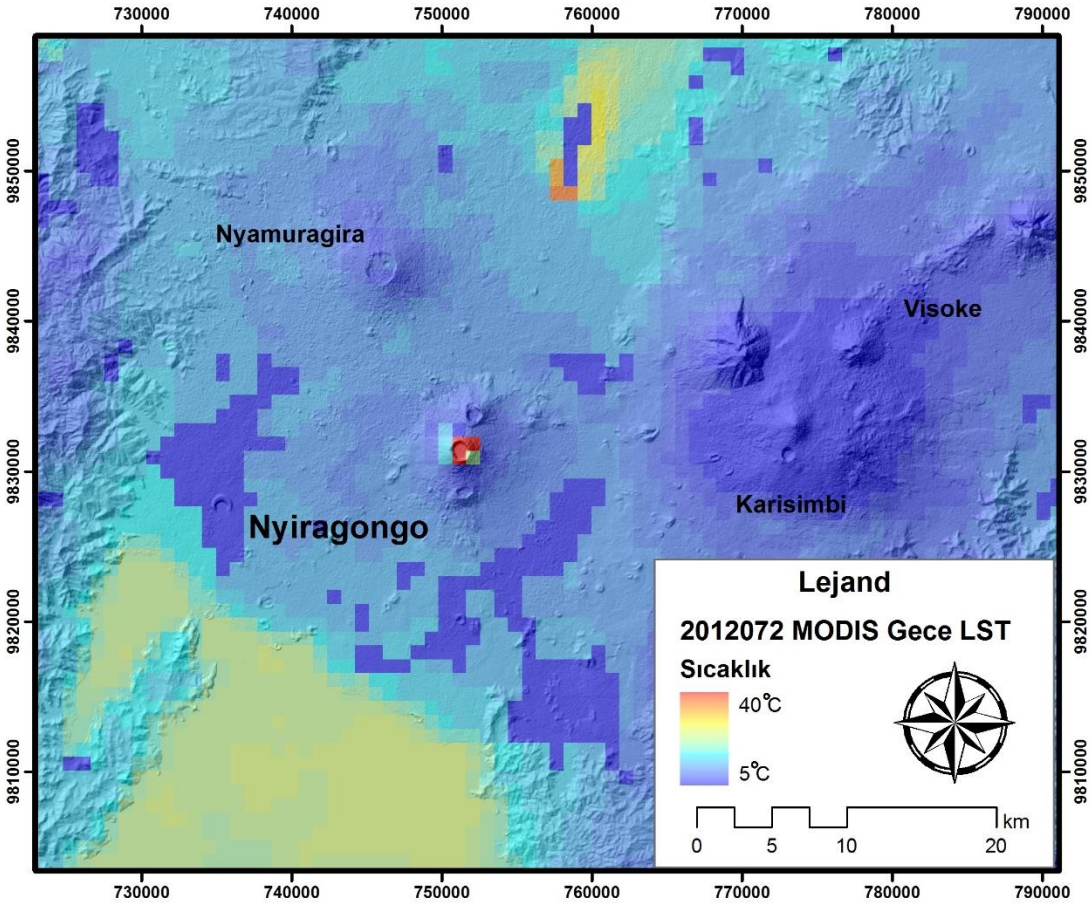
Şekil 4.10. Semeru volkanına ait iki gece STcorr düzeltmesi uygulanmış ASTER görüntüleri (A ve B) ve MODIS gece yüzey sıcaklık görüntüsü (C).



Şekil 4.11. Sinabung volkanına ait 13.01.2014 tarihli, STcorr düzeltmesi uygulanmış ASTER görüntüsü (A) ve MODIS gece yüzey sıcaklık görüntüsü (B).

Sinabung volkanının incelendiği 01.01.2013-01.03.2014 tarihleri arasında iki patlama gerçekleşmiştir. 13.01.2014 tarihinde alınan görüntüler Şekil 4.11'de gösterilmektedir. Bu iki görüntü ASTER ve MODIS arasındaki görüntü özelliklerini ve termal yansımanın nasıl olduğunu göstermektedir. Yüksek anomali değeri her iki uydu görüntüsünde de görülmektedir. ASTER ve MODIS görüntülerinde volkanın kuzeybatısına devam eden bir bulut kütlesi gözükmektedir (Şekil 4.11 A3 ve B3). ASTER, çözünürlüğü yüksek olması nedeni ile Sibayak volkanının kraterindeki sıcak çıkışları kısmen göstermekte, ancak MODIS'te bu veriye rastlanmamaktadır (Şekil 4.11 A2 ve B2).

Nyiragongo volkanının kraterinde, 2002 yılından itibaren bir lav gölü bulunmaktadır. MOVAP programı ile 2012 yılına ait bütün MODIS görüntüleri işlemiştir. Bulutların izin verdiği ölçüde anomaliler tespit edilmiştir. Şekil 4.12'de kraterin içindeki yüksek sıcaklık görülebilir. Ayrıca Nyamuragira'nın krateri içinde düşük de olsa sıcaklık belirtisi gözlenmektedir. Nyiragongo volkanına ait ASTER görüntüsü temin edilmemiştir.



Şekil 4.12. Nyiragongo volkanına ait 12.03.2012 tarihli MODIS yüzey sıcaklık görüntüsü

5. TARTIŞMA VE YORUM

Doğu Anadolu bölgesi için MODIS uydu görüntülerinden türetilen gündüz ve gece yüzey sıcaklığı verisinden volkanik kökenli sıcaklık anomalileri saptanmaya çalışılmıştır. Bu anomaliler volkan aktivitesinin izlenebilirliğinin belirli koşullar altında gerçekleştirilebileceğini göstermektedir. Hedeflenen çalışma kapsamında söz konusu görüntülere bulut/kar maskelemesi, kosinüs, Minnaert [78] ve STcorr [24] düzeltmeleri uygulanmıştır. Düzeltilmiş veriden tüm volkan penceresi ve zirve konisi için ΔT hesaplamaları yapılmış, hesaplanan ΔT verisine ve sıcaklık verisine STA/LTA filtresi uygulanmış, yüzey sıcaklık anomalileri saptanmıştır.

5.1. MOVAP (MODIS Volkan Analiz Programı)

MOVAP yazılımının, IDL tabanında bir kod olduğundan üçüncü bölümde bahsedilmiştir. MOVAP kodu ile, kosinüs, Minnaert, STcorr düzeltmelerini bir arada gerçekleştirmek mümkündür. Bulut maskesini oluşturma, Kelvin'den santigrat dereceye dönüştürme gibi basit cebirsel işlemlerin yanı sıra, STA/LTA algoritması ve ΔT değeri hesaplamaları da bu kod ile uygulanabilir. MOVAP'ın kullandığı veri seti 1 km çözünürlüğe sahip MOD11A1 (TERRA) ve MYD11A1 (AQUA) yüzey sıcaklık görüntüleridir. Yüzey sıcaklık görüntülerinde bulutlu pikselleri maskeleyebilmesi için 1 km çözünürlüklü görüntüye de ihtiyaç vardır. Bu gereksinim MOD09GA ve MYD09GA veri setindeki 1 km çözünürlüklü yansıma durum verisi görüntüsü (Reflectance State Data) görüntüsü ile karşılanmıştır (Şekil 3.16b.). Bu girdi de MOVAP kodu tarafından okunabilir niteliktedir.

5.2. Düzeltme Uygulanmamış ve Düzeltilmiş Görüntüler

Bazı ana etkenlerin görüntülerin değerlendirilmesinde önemli rol oynadığı görülmüştür. Örneğin uydu görüntüsünün alındığı zaman önemli bir etkendir; gündüz ve gece alınan görüntüler kızılötesi tayfın özellikleri nedeniyle farklı sonuçlar vermektedir. Görüntünün topoğrafik düzeltmesinin yapılıp yapılmadığı da bir önemli etkendir.

Gündüz ve gece MODIS yüzey sıcaklığı görüntüleri incelendiğinde (Şekil 4.1 gündüz ve Şekil 4.2 gece görüntüleri), gündüz görüntülerinde karasal ortamdan daha düşük sıcaklık değeri veren göller/dereler/su birikintileri, gece görüntülerinde karasal ortamdan daha yüksek sıcaklık vermektedir. Volkanik kökenli sıcaklık anomalisinin tespit edilmesi

topoğrafik düzeltme uygulanmış gece görüntülerinde daha kolaydır. Bu yüzden gece görüntüleri gündüz görüntülerine kıyasla daha kullanışlıdır. Kışın yüzeyin karla kaplı olması, analiz ve yorum sırasında göz önünde bulundurulması gereken bir etkendir.

Tengger kalderasının gündüz görüntülerinde 03.10.2012 tarihinde gerçekleşen püskürmeden önce 7 hafta boyunca yüzey sıcaklığının düzenli olarak arttığı tespit edilmiştir (EK-B.1a Tengger kalderası gündüz yüzey sıcaklığı düzeltilmemiş grafiği). Yüzey sıcaklığındaki bu düzenli artışın volkanik aktiviteye bağlı olduğu düşünülmektedir.

Nemrut volkanı görüntülerine, Çizelge 4.1'de görüldüğü üzere, uygulanan kosinüs düzeltmesi maksimum, ortalama ve minimum değer aralığı ile aynı çizelgedeki Minnaert düzeltmesi değer aralığı birbirine yakın olarak ölçülmüştür. Aynı durum Tendürek volkanında da gözlenmiştir (Çizelge 4.3). Gözlenilen sıcaklık aralıkları benzer olsa da kosinüs düzeltmesinin güneş görmeyen ya da güneşi daha az gören yamaçlarda "aşırı düzeltme" yaptığı bilinmektedir [73, 74, 75].

Minnaert düzeltmesi uygulanan gündüz yüzey sıcaklığı görüntülerinde Nemrut'ta 6, Süphan'da 3, Tendürek'te 1, Ağrı'da 5 kez normalin dışında olduğu düşünülen sıcaklık değerleri tespit edilmiştir (Çizelge 4.3, Çizelge 4.7, Çizelge 4.10, Çizelge 4.14). Bu sonuç Minnaert düzeltmesi ile de MODIS görüntülerinde düşük sıcaklıklı anomali tespiti yapılabildiğini göstermektedir.

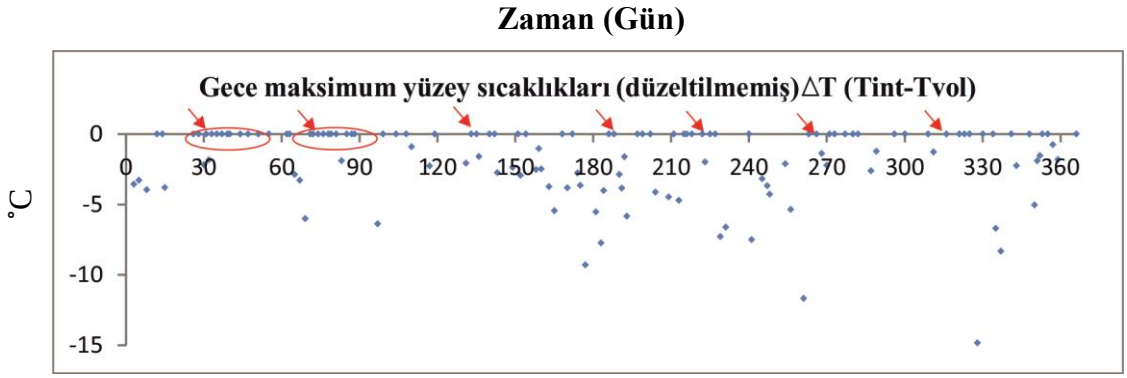
STcorr düzeltmesi uygulanan gece görüntüleri ile Nemrut'ta 4, Tendürek'te 6, Süphan'a 10, Ağrı'da 4 kez termal anomali tespit edilmiştir. STcorr sonuçlarının kosinüs ve Minnaert düzeltmelerine göre daha fazla anomali tespitinde bulunduğu görülmektedir.

5.3. ΔT Hesaplamaları ve STA/LTA Algoritması

Pozitif ve negatif değerlerin bir arada olduğu bir veri setine STA/LTA algoritmasının uygulanması, özellikle uzun dönem ortalaması alınırken sıkıntılara yol açmaktadır. santigrat derece cinsinden sıfırın altında ve üstünde sıcaklık değerlerinin bir arada olduğu veri setlerimizde de bu sorunun üstesinden gelebilmek için hesaplamalar santigrat derece cinsinden değil, Kelvin cinsinden yapılmıştır.

ΔT değeri, STA/LTA algoritması ve ΔT değerine uygulanan STA/LTA algoritmasının yüzey anomalilerinin tespit edilmesinde kullanılabileceği görülmüştür.

ΔT değerinin sıfır olması, ölçülen maksimum yüzey sıcaklığının zirve penceresi içerisinde ölçüldüğünü ifade etmektedir ($\Delta T = \Delta T_{maks.zirve} - \Delta T_{maks.tüm\ volkan}$; Şekil 5.1). Aktif volkanların MODIS görüntülerinin incelenmesi bu olguyu daha net ortaya koymaktadır (Şekil 5.1). Grafikte, ΔT yöntemi ile anomali tespiti, aniden oluşan günlük verilerin ayıklanabilmesi açısından önemlidir. ΔT "sıfır" değerinde bir süreklilik gösteriyorsa anomali olarak nitelendirilebilir. ΔT yöntemi, çalışmada birinci analiz basamağı olanağı düşünülmelidir.

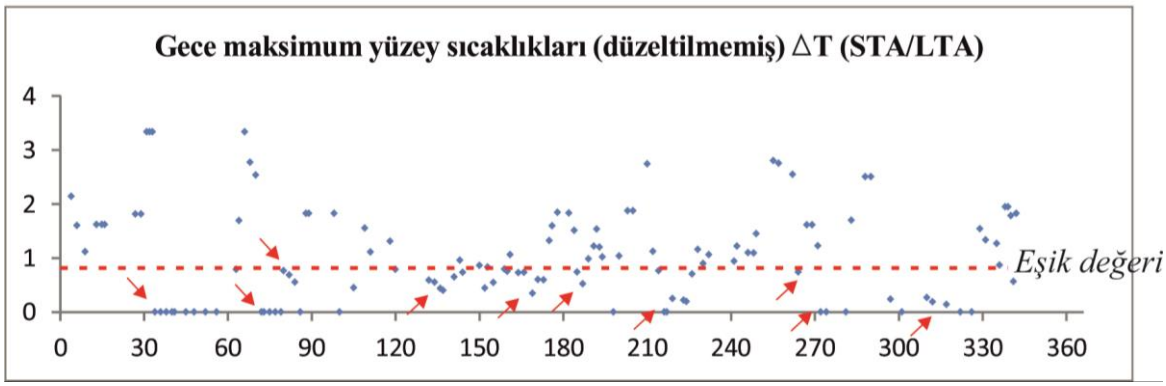


Şekil 5.1. Nyiragongo volkanının gece maksimum yüzey sıcaklığına hiçbir düzeltme yapılmamış ΔT değeri grafiği. Kırmızı okların gösterdiği veri kümelerinin içindeki her bir veri değeri "sıfır" olarak hesaplanmıştır. Bu sonuç, volkan üzerindeki maksimum sıcaklığın zirve penceresinde ölçüldüğünü göstermektedir. Noktaların devamlılığı, anomalinin sürekliliği hakkında bilgi vermektedir. 2002 yılından beri Nyiragongo volkanının kraterinde lav gölü olduğu bilinmektedir. Lav gölünün sürekli anomali olarak ölçülmesi beklenir. Ancak bulutluluk nedeniyle, grafikte anomaliler kümeler halinde veya tek tek yansımaktadır.

Düzeltme uygulanmayan Nemrut gece yüzey sıcaklık verisine ait ΔT değeri grafiğinde (EK-A.1b; Nemrut Gece Maksimum Yüzey Sıcaklıkları (düzeltilmemiş) ΔT değeri) sıfır değerinin çok fazla olması, Şekil 5.1'deki gibi bir anomalinin olduğunu göstermektedir. Kaldera içindeki göl, etrafını çevreleyen karla kaplı karaya göre daha sıcak algılandığı için bu durum ΔT grafiğinde sürekli anomaliymiş gibi görünmektedir (EK-A.1b, Nemrut gece düzeltilmemiş ΔT değeri grafiği). Bu durum gece görüntülerinde lav gölünün bulunduğu bir volkanın davranışı ile örtüşmektedir (Şekil 5.1; EK-B.3b Nyiragongo volkanı gece düzeltilmemiş ΔT değeri grafiği).

ΔT değerine uygulanan STA/LTA algoritması hesaplamalarının sonuçları sayısal olarak sıfır veya sıfırdan büyük değerlerden oluşmaktadır (Şekil 5.2). ΔT değeri sıfır olduğunda,

ΔT-STA/LTA değerlerinin de sıfıra yaklaşması beklenir. Dolayısıyla ΔT-STA/LTA değerleri için bir eşik değeri oluşturulduğunda, bu eşik değerinin altına düşen değerler anomali olarak düşünülmelidir.



Şekil 5.2. Nyiragongo Volkanı'na ait gece görüntülerinin ΔT değerine uygulanan STA/LTA algoritması sonucu.

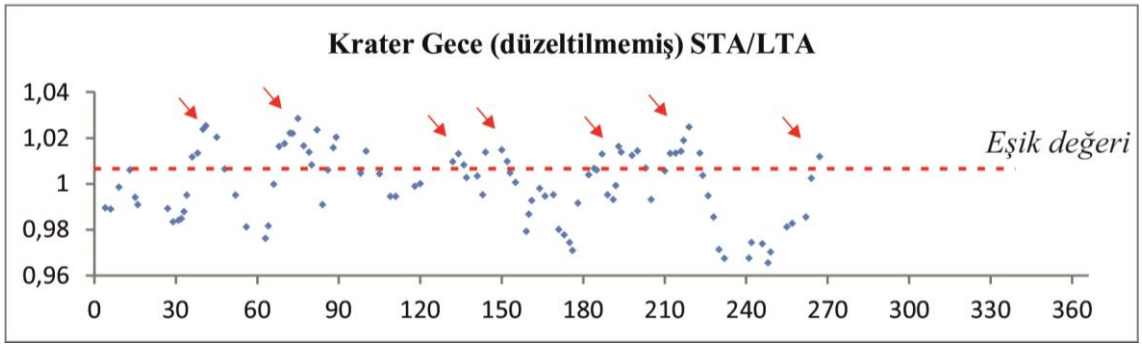
ΔT değerine uygulanan STA/LTA için eşik değer gereğinden fazla düşürülürse, düşük seviyeli anomaliler hesaplanamayabilir veya eşik değer gereğinden fazla arttırılırsa anomali dışındaki sıcaklık farklılıkları da sonuca yansıyabilir. Bu nedenle tespit edilen anomalinin doğruluğu azalabilir ya da artabilir [82]. Bu denge diğer ΔT değeri ve ΔT-STA/LTA değerleri ilişkilendirilerek belirlenebilir.

Çalışmamızda gelinen noktada ΔT-STA/LTA hesaplamaları için bir eşik seviyesi belirlenmiş değildir. Bu seviye Şekil 5.2'de gösterilen değerden daha aşağıya veya yukarıya yerleştirilebilir. Bu eşik değerinin belirlenebilmesi için aktif volkanlara ait verinin artırılması gerekmektedir. Böylece patlama tarihlerinde önceki zamana ait veri çoğaltılmış olur ve bu konuda bir genel eşik değeri oturtmak kolaylaşabilir.

Eşik değerinin belirlenmesinde bir diğer faktör STA ve LTA değerleridir. Örneğin Şekil 5.2'de verilen sonuçlar düşünülecek olursa, STA'nın kısaltılması veya LTA'nın uzatılması veya bu iki koşulun bir arada sağlanması, sonuçları değiştirecektir. Böyle bir STA/LTA tanımlaması yapıldığında değerler Şekil 5.2'deki kadar "sıfır"a yaklaşmaz. Bu durumda eşik değerinin altına düşen verinin ayıklanması kolaylaşabilir.

Zirve penceresinde ölçülen sıcaklık maksimum ve ortalama değerlerine de STA/LTA algoritması uygulanmıştır (Şekil 5.3). Hesaplanan değerin eşik değerin üzerine çıkması, krater içinde belirli bir süre devam eden sıcaklık değişimlerini göstermektedir. Klasik bir

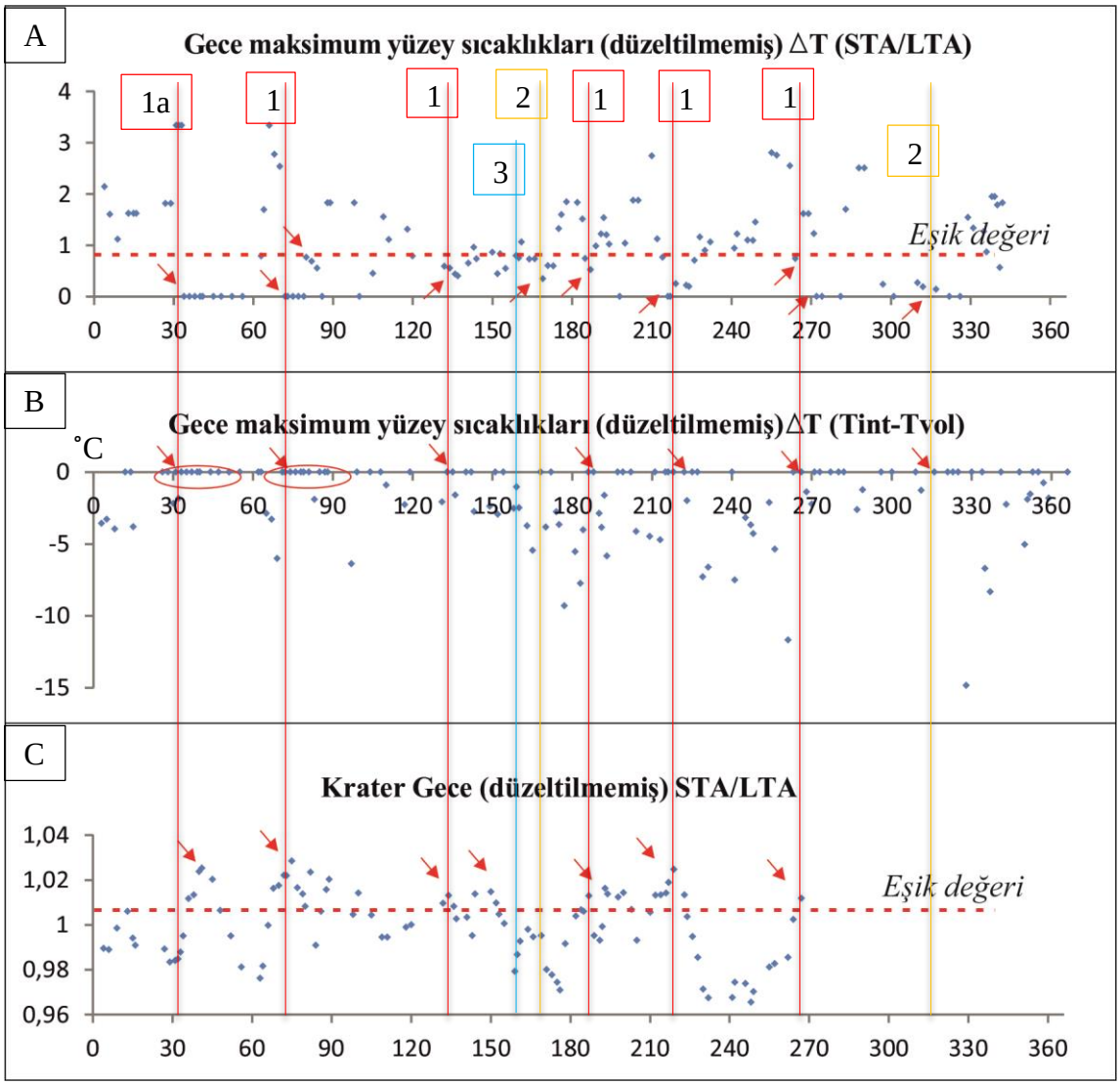
STA/LTA işleminden bekleneceği üzere belirli bir eşik değerinin üzerine çıkan değer anomali sayılır. Bu eşik değer, ΔT-STA/LTA grafiğinin aksine gereğinden fazla arttırılırsa, düşük seviyeli anomaliler hesaplanamayabilir veya eşik değer ne kadar düşürülürse anomali dışındaki sıcaklık farklılıkları da sonuca yansıyabilir.



Şekil 5.3. Gece maksimum yüzey sıcaklığına uygulanan STA/LTA grafiği. Kırmızı işaretler ile gösterilen pik değerlerinin anomali olduğu düşünülmektedir.

STA/LTA algoritması, düşük sıcaklık anomali tespiti için tek başına yeterli değildir. STA ve LTA değerleri doğru ayarlanmazsa mevsimsel sıcaklık değerleri değişimlerini de pikler halinde gösterebilir.

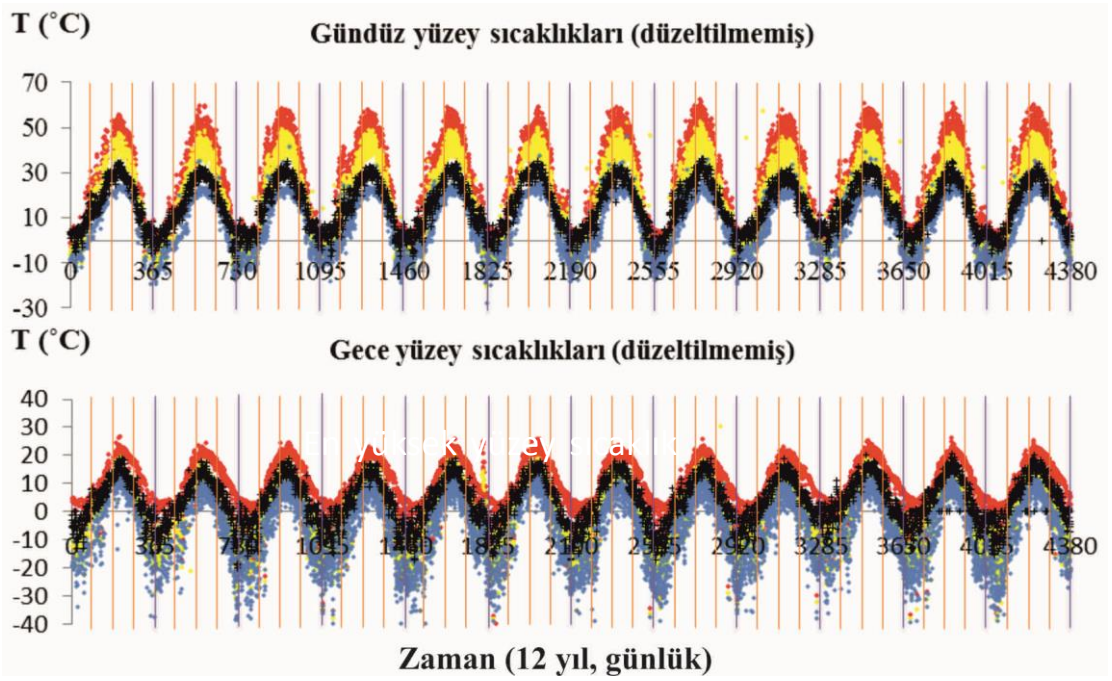
STA/LTA, ΔT ve ΔT-STA/LTA hesaplama sonuçlarından anomali olarak tespit yapabilmek için grafiklerde bu değerlerin eş zamanlı anomali piklerinin yer alması gerekmektedir (Şekil 5.4). Eğer ΔT = 0, ΔT-STA/LTA değeri düşük, zirve penceresinde ölçülen STA/LTA değeri yüksek değerler verirse, termal bir anomali tespiti gerçekleşmiş demektir. Bir önceki bulgular bölümünde sunulan gibi, anomalilerin büyük bir kısmı bu şekilde tespit edilmiştir.



Şekil 5.4. Nyiragongo Volkanı'na ait Δ*T* değeri, Δ*T*-STA/LTA, STA/LTA değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafikler. Grafik üzerinde gösterilen 1 numaralı kırmızı çizgiler üç grafikte de eş zamanlı anomali olarak görülmektedir. 1a notasyonu ile gösterilen kırmızı çizgisinde anomaliler tam olarak birbirine denk gelmese de zaman ilerledikçe aslında anomalinin devam ettiği görülmektedir. 2 numaralı sarı çizgide yüzey sıcaklık değeri, Δ*T* değeri ve Δ*T*-STA/LTA grafiklerinde eşik değerde ölçülmektedir. Ancak bu sıcaklık değeri kesin bir anomali olarak tayin edilebilmesi için STA/LTA grafiğinde de eşik değerde ölçülmesi gerekmektedir. 3 numaralı mavi çizgide ise anomali sadece Δ*T*-STA/LTA grafiğinde gözlenmektedir ve bu tayin için yeterli olmamaktadır.

5.4. Meteoroloji Verisi ile MODIS Yüzey Sıcaklıkları Arasındaki İlişki

T.C. Orman ve Su Bakanlığı Meteoroloji Genel Müdürlüğünden Nemrut, Süphan, Tendürek, Ağrı volkanları için 4 ayrı meteoroloji istasyonunun sıcaklık verileri alınmıştır. MODIS gündüz görüntüsünden hesaplanan yüzey sıcaklığı verileri ile karşılaştırıldığında, meteorolojik verinin ortalama sıcaklık ve minimum sıcaklık değerleri arasında olduğu görülmektedir. MODIS Gece yüzey sıcaklıkları ise, meteorolojinin ölçtüğü ortalama veri ile neredeyse örtüşmektedir (Şekil 5.5).



Şekil 5.5. Meteoroloji hava sıcaklık verisinin Nemrut Volkanı gündüz ve gece yüzey sıcaklığı grafiğindeki yeri.

5.5. Yüzey Sıcaklığı Verisi ile Küresel Isınma Arasındaki İlişki

Yüzey sıcaklığı ve meteorolojik yerel istasyonlardan alınan sıcaklık verisinden 12 yıllık ortalama sıcaklık doğrusu hesaplanmıştır ve 10 yıla ait sıcaklık artışları Çizelge 5.1'de verilmiştir. Bu hesaplamalar gündüz görüntüsü yüzey sıcaklıklarında en fazla

+3,265˚C/10 yıl, en az +0,878˚C/10 yıl, gece görüntüsü yüzey sıcaklıklarında en fazla +0,678˚C/10 yıl ve en az -0,022˚C/10 yıl kadar değiştiği saptanmıştır. Bu sıcaklık değişiminin küresel ısınmanın bir sonucu olduğu düşünülmüştür.

Jones vd. [85], Lawrimore vd. [86], Hansen vd [87]. Rohde vd. [88] tarafından küresel iklim değişikliği üzerine yapılan çalışmalarında 1880-2012 yılları arasındaki meteoroloji verisi ile saptadıkları değerler [89] Çizelge 5.2'de verilmiştir. Yüzey sıcaklığı görüntülerinden elde edilen değerler ile Çizelge 5.2'deki değerler karşılaştırılmıştır. Buna göre gece yüzey sıcaklığındaki değişim değerlerinin örtüştüğü görülmüştür. Ancak gündüz yüzey sıcaklığı değerleri mevcut çalışmalardan çok fazla olduğu saptanmış ve bunun tutarlı bir sonuç olmadığı düşünülmüştür.

NASA'nın küresel iklim değişikliği çalışmalarında oluşturulan Şekil 5.6'daki haritada, Doğu Anadolu bölgesine ait son 10 yıllık ortalama sıcaklığın +0,5 ila +1,0 ˚C arasında değiştiği gösterilmiştir [90].

Çizelge 5.1. Yüzey sıcaklığı ve yerel meteoroloji istasyonunda ölçülen sıcaklık değerlerinin değişimini gösteren ortalama değer denklemleri ve 10 yıllık değişim değeri.

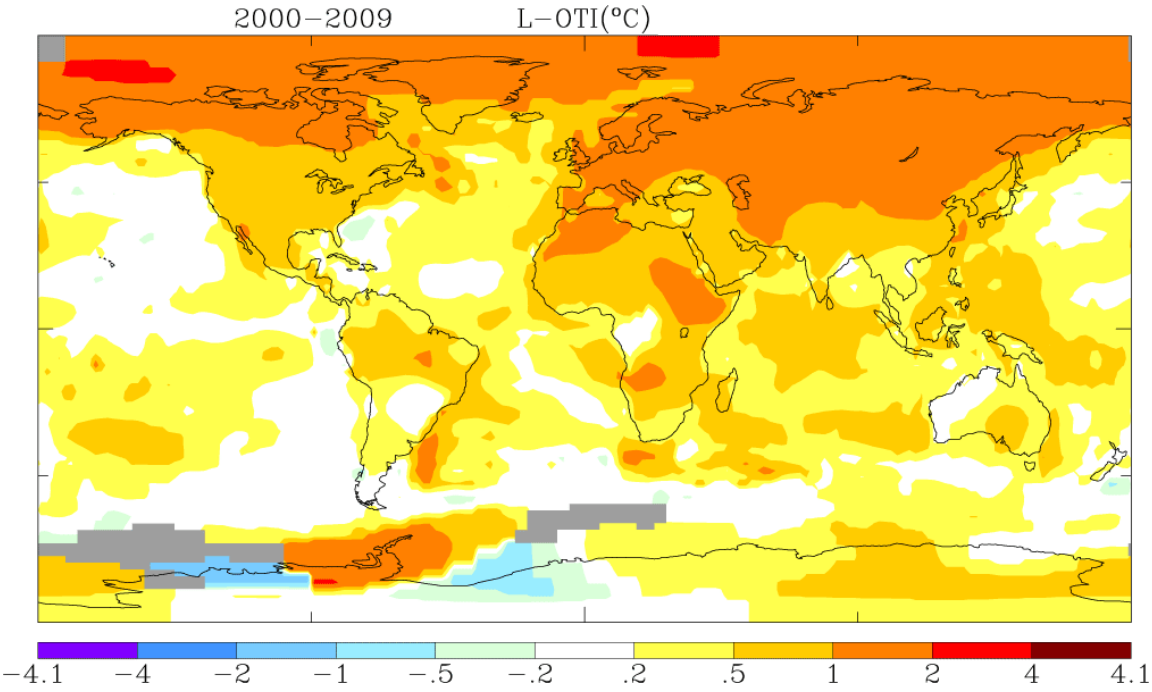
Ağrı gündüz meteoroloji sıcaklık verisi	y = -0,000069848x +15,59765	-0,255 ˚C/10 yıl
Ağrı gündüz maks. YS	y = 0,000681513x + 31,21833	+2,488 ˚C/10 yıl
Ağrı gündüz ort. YS	y = 0,000651357x + 22,34685	+2,377 ˚C/10 yıl
Ağrı gündüz min. YS	y = 0,000524317x + 9,63455	+1,914 ˚C/10 yıl
Ağrı gece meteoroloji sıcaklık verisi	y = 0,0000516254x + 3,41993	+0,188 ˚C/10 yıl
Ağrı gece maks. YS	y = 0,0000187946x + 6,84603	+0,069 ˚C/10 yıl
Ağrı gece ort. YS	y = - 0,000019922x + 6,84603	-0,073 ˚C/10 yıl
Ağrı gece min. YS	y = -0,00000597486x -14,27604	-0,022 ˚C/10 yıl
Nemrut gündüz meteoroloji sıcaklık verisi	y = 0,000157333x + 28,25216	+0,574 ˚C/10 yıl
Nemrut gündüz maks. YS	y = 0,000312614x + 28,25216	+1,141 ˚C/10 yıl
Nemrut gündüz ort. YS	y = 0,000240657x + 20,93408	+0,878 ˚C/10 yıl
Nemrut gündüz min. YS	y = 0,000428783x + 8,728	+1,565 ˚C/10 yıl

Çizelge 5.1'in devamı

Nemrut gece meteoroloji sıcaklık verisi	y = 0,000443069x + 3,17558	+1,617 ˚C/10 yıl
Nemrut gece maks. YS	y = 0,000185811x + 8,1267	+0,678 ˚C/10 yıl
Nemrut gece ort. YS	y = 0,000100166x – 0,24364	+0,366 ˚C/10 yıl
Nemrut gece min. YS	y = 0,00015577x – 6,84342	+0,569 ˚C/10 yıl
Tendürek gündüz meteoroloji sıcaklık verisi	y = 0,000329153x + 15,0062	+1,201 ˚C/10 yıl
Tendürek gündüz maks. YS	y = 0,000720281x + 2370007	+2,629 ˚C/10 yıl
Tendürek gündüz ort. YS	y = 0,00084891x + 17,73818	+3,099 ˚C/10 yıl
Tendürek gündüz min. YS	y = 0,000894423x + 10,5246	+3,265 ˚C/10 yıl
Tendürek gece meteoroloji sıcaklık verisi	y = 0,000172264x + 3,20717	+0,629 ˚C/10 yıl
Tendürek gece maks. YS	y = 0,0000785303x + 1,58721	+0,287 ˚C/10 yıl
Tendürek gece ort. YS	y = 0,0000819076x – 3,67718	+0,299 ˚C/10 yıl
Tendürek gece min. YS	y = 0,000161006x – 11,2675	+0,588 ˚C/10 yıl
Süphan gündüz meteoroloji sıcaklık verisi	y = 0,000158227x + 14,64439	+0,578 ˚C/10 yıl
Süphan gündüz maks. YS	y = 0,000462954x + 27,96628	+1,690 ˚C/10 yıl
Süphan gündüz ort. YS	y = 0,000366107x + 21,26056	+1,336 ˚C/10 yıl
Süphan gündüz min. YS	y = 0,000471628x + 9,15681	+1,721 ˚C/10 yıl
Süphan gece meteoroloji sıcaklık verisi	y = -0,00033656x +5,52432	-1,228 ˚C/10 yıl
Süphan gece maks. YS	y = 0,00013703 + 7,21055	+0,500 ˚C/10 yıl
Süphan gece ort. YS	y = 0,0000636035 – 1,42183	+0,232 ˚C/10 yıl
Süphan gece min. YS	y = 0,0000820706 – 11,5158	+0,300 ˚C/10 yıl

Çizelge 5.2. Meteorolojik veri ile 1880-2012 yılları arasındaki hesaplanan sıcaklık değişimi [89].

Veri Seti	Değişim miktarı (˚C/10 yıl)				
	1880-2012	1901-2012	1901-1950	1951-2012	1979-2012
CRUTEM4.1.1.0 [85]	0,086 ± 0,015	0,095 ± 0,020	0,097 ± 0,029	0,175 ± 0,037	0,254 ± 0,050
GHCNv3.2.0 [86]	0,094 ± 0,016	0,107 ± 0,020	0,100 ± 0,033	0,197 ± 0,031	0,273 ± 0,047
GISS [87]	0,095 ± 0,015	0,099 ± 0,020	0,098 ± 0,032	0,188 ± 0,032	0,267 ± 0,054
BERKELEY [88]	0,094 ± 0,013	0,101 ± 0,017	0,111 ± 0,034	0,175 ± 0,029	0,254 ± 0,049



Şekil 5.6. Haritada 1951-1980 ortalama sıcaklıklarına göre 10 yılda (2000-2009) santigrat cinsinden sıcaklık değişimi gösterilmektedir [90].

5.6. Öneriler

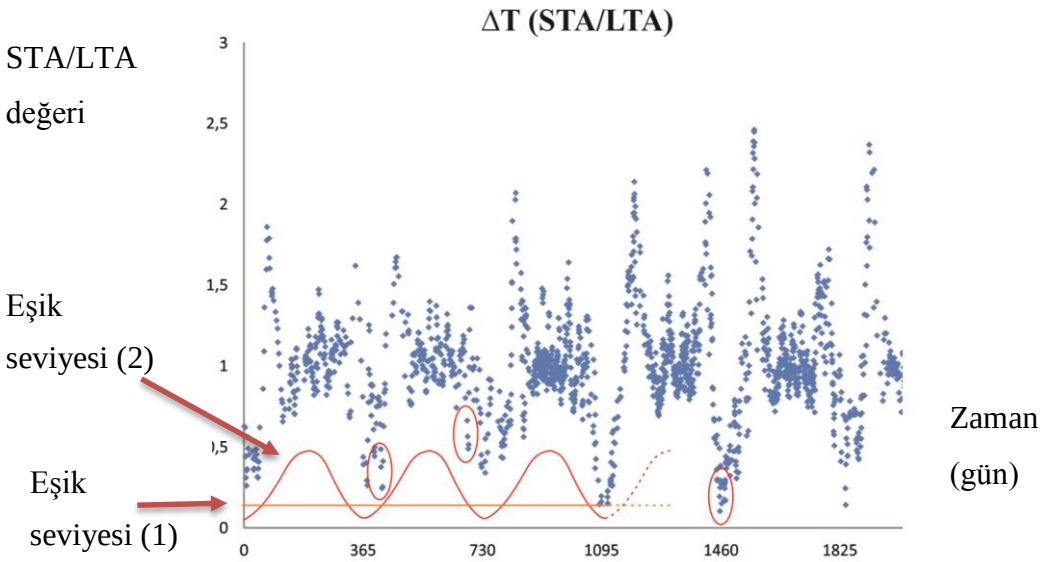
MOVAP kodu için hazırlanan görüntülerin HDF formatından TIFF formatına dönüştürülmesi 'Hegtool' programı ile yapılmakta, programın yavaşlığı nedeniyle zaman kaybı yaşanmaktadır. Bu nedenle istenen ham verinin elde edilmesinde gerekli olan işlemlerin otomatik hale getirilmesi, bundan sonraki analizlerin hızlı ve hatasız biçimde

gerçekleştirilmesini sağlayacaktır. Bu nedenle MOVAP koduna entegre bir harita projeksiyon dönüştürücünün ve gerekli olduğu anlaşılmaktadır.

Doğu Anadolu bölgesine ait gece görüntülerine yönelik kar maskesinin oluşturulması, gece görüntüleri ile yapılan analizlerin doğruluğunu arttıracaktır. Bu duruma bakarak, sonuç grafiklerinde kış aylarına ait verilerin yorumlanmasına özen gösterilmiştir.

Sonuçların ΔT değeri ve STA/LTA değerlerinin korelasyonu ile birlikte değerlendirmeye alınması, tespit edilen anomalinin doğruluğunu arttıracaktır. Çalışmada bu aşama program tarafından yapılmamıştır. Bu işlemin yapılması için gerekli eşik değerin oluşturulması, sonuca daha hızlı ulaşmamızı sağlayacaktır. Bu eşik değer, sabit bir değer veya mevsimden mevsime değişen bir değer olabilir (Şekil 5.7).

Şekil 5.2'deki ΔT-STA/LTA grafiğinde verinin "sıfır"a yaklaşması sorunu STA ve LTA'nın uzatılmasıyla çözebilir. Böylece değerler sıfıra yaklaşacak ancak sıfır değeri almayacaktır. Eşik değerinin altına düşen veri ayrıntısı artacak ve daha rahat tespit edilecektir. Bu nedenle STA ve LTA için doğru değerleri bulmak doğrudan gerçek anomalileri/patlamaları tespit etmeye olanak sağlayacaktır.



Şekil 5.7. ΔT-STA/LTA değeri grafiğinde eşik değerinin gösterilmesi. Hesaplamaların mevsimsel farklılıklar gösterdiği görülmektedir. Bu noktada STA/LTA değerine standart bir eşik değeri (Eşik değeri 1) yerine değişken bir eşik değeri (Eşik değeri 2) uygulanması veya LTA'nın uzatılması söz konusu olabilir.

6. SONUÇLAR

Yüzey sıcaklığı ile ilgili hesaplamaları ve analizleri hızlandırmak amacıyla IDL dilinde MOVAP (MODIS Volkan Analiz Programı) adı altında bir kod üretilmiştir. Bu kod, gerekli maskelemeleri; kosinüs, Minnaert, STcorr düzeltmelerini; STA/LTA ve ΔT değeri hesaplamalarını gerçekleştirebilmektedir.

MOVAP kodu ile Doğu Anadolu'daki volkanlara ait gündüz ve gece yüzey sıcaklıkları tespit edilmiştir. Bu kod ile Doğu Anadolu bölgesinde Nemrut, Tendürek, Süphan ve Ağrı dağları incelenmiştir. Maksimum gündüz ve gece sıcaklıkları Ağrı için 64,43 ^{o}C ve 30,55 ^{o}C, Nemrut için 62,65 ^{o}C ve 26,31 ^{o}C, Tendürek için 55,17 ^{o}C ve 22,21 ^{o}C, Süphan için 61,37 ^{o}C ve 24,15 ^{o}C olarak tespit edilmiştir. Nemrut, Süphan, Tendürek, Ağrı volkanlarına ait diğer sıcaklık değerleri Çizelge 4.1, Çizelge 4.4, Çizelge 4.8, Çizelge 4.11'de sunulmuştur.

Görüntüler üzerinde üç ayrı düzeltme uygulanmıştır. Gündüz görüntülerine kosinüs ve Minnaert düzeltmeleri, gece görüntülerine de STcorr düzeltmesi uygulanmıştır. Düzeltilmiş görüntüler incelendiğinde STcorr düzeltmesinin uygulandığı gece görüntülerinin anomali tespiti için en uygun görüntü seti olduğu görülmüştür.

Kosinüs düzeltmesinin güneş görmeyen yamaçlarının/bölgelerinin "aşırı düzelttiği" bilinmektedir. Ancak ekvatora yakın olan Nyiragongo, Semeru, Tengger, Sinabung volkanlarının termal görüntülerine uygulanan kosinüs düzeltmelerinin "aşırı düzeltme" etkisi yaratmadığı görülmüştür.

MODIS görüntülerinden elde edilen sıcaklık değerlerine STA/LTA algoritması, ΔT-STA/LTA algoritması ve ΔT hesaplamaları uygulanmıştır. Bu hesaplanan ΔT, STA/LTA ve ΔT-STA/LTA değerleri ile grafikler oluşturulmuş ve bu grafikler birbiriyle karşılaştırılarak incelenmiştir. Bu karşılaştırmalar sonucunda üç grafikte de aynı zaman aralığında eşik değerine ulaşan yüzey sıcaklığı değeri, anomali olarak tanımlanmıştır.

İncelenen bölgelerde yerel meteoroloji istasyonlarının ölçtüğü hava sıcaklığı değerleri ile MODIS yüzey sıcaklığı değerleri karşılaştırılmış ve termal anomali olduğu düşünülen değerler tespit edilmiştir. Bu değerler, Nemrut'ta 2003, 2006, 2009, 2011 (Çizelge 4.3); Tendürek'te 2003, 2005, 2008 (Çizelge 4.7); Süphan'da 2008, 2011 (Çizelge 4.10) ve Ağrı'da 2008 ve 2010 (Çizelge 4.14) yılları içerisinde saptanmıştır. Nemrut'ta 2011'de 2 kez, Ağrı'da 2008'de 3, 2010'da 2 kez anomali tespit edilmiştir (Çizelge 4.3; 4.14).

Minimum, maksimum ve ortalama yüzey sıcaklığı değişimini belirleyebilmek için (düzeltilmiş gündüz ve gece yüzey sıcaklığı görüntülerinden) en iyi doğrusal çakışma doğruları hesaplanmıştır (örneğin EK-A.1a. kırmızı: maksimum değereler için, yeşil: ortalama değerler için; mavi: minimum değerler için doğrular hesaplanmıştır.) Hesaplanan doğrularda sıcaklık değerleri değişiminin nedeni küresel ısınmanın bir etkisi olabileceği göz ardı edilmemelidir.

MODIS cihazının oluşturduğu yüzey sıcaklık görüntülerinin 1 km çözünürlüğe sahip olması nedeniyle, yüzeyde gerçekleşebilecek küçük ölçekli anomalilerin (gaz ve sıcak su çıkışları, küçük yüzey ölçümüne sahip sıcak göller, vb.) MODIS görüntüleri ile tespit edilmesi çok zordur.

Nyiragongo, Tengger, Semeru volkanlarının 2012 ve Sinabung volkanının 2013 yılındaki volkanik aktivitesinin sıcaklık değişime etkisi MODIS görüntüleri yardımıyla incelenmiştir. Nyiragongo ve Sinabung volkanlarının incelenen zaman aralığında iklimsel nedenlerden dolayı bulut altında olması yüzey sıcaklıklarının gözlemlenmesini zorlaştırmaktadır. 2002 yılından beri aktif olduğu bilinen Nyiragongo volkanı, bazı görüntülerde bulut altında olmasına rağmen volkanın kraterindeki lav gölü gözlenebilmektedir.

Sıcaklık anomalilerin lokasyonlarının tespiti için Doğu Anadolu bölgesine ait 6 adet gündüz ve 10 adet gece ASTER uydu görüntüsü kullanılmıştır. Gece görüntülerine sırayla termal atmosferik düzeltme, emissivite normalizasyonu ve STcorr düzeltmesi uygulanmıştır. Topoğrafik olarak düzeltilen bu görüntülerde Ağrı dağının batı zirvesinin kuzeydoğu kısmında (Şekil 4.7 A1), Tendürek dağının batı ve doğu kraterin iç kısmında (Şekil 4.8) ve Nemrut kalderasının kuzey kısmında yer alan sıcak gölde ve düşük olmak üzere kaldera içinde bazı bölgelerde saptanan anomaliler haritalanmıştır (Şekil 4.6 A1 ve A2).

7. KAYNAKLAR

1. Karakhanian, A., et al., *Holocene-historical volcanism and active faults as natural risk factors for Armenia and adjacent countries*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 113(1), 319-344, **2002**.
2. Ulusoy, İ., et al., *Structure of the Nemrut caldera (Eastern Anatolia, Turkey) and associated hydrothermal fluid circulation*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 174(4), 269-283, **2008**.
3. Szakács, A., *Redefining active volcanoes: a discussion*, Bulletin of Volcanology, 56(5), 321-325, **1994**.
4. Siebert, L. and T. Simkin, *Volcanoes of the world: An illustrated catalog of Holocene volcanoes and their* eruptions, Global Volcanism Program Digital Inf. Ser. 3, GVP, **2002**.
5. Erinç, S., *Kula ve Adala arasında genç volkan röliyefi* ,İstanb. Univ. Coğr. Enst. Derg., 9(17), 7–31, **1970**.
6. Şengör, A.M.C. and W.S.F. Kidd, *Post-Collisional Tectonics of The Turkish-Iranian Plateau and a Comparison with Tibet*, Tectonophysics, 55(3), 361-376, **1979**.
7. Dewey, J. and A.C. Şengör, *Aegean and surrounding regions: complex multiplate and continuum tectonics in a convergent zone.* Geological Society of America Bulletin, 90(1), 84-92, **1979**.
8. Şengör, A.M.C. and Y. Yılmaz, *Tethyan Evolution Of Turkey: A Plate Tectonic Approach*, Tectonophysics, 75(3), 181-241, **1981**.
9. Pearce, J., et al., *Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey.* Journal of Volcanology and Geothermal Research, 44(1), 189-229, **1990**.
10. Adiyaman, Ö., *Relations entre volcanisme et tectonique en contextes de collision et de décrochement(Turquie). Approche par analyse structurale, géochimie, imagerie spatiale, modèles numériques de terrain et systèmes d'information géographique,* PhD Thesis, Univ. of Cergy-Pontoise, Cergy-Pontoise, France, **2000**.
11. Koçyiğit, A., et al., *Neotectonics of East Anatolian Plateau (Turkey) and Lesser Caucasus: implication for transition from thrusting to strike-slip faulting.* Geodinamica Acta, 14(1), 177-195, **2001**.
12. Dhont, D. and J. Chorowicz, *Review of the neotectonics of the Eastern Turkish–Armenian Plateau by geomorphic analysis of digital elevation model imagery.* International Journal of Earth Sciences, 95(1), 34-49, **2005**.
13. Reilinger, R., et al., *GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions.* Journal of Geophysical Research: Solid Earth (1978–2012),. 111(B5), 1-26, **2006**.

14. Şengör, A.M.C., et al., *Eastern Turkish high plateau as a small Turkic-type orogen: Implications for post-collisional crust-forming processes in Turkic-type orogens.* Earth-Science Reviews, 90(1-2), 1-48, **2008**.

15. Keskin, M., *Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction-accretion complex: An alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey.* Geophysical Research Letters, 30(24), 9:1-9:4, **2003**.

16. Şen, P.A., A. Temel, and A. Gourgaud, *Petrogenetic modelling of Quaternary post-collisional volcanism: a case study of central and eastern Anatolia.* Geological Magazine, 141(01), 81-98, **2004**.

17. Çubukçu, H.E., et al., *Mt. Nemrut volcano (Eastern Turkey): Temporal petrological evolution.* Journal of Volcanology and Geothermal Research, 209-210, 33-60, **2012**.

18. Innocenti, F., et al., *Evolution of the volcanism in the area of interaction between the Arabian, Anatolian and Iranian plates (Lake Van, Eastern Turkey).* Journal of Volcanology and Geothermal Research, 1(2), 103-112, **1976**.

19. Sanver, M., *A palaeomagnetic study of Quaternary volcanic rocks from Turkey.* Physics of the Earth and Planetary Interiors, 1(6), 403-421, **1968**.

20. Atasoy, E., N. Terzioğlu, and H. Mumcuoğlu, *Nemrut volkanı jeolojisi ve jeotermal olanakları.* TPAO Research group Report, **1988**.

21. Yılmaz, Y., Y. Güner, and F. Şaroğlu, *Geology of the Quaternary volcanic centres of the East Anatolia.* Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85(1), 173-210, **1998**.

22. Aydar, E., et al., *Morphological analysis of active Mount Nemrut stratovolcano, eastern Turkey: evidences and possible impact areas of future eruption.* Journal of volcanology and geothermal research, 123(3), 301-312, **2003**.

23. Ulusoy, İ., et al., *Volcanological evolution and caldera forming eruptions of Mt. Nemrut (Eastern Turkey).* Journal of Volcanology and Geothermal Research, 245-246, 21-39, **2012**.

24. Ulusoy, İ., P. Labazuy, and E. Aydar, *STcorr: An IDL code for image based normalization of lapse rate and illumination effects on nighttime TIR imagery.* Computers & Geosciences, 43, 63-72, **2012**.

25. Wright, R., et al., *"Automated volcanic eruption detection using MODIS."*, Remote sensing of environment, 82(1), 135-155, **2002**.

26. Novak, M.A.M., et al., *Volcanic emissions from Popocatépetl volcano, Mexico, quantified using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) infrared data: A case study of the December 2000–January 2001 emissions.* Journal of Volcanology and Geothermal Research, 170(1-2), 76-85, **2008**.

27. van Manen, S.M., et al., *Apparent tidal influence on magmatic activity at Oldoinyo Lengai volcano, Tanzania, as observed in Moderate resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) data*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 189(1), 151-157, **2010**.

28. Coppola, D., et al., *Lava discharge rate and effusive pattern at Piton de la Fournaise from MODIS data.* Journal of Volcanology and Geothermal Research, 184(1), 174-192, **2009**.

29. Coppola, D., et al., *Radiative heat power at Stromboli volcano during 2000–2011: Twelve years of MODIS observations*, Journal of Volcanology and Geothermal Research, 215, 48-60, **2012**.

30. Murphy, S.W., et al., *MODIS and ASTER synergy for characterizing thermal volcanic activity*, Remote Sensing of Environment, 131, 195-205, **2013**.

31. Noguchi, T., et al., *Detection of thermal changes possibly associated with volcanic activity and discrimination of faint changes from MODIS.* Journal of Asian Earth Sciences, 41(4-5), 467-475, **2011**.

32. Vaughan, R.G., et al., *Use of ASTER and MODIS thermal infrared data to quantify heat flow and hydrothermal change at Yellowstone National Park.* Journal of Volcanology and Geothermal Research, 233, 72-89, **2012**.

33. Şengör, A.M.C., *East Anatolian high plateau as a mantle-supported, north-south shortened domal structure.* Geophysical Research Letters, 30(24), 8:1-8:4, **2003**.

34. Yilmaz, Y., et al., *Chapter 11: Geology and Tectonic Evolution of the Pontides*, AAPG Memoir 68: Regional and Petroleum Geology of the Black Sea and Surrounding Region, **1997**.

35. Dewey, J., et al., *Shortening of continental lithosphere: the neotectonics of Eastern Anatolia—a young collision zone.* Geological Society, London, Special Publications, 19(1), 1-36, **1986**.

36. Şengör, A.C. and B.A. Natal'In, *Turkic-type orogeny and its role in the making of the continental crust.* Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 24(1), 263-337, **1996**.

37. Keskin, M., *Eastern Anatolia: a hotspot in a collision zone without a mantle plume.* Geological Society of America Special Papers, 430, 693-722. **2007**.

38. Sandvol, E., et al., *Eastern Turkey seismic experiment.* IRIS Newsletter, 1, 14-16, **2000**.

39. Sandvol, E., N. Turkelli, and M. Barazangi, *The Eastern Turkey Seismic Experiment: The study of a young continent-continent collision.* Geophysical Research Letters, 30(24), **2003**.

40. Anonymous, *Eastern Turkey Seismic Experiment (ETSE): the study of a young continent–continent collision zone.* Geo News A Newsletter for Alumni and Friends Department of Earth & Atmospheric Sciences Cornell University Fall, 2001, 5-7, **2001**.

41. Ulusoy, I., *Etude volcano-structurale du volcan Nemrut (Anatolie de l'Est, Turquie) et risques naturels associés.* PhD Thesis., Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II, Clermont-Ferrand, **2008**.

42. Pearce, J.A., et al., *Genesis of collision volcanism in Eastern Anatolia, Turkey.* Journal of Volcanology and Geothermal Research, 44, 189-229, **1990**.

43. Notsu, K., et al., *Geochemical features of collision-related volcanic rocks in central and eastern Anatolia, Turkey.* Journal of Volcanology and Geothermal Research, 64(3), 171-191, **1995**.

44. Bathke, H., et al., *An active ring fault detected at Tendürek volcano by using InSAR.* Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 118(8), 4488-4502, **2013**.

45. Özdemir, Y., *Volcanostratigraphy And Petrogenesis of Süphan Stratovolcano*, PhD diss., Middle East Technical University, Ankara, **2011**.

46. Thouret, J.-C., et al., *Volcanic hazards at Mount Semeru, East Java (Indonesia), with emphasis on lahars.* Bulletin of volcanology, 70(2), 221-244, **2007**.

47. Van Gerven, M. and H. Pichler, *Some aspects of the volcanology and geochemistry of the Tengger Caldera, Java, Indonesia: eruption of a K-rich tholeiitic series.* Journal of Southeast Asian Earth Sciences, 11(2), 125-133, **1995**.

48. Mulyadi, E., *Le complexe de Bromo-Tengger(Est Java, Indonésie). Etude structurale et volcanologique*, PhD diss., Universite de Clermont-Ferrand 2, Clermont-Ferrand, **1992**.

49. Delvaux, D., *The Karoo to Recent rifting in the western branch of the East-African Rift System: A bibliographical synthesis.* Rapport annuel, 1989, 63-83, **1990**.

50. Pouclet, A., *Histoire des grands lacs de l'Afrique centrale: mise au point des connaissances actuelles.* Rev. Géogr. Phys. Géol. Dyn., 17, 475–482, **1975**.

51. BGVN, Goma Volcano Observatory, Nyiragongo, 26, 3, **2001**.

52. Platz, T., S.F. Foley, and L. André, *Low-pressure fractionation of the Nyiragongo volcanic rocks, Virunga Province, DR Congo.* Journal of Volcanology and Geothermal research, 136(3), 269-295, **2004**.

53. Xiong, J., et al., *MODIS level 1b algorithm theoretical basis document.* NASA MODIS Characterization Support Team, Washington, DC, **2005**.

54. Xiong, X. and W. Barnes, *MODIS calibration and characterization.* Earth Science Satellite Remote Sensing, J. Qu, W. Gao, M. Kafatos, R. Murphy, and V. Salomonson, eds., Springer Berlin Heidelberg, 77-97. **2006**.

55. Qu, J.J., et al., *Earth science satellite remote sensing*. Springer Berlin Heidelberg New York, 33-49 ,**2006**.

56. V.V. Salomonson, W. Barnes, and E.J. Masuoka, *Introduction to MODIS and an Overview of Associated Activities.* Earth Science Satellite Remote Sensing, J. Qu, W. Gao, M. Kafatos, R. Murphy, and V. Salomonson, eds., Springer-Verlag, **2005**.

57. Xiong, X., et al., *On-orbit calibration and performance of Aqua MODIS reflective solar bands.* Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 48(1), 535-546, **2010**.

58. (LPDAAC), N.L.P.D.A.A.C., https://lpdaac.usgs.gov, USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota., Mart, **2014**.

59. NASA, *TERRA the Eos Flagship.* http://terra.nasa.gov/index.php?section=28, (Nisan, **2014**).

60. Barnes, W., et al., *Development, Characterization and Performance of the EOS MODIS Sensors.* . Proceedings of SPIE – Earth Observing Systems VIII, W. L. Barnes, ed., International Society for Optics and Photonics. In Optical Science and Technology, SPIE's 48th Annual Meeting, 337-345. November, **2003**.

61. NASA, *Instruments on Terra Platform.* http://www.nasa.gov/mission_pages/terra/spacecraft/index.html#.U5Qsrvl_trw, (Mart, **2014**).

62. Parkinson, C.L., *Aqua: An Earth-observing satellite mission to examine water and other climate variables.* Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 41(2),173-183, **2003**.

63. APS, N.A.P.S., *Instruments on AQUA satellite platform.* http://aqua.nasa.gov/about/instruments.php, (Mart, **2014**).

64. NASA-OMPS, *AQUA uydusundan elde edilmiş MODIS görüntüsü.* http://ozoneaq.gsfc.nasa.gov/omps/, (Nisan, **2014**).

65. Abrams, M., S. Hook, and B. Ramachandran, *ASTER user handbook, version 2.* Jet propulsion laboratory 4800 Oak Grove Dr. Pasadena, CA., **2002**.

66. Gumley, L.E., *Practical IDL programming*. Elsevier Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, CA, **2001**.

67. Bowman, K.P., *An Introduction to Programming with IDL: Interactive data language*, London: Academic Press, London, **2006**.

68. Eckert, R.R., *Kicking off a course in computer organization and Assembly/machine language programming.* ACM SIGCSE Bulletin, 19(4), 2-9, **1987**.

69. Wan, Z., *Collection-6 MODIS Land Surface Temperature Products Users' Guide.* ERI, University of California, Santa Barbara, **2013**.

70. (LPDAAC), N.L.P.D.A.A.C., *MOD11A1*. USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota., **2001**.

71. (LPDAAC), N.L.P.D.A.A.C., *ASTER GDEM.* USGS/Earth Resources Observation and Science (EROS) Center, Sioux Falls, South Dakota., **2001**.

72. Meteoblue, www.meteoblue.com, (Mart, **2014**).

73. Civco, D.L., *Topographic normalization of Landsat Thematic Mapper digital imagery.* Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, **55**(9), 1303-1309, **1989**.

74. Teillet, P., B. Guindon, and D. Goodenough, *On the slope-aspect correction of multispectral scanner data.* Canadian Journal of Remote Sensing, 8(2), 84-106, **1982**.

75. Twele, A. and S. Erasmi, *Evaluating topographic correction algorithms for improved land cover discrimination in mountainous areas of Central Sulawesi.* Remote Sensing and GIS for Environmental Studies, 113, 287-295, **2005**.

76. ArcGIS, E., *9.2 Desktop help,* ESRI, Redlands, CA, ArcGIS 9, **2008**.

77. Barbour, M.G., J.H. Burk, and W.D. Pitts, *Terrestrial plant ecology*, Menlo Park, CA: Benjamin/Cummings, **1980**.

78. Minnaert, M., *The reciprocity principle in lunar photometry.* The Astrophysical Journal, 93, 403-410, **1941**.

79. Fureder, P., *Topographic Correction of Satellite images for improved LULC classification in Alpine Areas.* Grazer Schriften der Geographie und Raumforschung, 45, 187-194, **2010**.

80. Bishop, M.P., J.F. Shroder Jr, and J.D. Colby, *Remote sensing and geomorphometry for studying relief production in high mountains.* Geomorphology, 55(1), 345-361, **2003**.

81. Jones, A., J. Settle, and B. Wyatt, *Use of digital terrain data in the interpretation of SPOT-1 HRV multispectral imagery.* Remote Sensing, 9(4), 669-682, **1988**.

82. Trnkoczy, A., *Understanding and parameter setting of STA/LTA trigger algorithm.* IASPEI New Manual of Seismological Observatory Practice, 2, 1-19, **2002**.

83. Hook, S.J., et al., *A comparison of techniques for extracting emissivity information from thermal infrared data for geologic studies.* Remote Sensing of Environment, 42(2), 123-135, **1992**.

84. Kealy, P.S. and S.J. Hook, *Separating temperature and emissivity in thermal infrared multispectral scanner data: Implications for recovering land surface temperatures.* Geoscience and Remote Sensing, IEEE Transactions on, 31(6), 1155-1164, **1993**.

85. Jones, P., et al., *Hemispheric and large-scale land-surface air temperature variations: An extensive revision and an update to 2010.* Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012), 117(D5), **2012**.

86. Lawrimore, J.H., et al., *An overview of the Global Historical Climatology Network monthly mean temperature data set, version 3.* Journal of Geophysical Research: Atmospheres (1984–2012), 116(D19), **2011**.

87. Hansen, J., et al., *Global surface temperature change.* Reviews of Geophysics, 48(4), **2010**.

88. Rohde, R., et al., *A new estimate of the average earth surface land temperature spanning 1753 to 2011.* Geoinformatics & Geostatistics: An Overview, 1, doi:10.4172/gigs.1000101, **2012**.

89. Stocker, T.F., et al., *Climate change 2013: The physical science basis.* Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report (AR5)(Cambridge Univ Press, New York), **2013**.

90. Voiland, A., *2009: Second Warmest Year on Record; End of Warmest Decade.* Nasa Aeronautics and Space Adminstration, http://www.giss.nasa.gov/research/news/20100121/ (Mayıs, **2014**).

8. EKLER

EK-A: Yüzey Sıcaklığı Grafikleri Lejandı

EK-A.1a: Nemrut Kalderası Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

EK-A.1b: Nemrut Kalderası Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

EK-A.1c: Nemrut Kalderası Gündüz Yüzey Sıcaklığı (kosinüs düzeltmesi)

EK-A.1d: Nemrut Kalderası Gündüz Yüzey Sıcaklığı (Minnaert düzeltmesi)

EK-A.1e: Nemrut Kalderası Gece Yüzey Sıcaklığı (STcorr düzeltmesi)

EK-A.2a: Tendürek Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

EK-A.2b: Tendürek Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

EK-A.2c: Tendürek Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (kosinüs düzeltmesi)

EK-A.2d: Tendürek Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Minnaert düzeltmesi)

EK-A.2e: Tendürek Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (STcorr düzeltmesi)

EK-A.3a: Süphan Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

EK-A.3b: Süphan Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

EK-A.3c: Süphan Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (kosinüs düzeltmesi)

EK-A.3d: Süphan Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Minnaert düzeltmesi)

EK-A.3e: Süphan Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (STcorr düzeltmesi)

EK-A.4a: Ağrı Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

EK-A.4b: Ağrı Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

EK-A.4c: Ağrı Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (kosinüs düzeltmesi)

EK-A.4d: Ağrı Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Minnaert düzeltmesi)

EK-A.4e: Ağrı Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (STcorr düzeltmesi)

EK-B.1: Tengger Kalderası Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

EK-B.1: Tengger Kalderası Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

EK-B.1: Tengger Kalderası Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (kosinüs düzeltmesi)

EK-B.1: Tengger Kalderası Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Minnaert düzeltmesi)

EK-B.1: Tengger Kalderası Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (STcorr düzeltmesi)

EK-B.2: Sinabung Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

EK-B.3a: Nyiragongo Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

EK-B.3b: Nyiragongo Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

EK-B.3c: Nyiragongo Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafiği (kosinüs düzeltmesi)

EK-B.3d: Nyiragongo Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafiği (Minnaert düzeltmesi)

EK-B.3e: Nyiragongo Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (STcorr düzeltmesi)

EK-B.4a: Semeru Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

EK-B.4b: Semeru Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

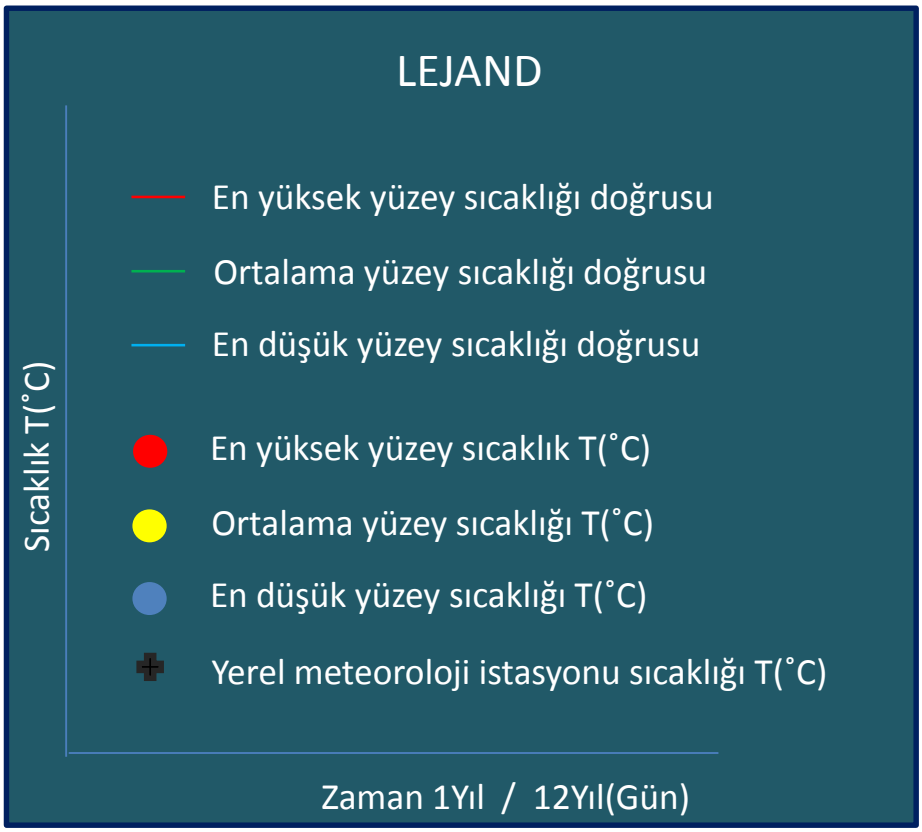
EK-B.4c: Semeru Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (kosinüs düzeltmesi)

EK-B.4d: Semeru Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Minnaert düzeltmesi)

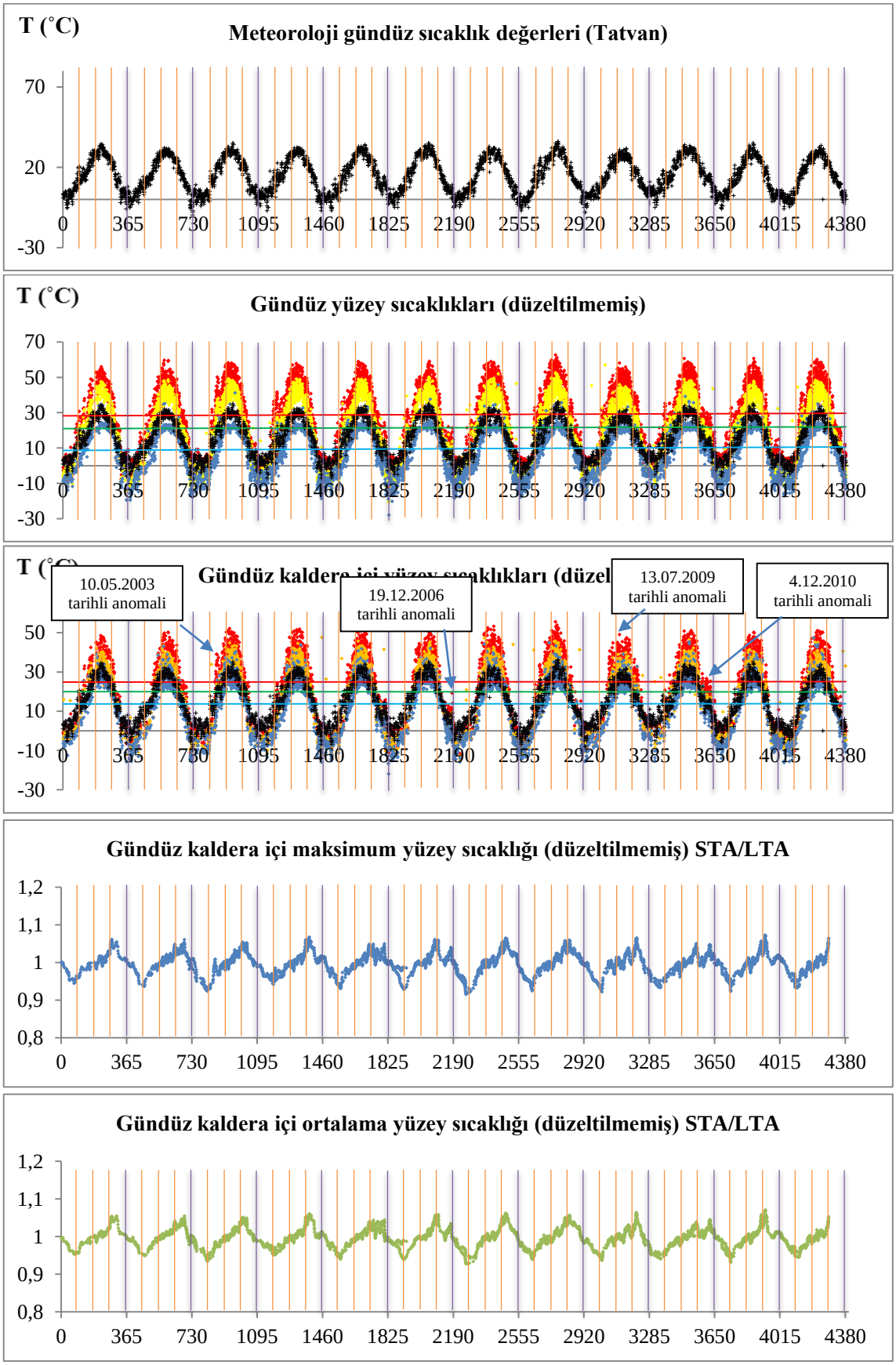
EK-B.4e: Semeru Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (STcorr düzeltmesi)

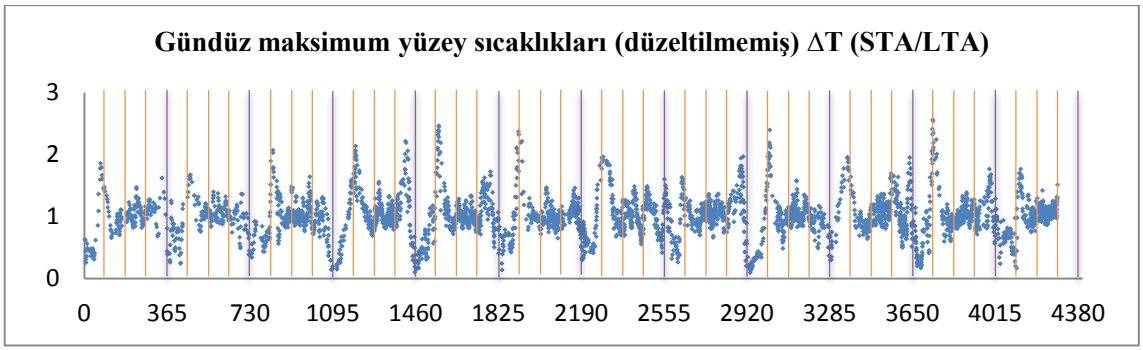
EK-C: MOVAP kodu (Dijital Ek, CD).

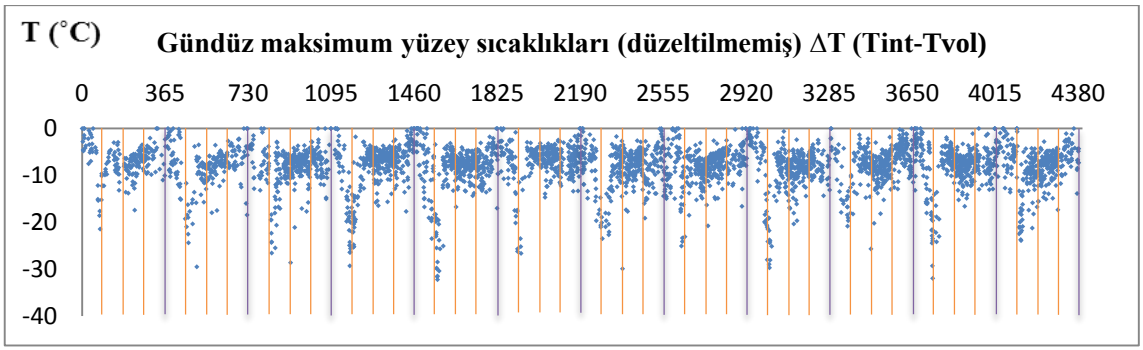
EK-A. Yüzey Sıcaklığı Grafikleri Lejandı

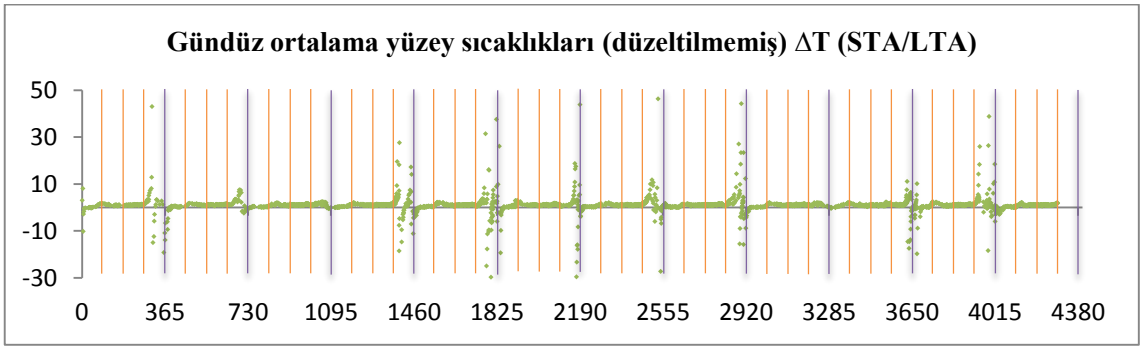


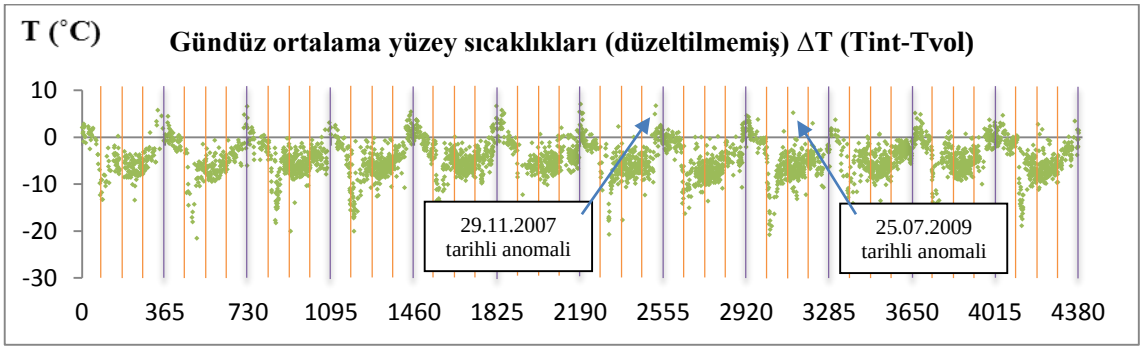
EK-A.1a. Nemrut Kalderası Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri





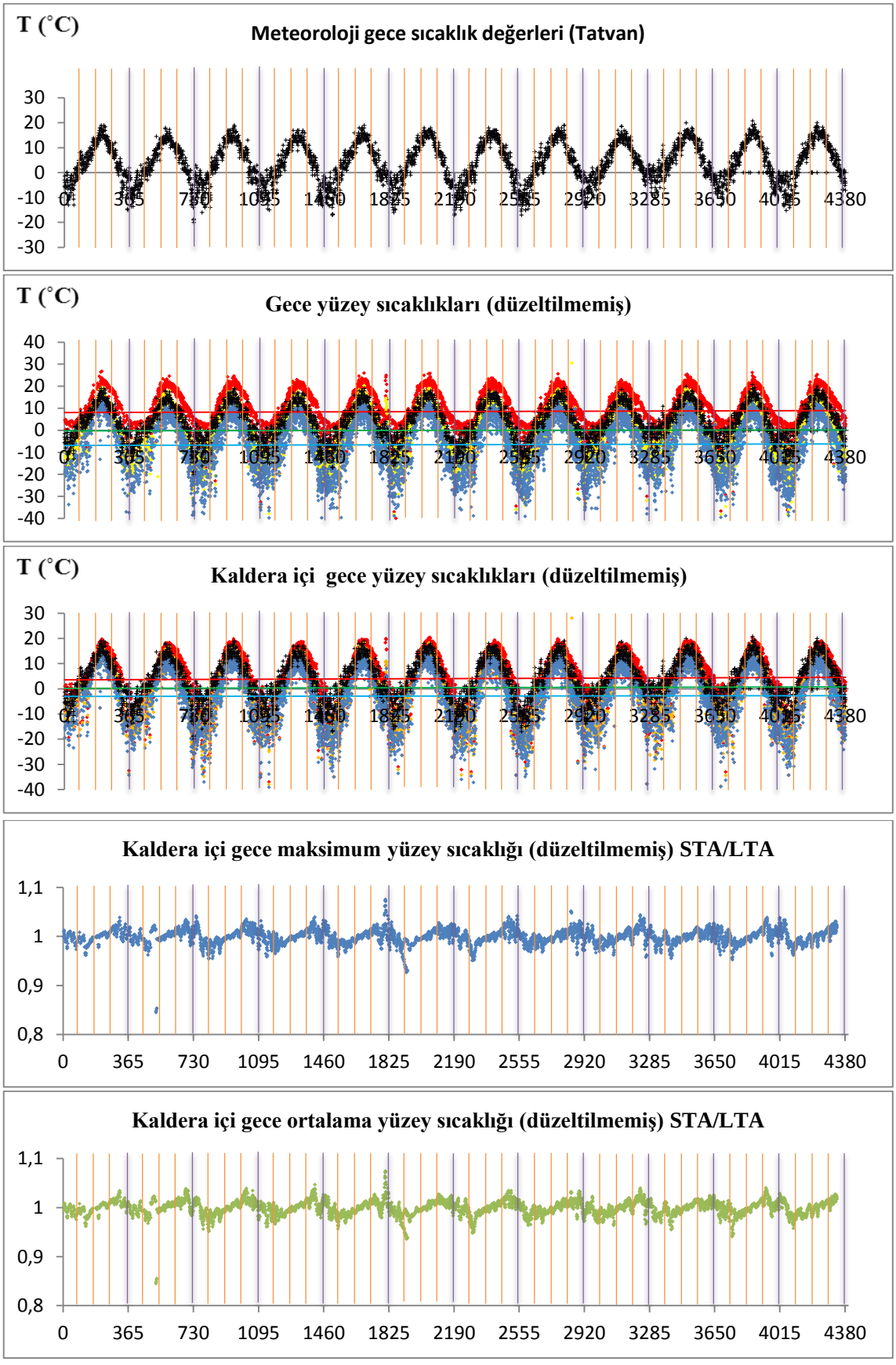


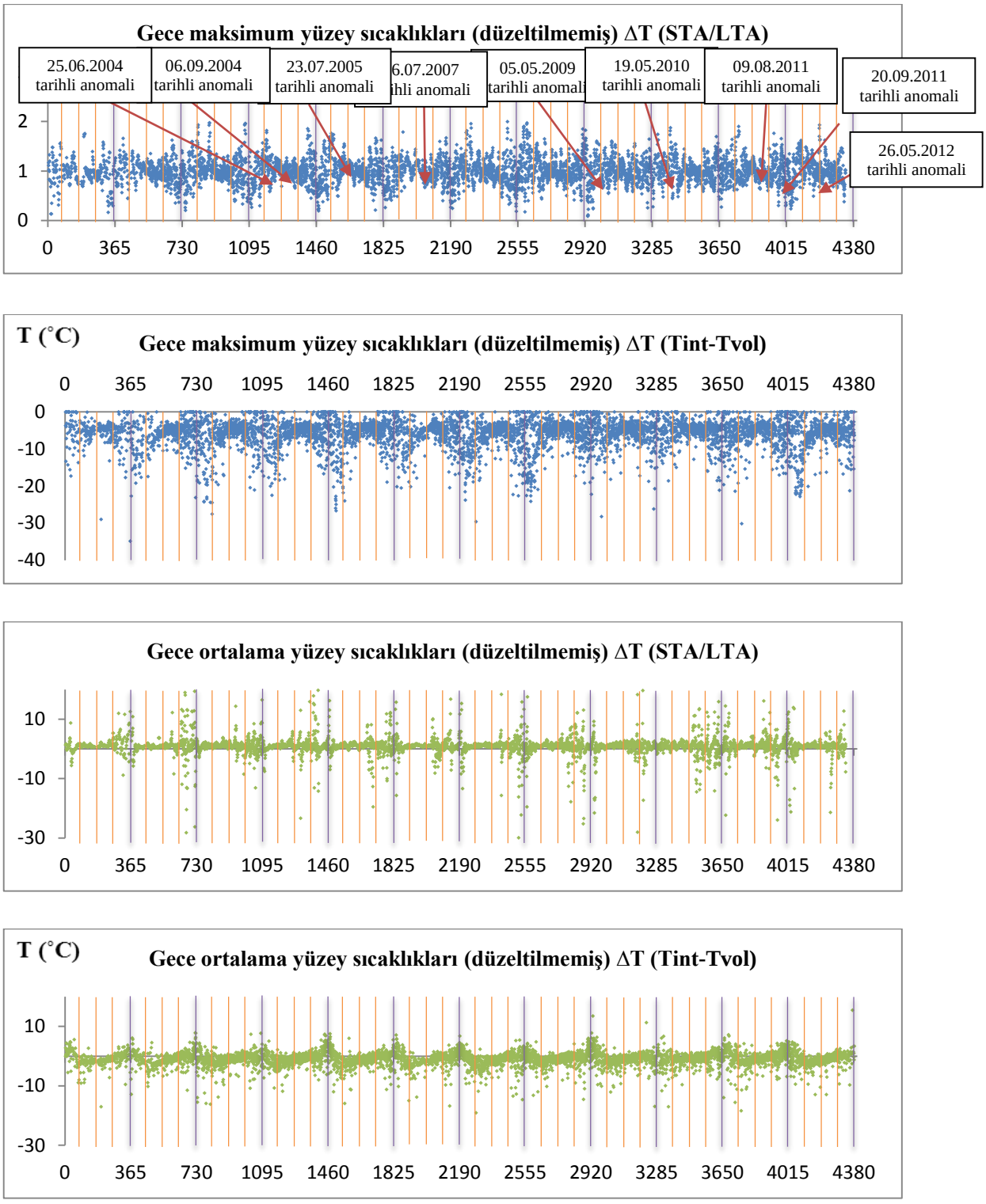




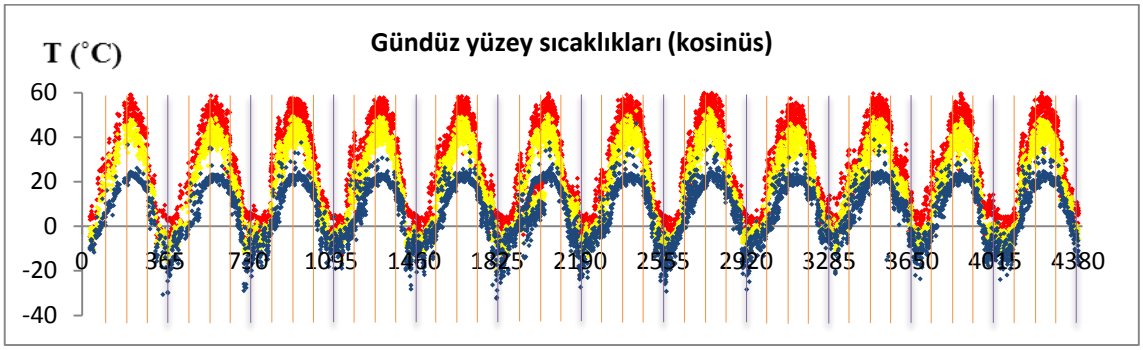
Gün (12 yıllık)

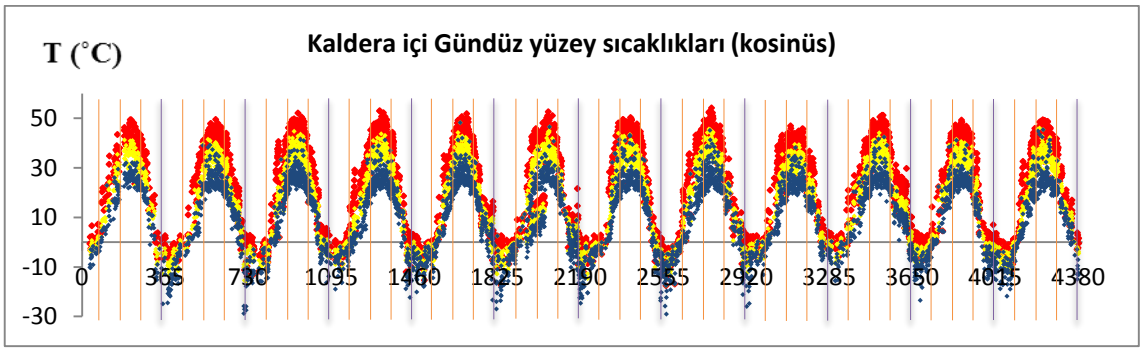
EK-A.1b. Nemrut Kalderası Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

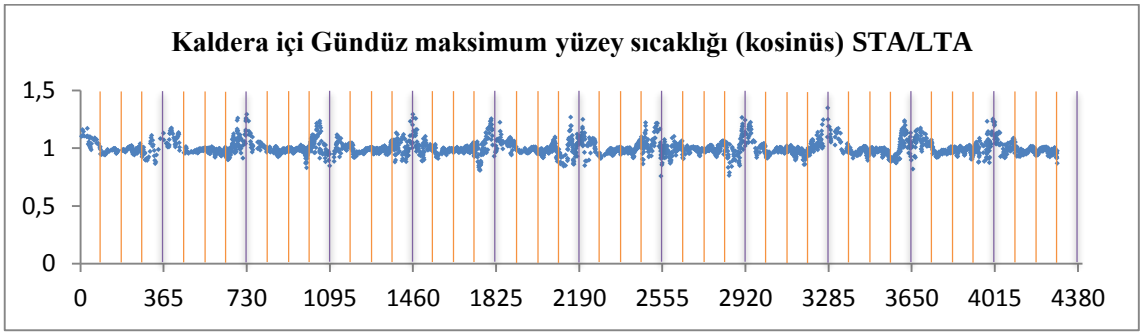


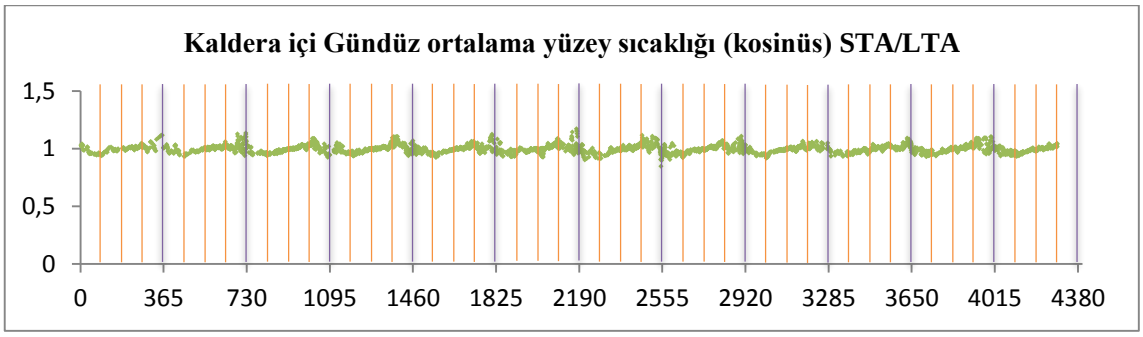

Gece maksimum yüzey sıcaklıkları (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
25.06.2004 tarihli anomali
06.09.2004 tarihli anomali
23.07.2005 tarihli anomali
6.07.2007 hli anomali
05.05.2009 tarihli anomali
19.05.2010 tarihli anomali
09.08.2011 tarihli anomali
20.09.2011 tarihli anomali
26.05.2012 tarihli anomali
2
1
0
0 365 730 1095 1460 1825 2190 2555 2920 3285 3650 4015 4380
T (˚C)
Gece maksimum yüzey sıcaklıkları (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
0 365 730 1095 1460 1825 2190 2555 2920 3285 3650 4015 4380
0
-10
-20
-30
-40
Gece ortalama yüzey sıcaklıkları (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
10
-10
-30
0 365 730 1095 1460 1825 2190 2555 2920 3285 3650 4015 4380
T (˚C)
Gece ortalama yüzey sıcaklıkları (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
10
-10
-30
0 365 730 1095 1460 1825 2190 2555 2920 3285 3650 4015 4380
Gün (12 yıllık)

EK-A.1c. Nemrut Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Kosinüs Düzeltmesi)

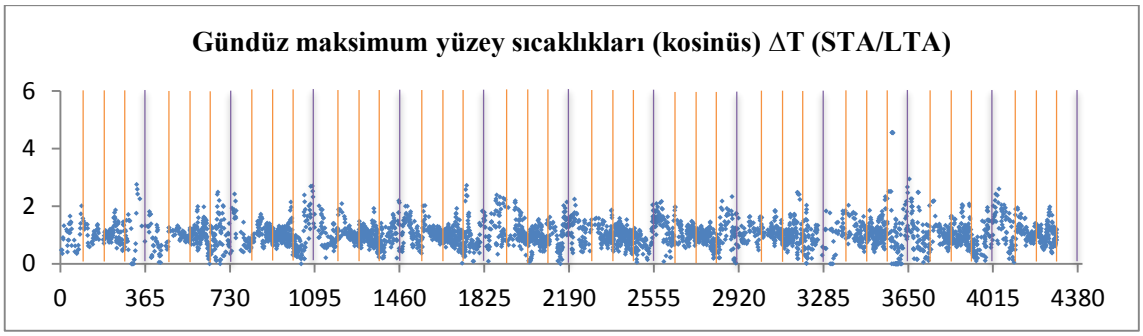


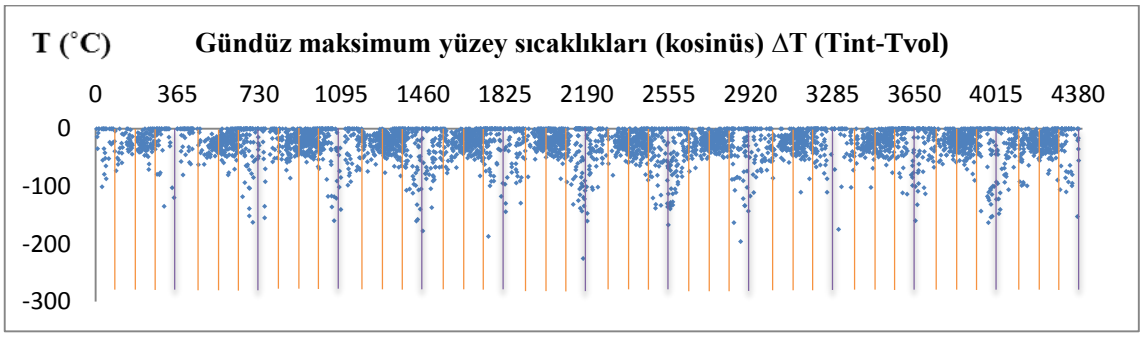


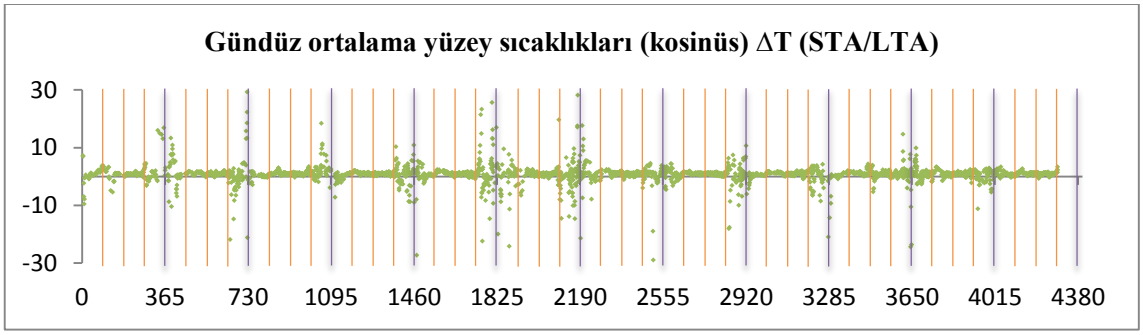


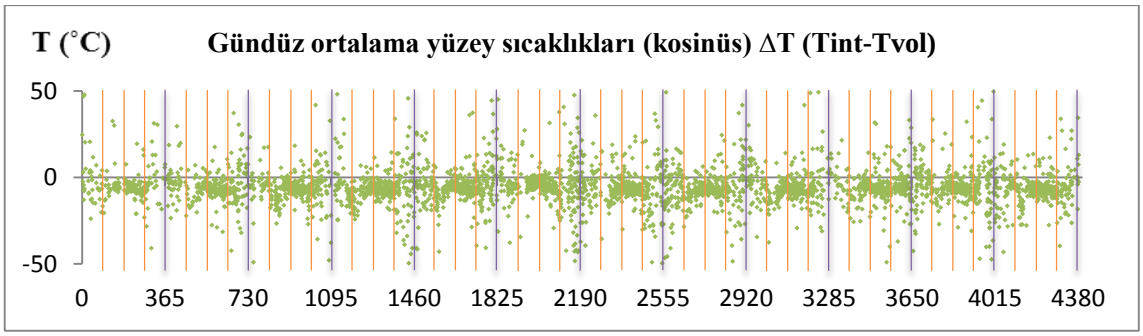


Gün (12 yıllık)



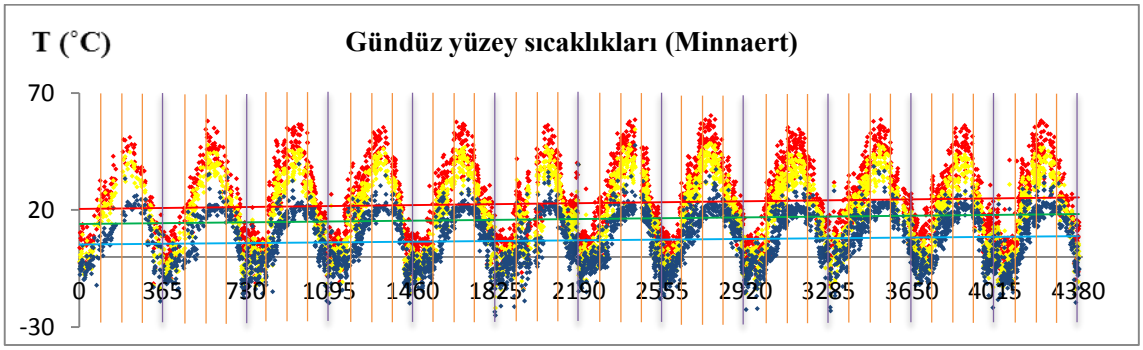


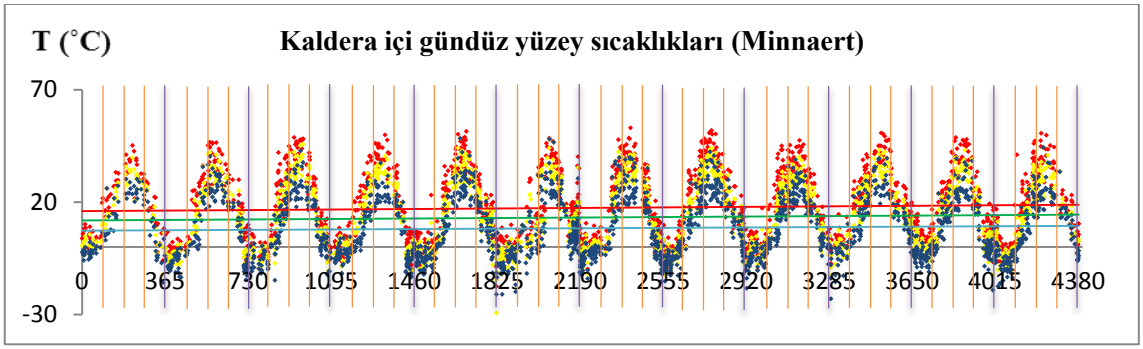


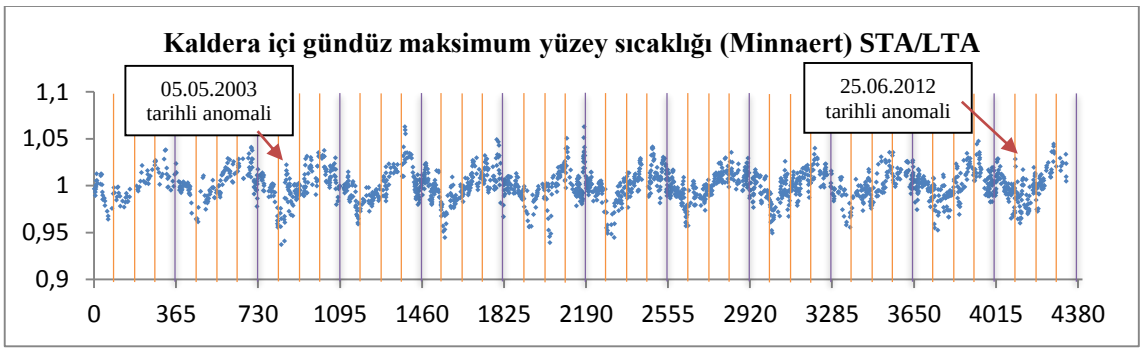


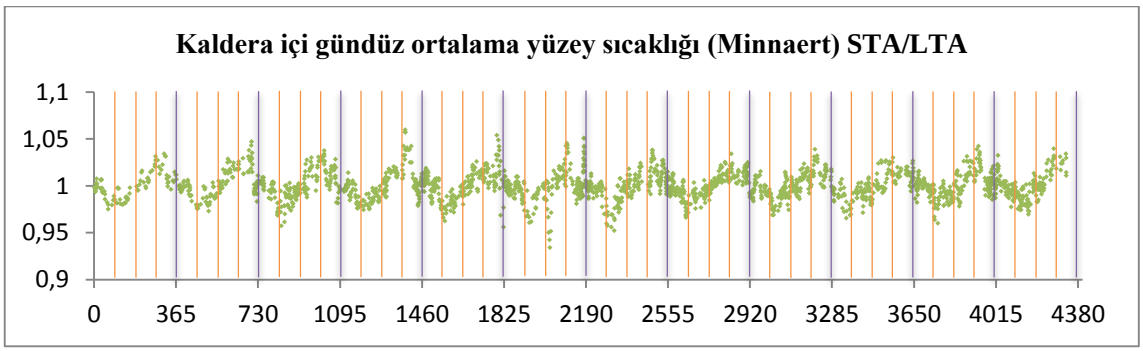
Gün (12 yıllık)

EK-A.1d. Nemrut Kalderası Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Minnaert Düzeltmesi)

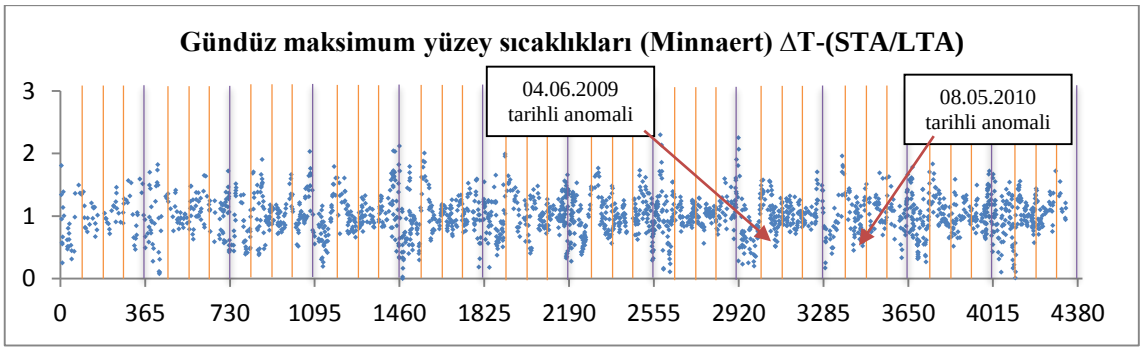


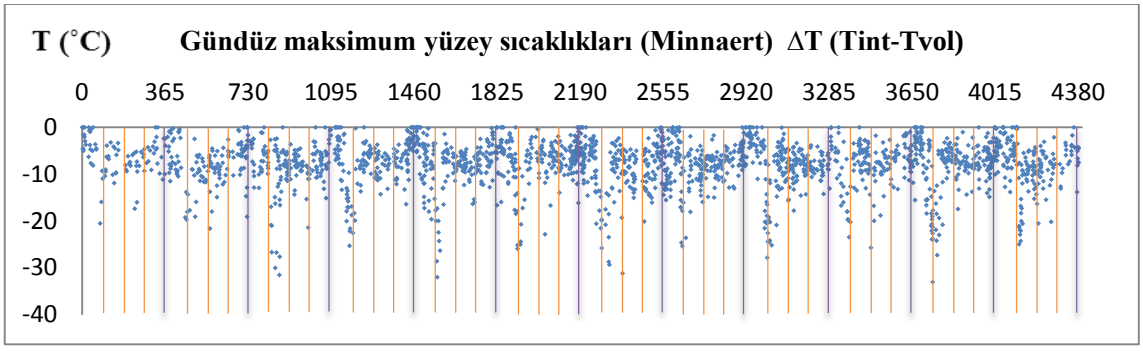


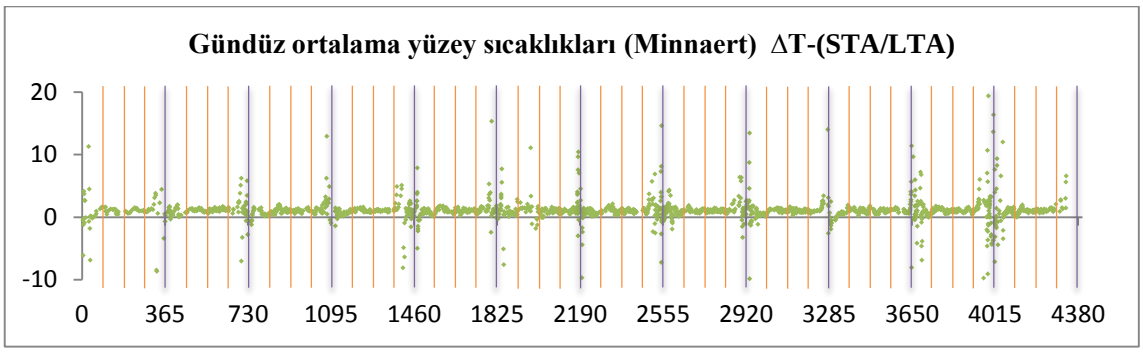


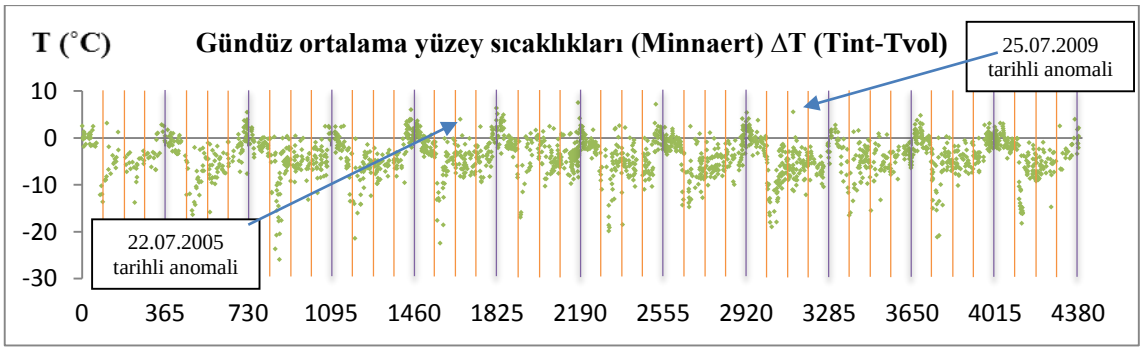


Gün (12 yıllık)



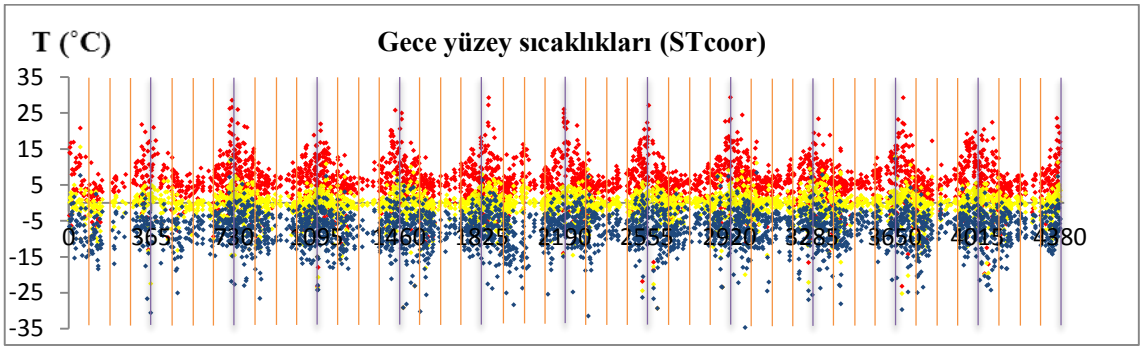


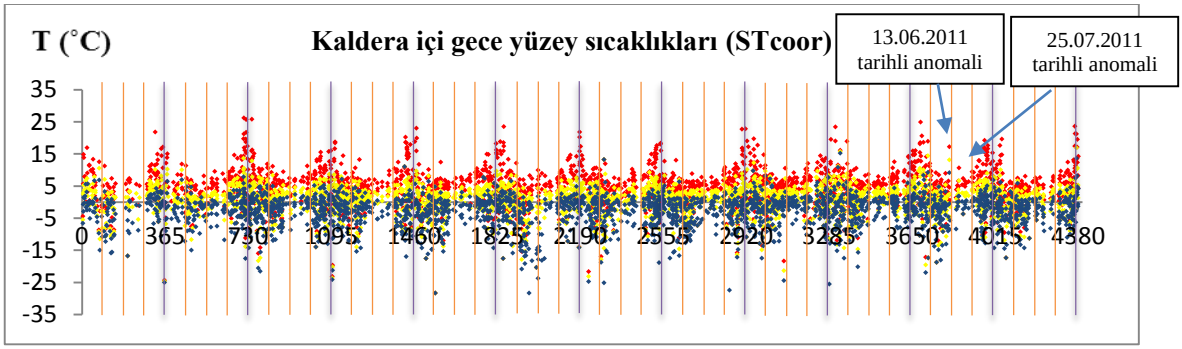


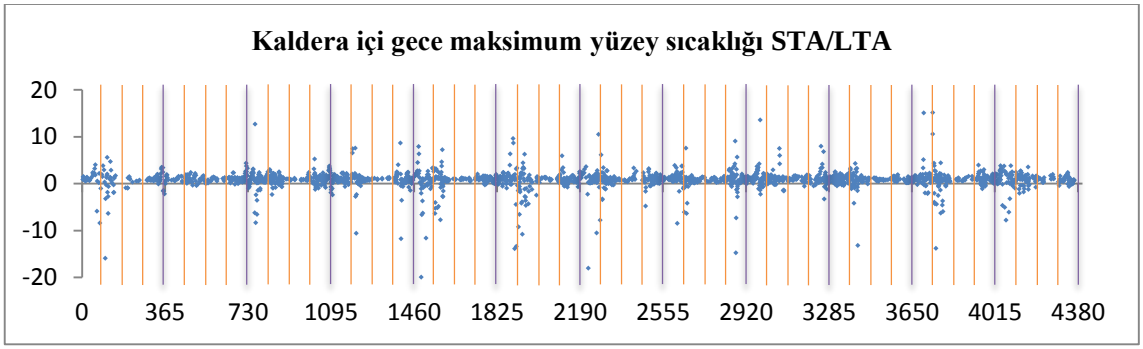


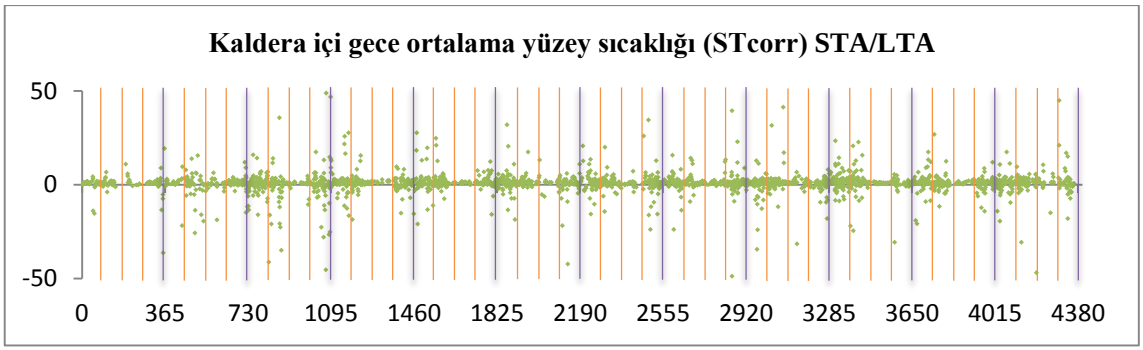
Gün (12 yıllık)

EK-A.1e. Nemrut Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (STcorr düzeltmesi)

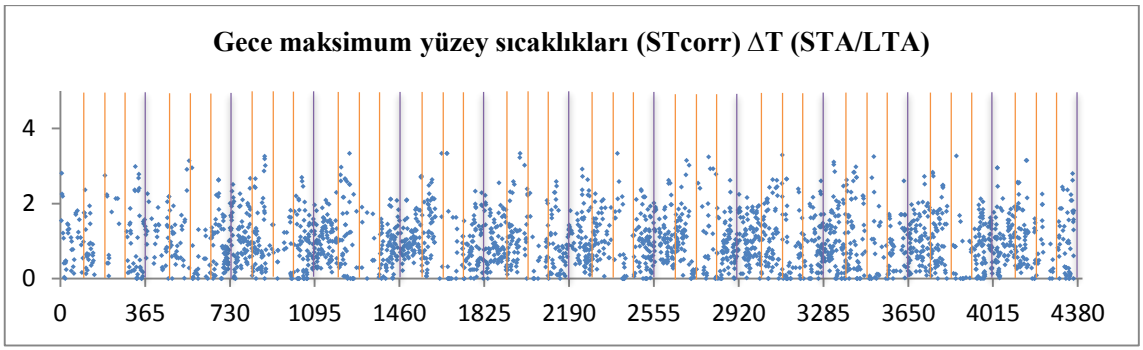


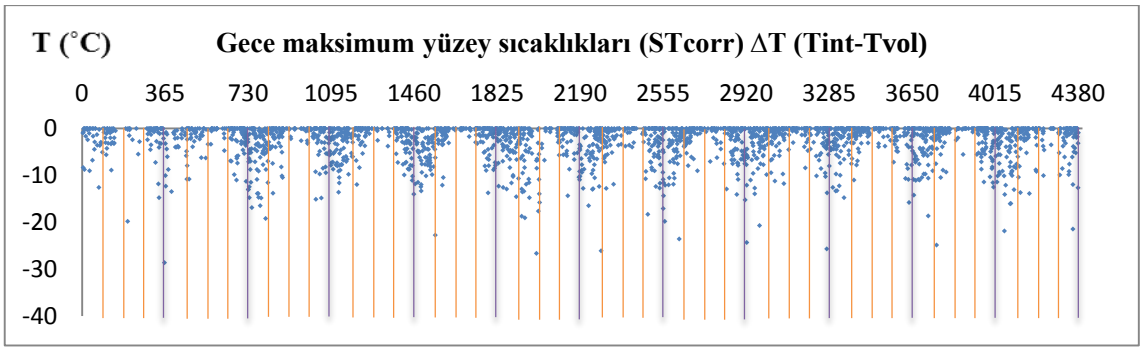


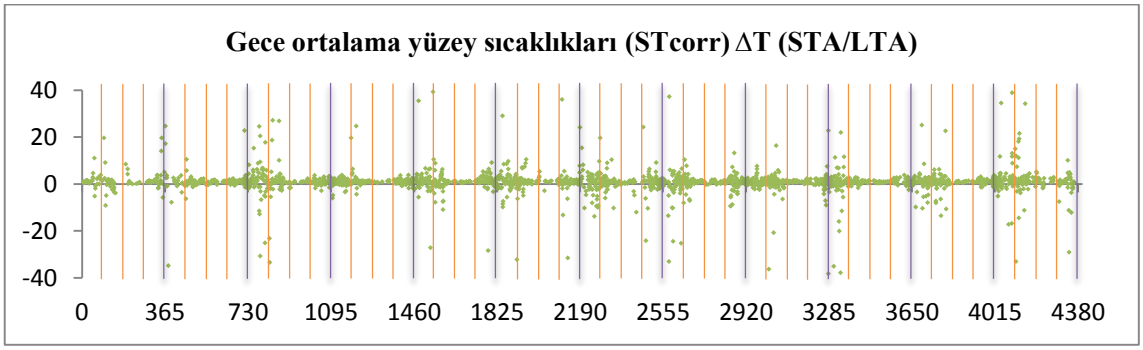


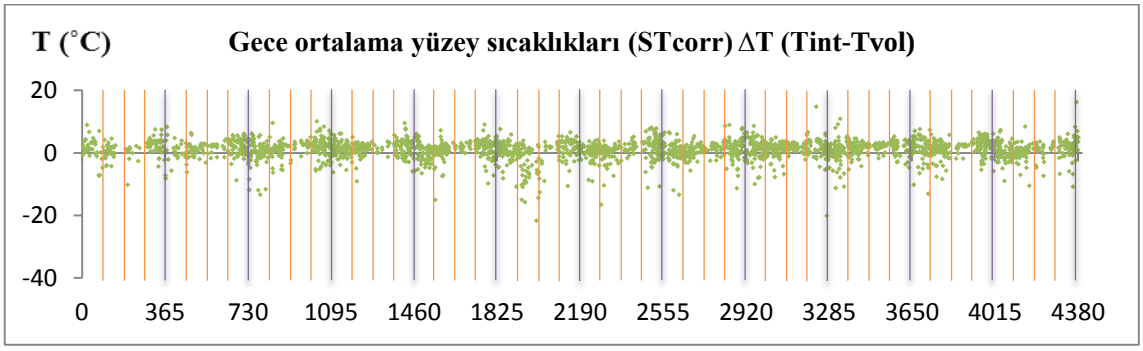


Gün (12 yıllık)



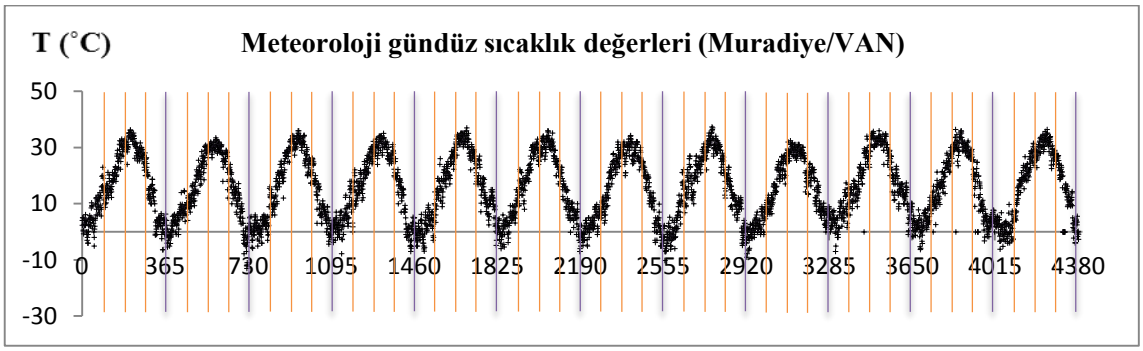


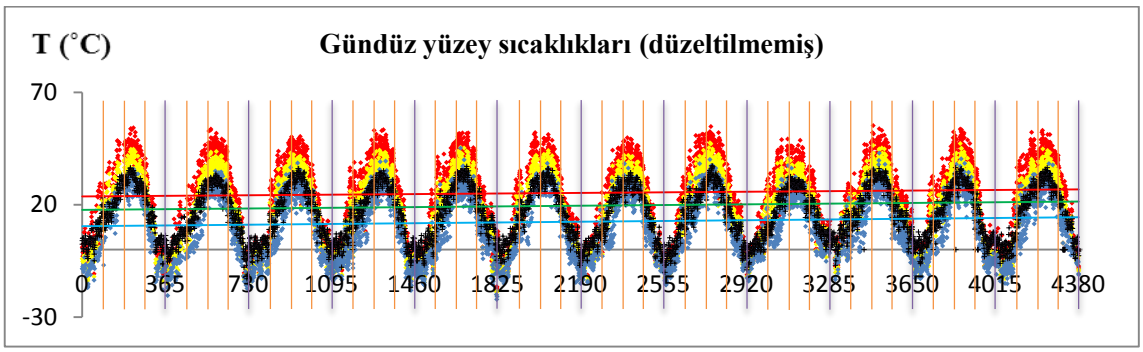


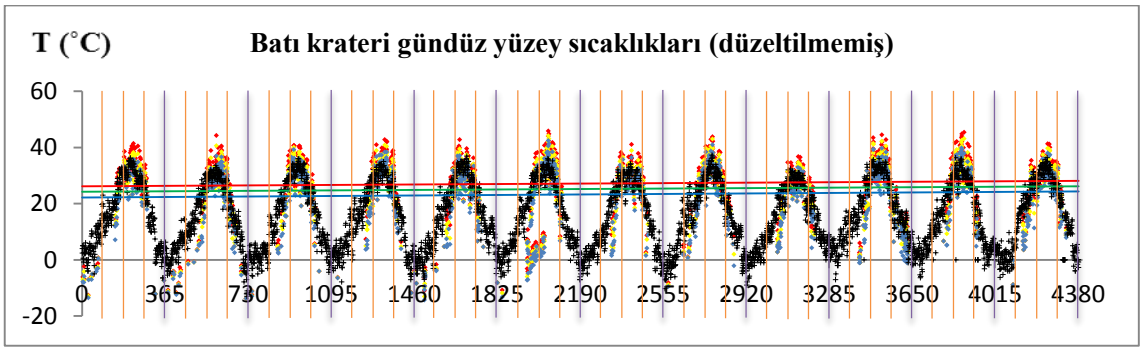


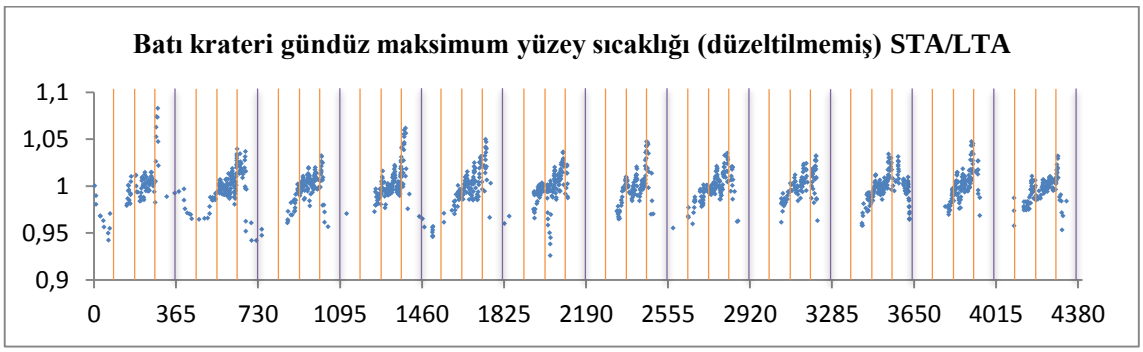
Gün (12 yıllık)

EK-A.2a. Tendürek Gündüz Güzey Sıcaklığı Grafikleri (Düzeltilmemiş)

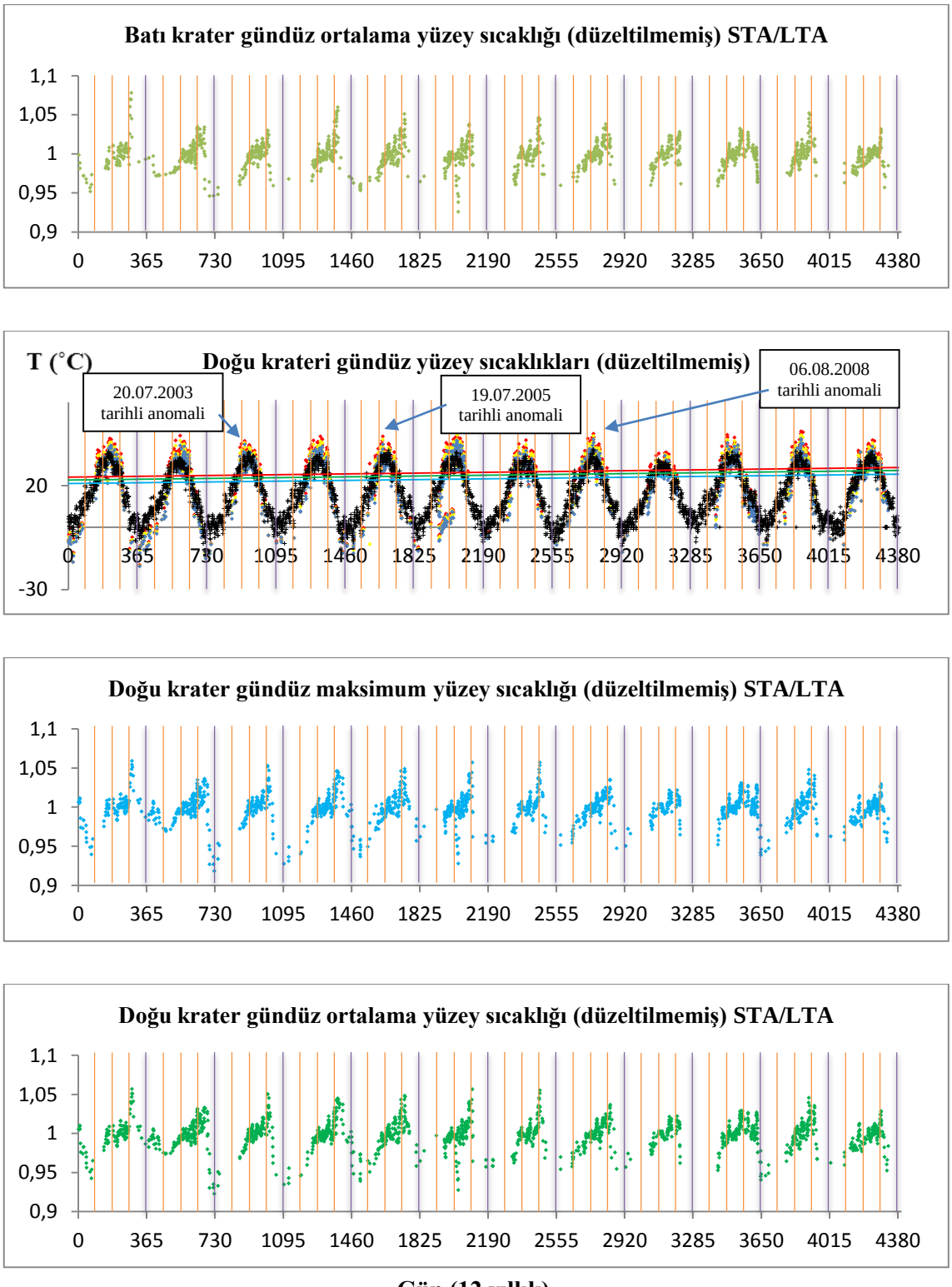


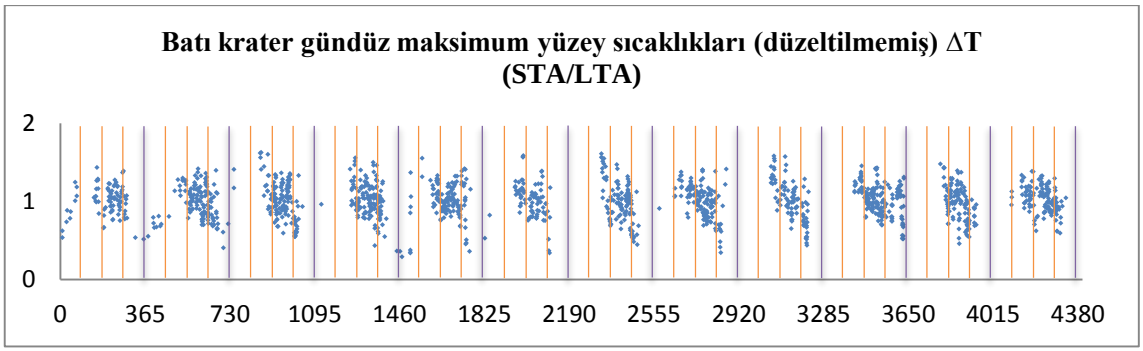


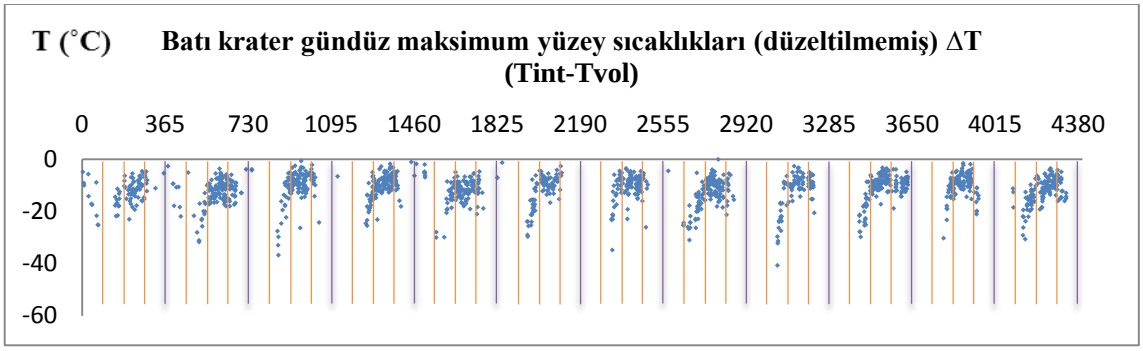


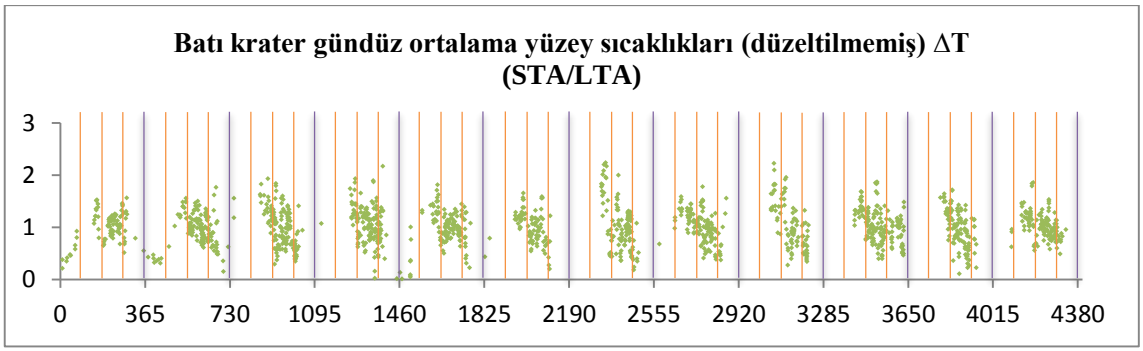


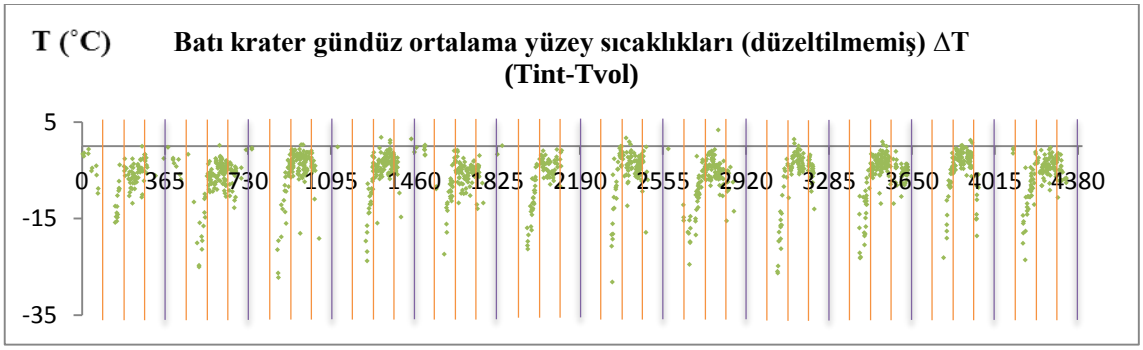
Gün (12 yıllık)


Batı krater gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) STA/LTA
1,1
1,05
1
0,95
0,9
0
365
730
1095
1460
1825
2190
2555
2920
3285
3650
4015
4380
T (˚C)
Doğu krateri gündüz yüzey sıcaklıkları (düzeltilmemiş)
20.07.2003 tarihli anomali
19.07.2005 tarihli anomali
06.08.2008 tarihli anomali
20
-30
Doğu krater gündüz maksimum yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) STA/LTA
Doğu krater gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) STA/LTA
Gün (12 yıllık)

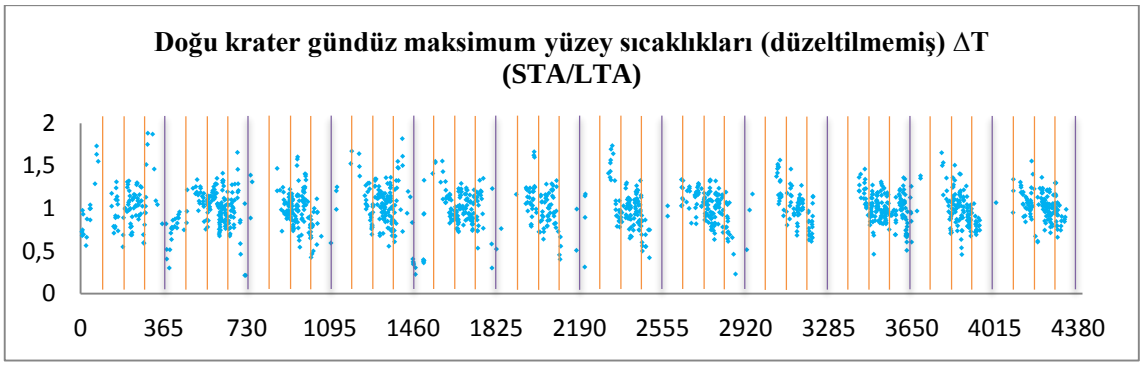


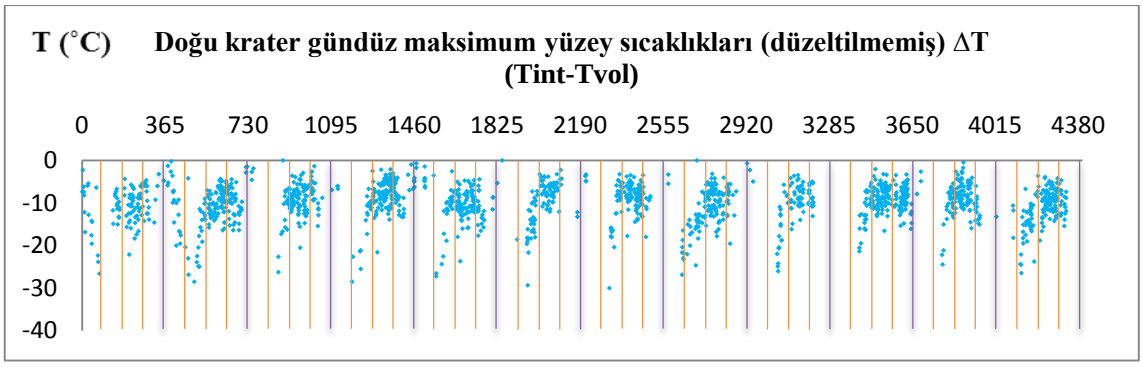


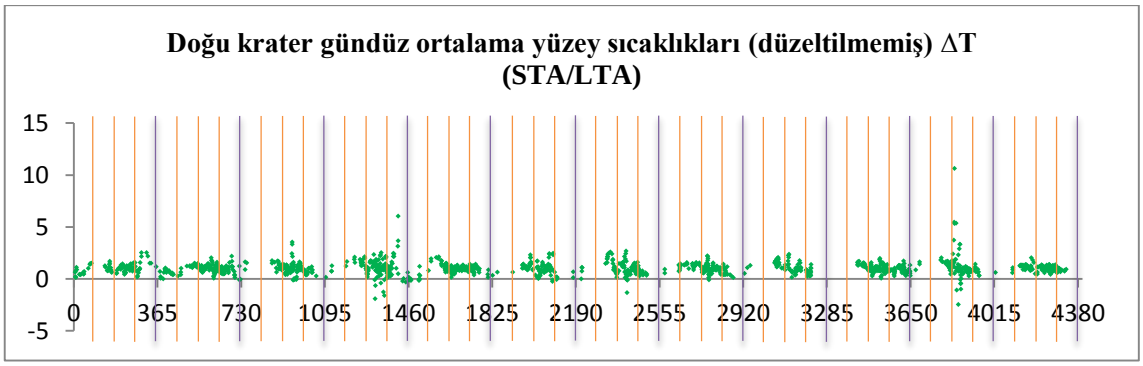


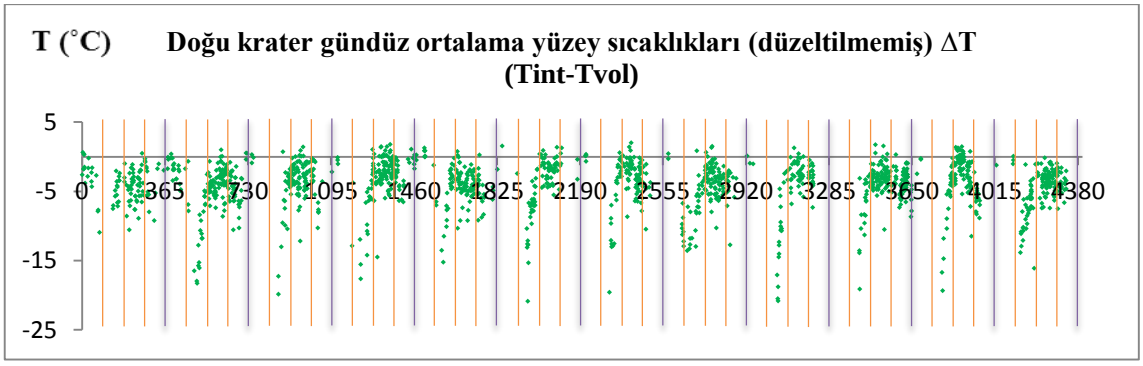


Gün (12 yıllık)





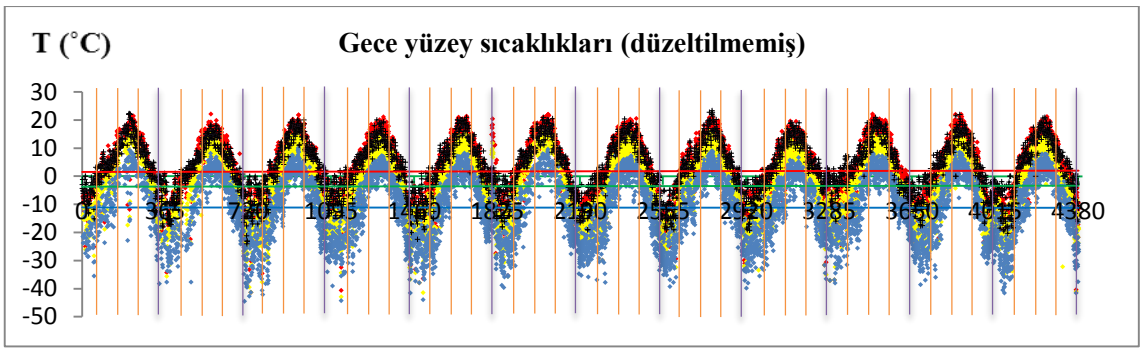


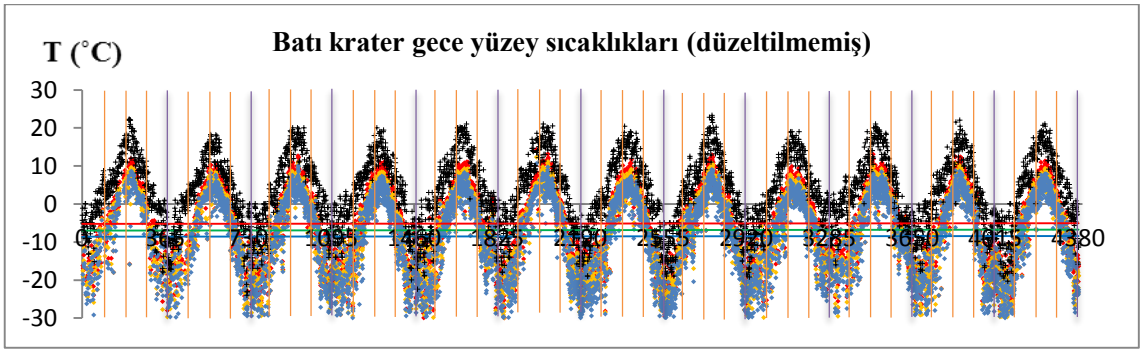


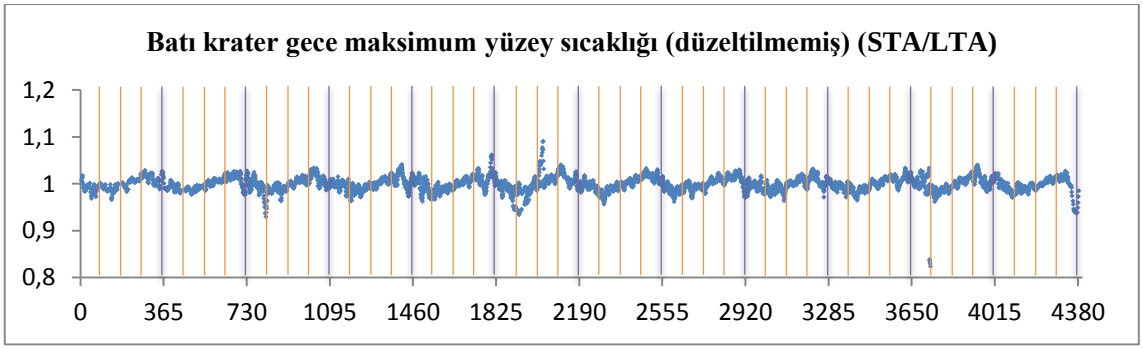
Gün (12 yıllık)

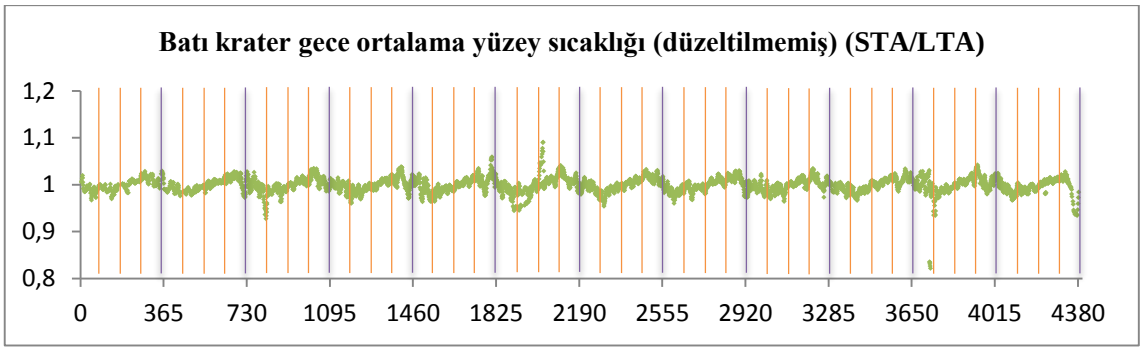
EK-A.2b. Tendürek Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Düzeltilmemiş)

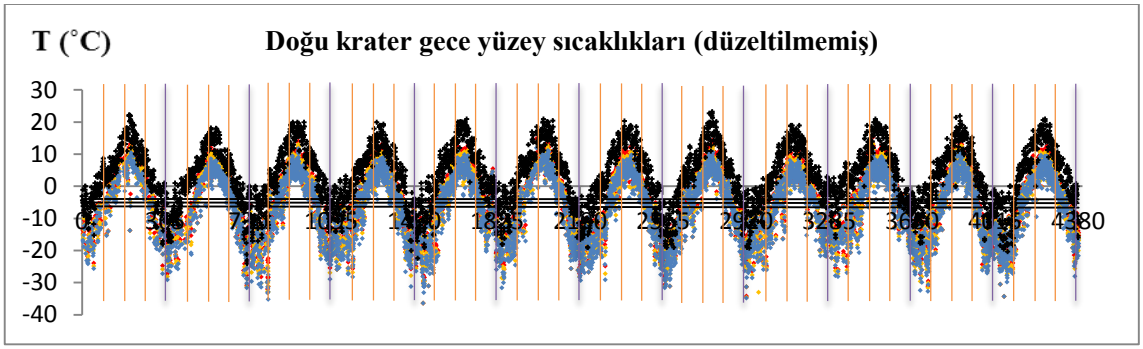


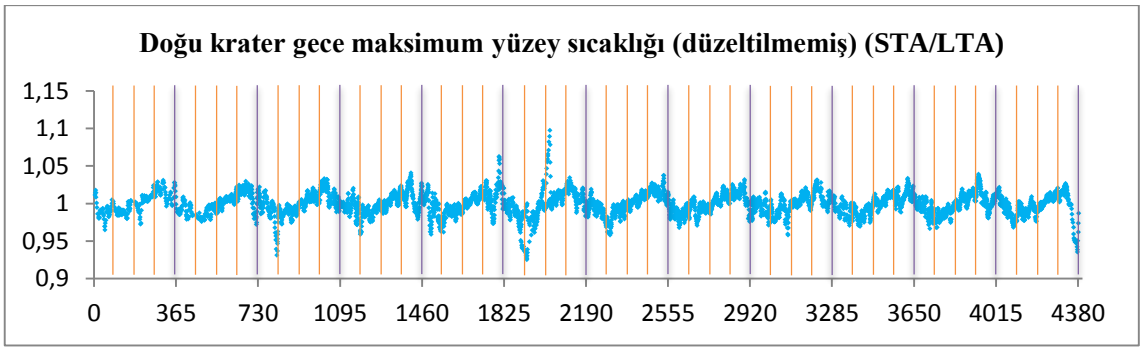


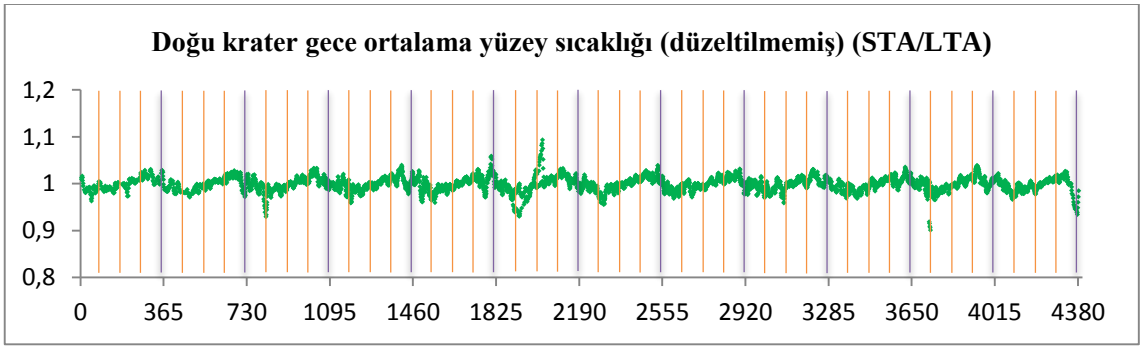




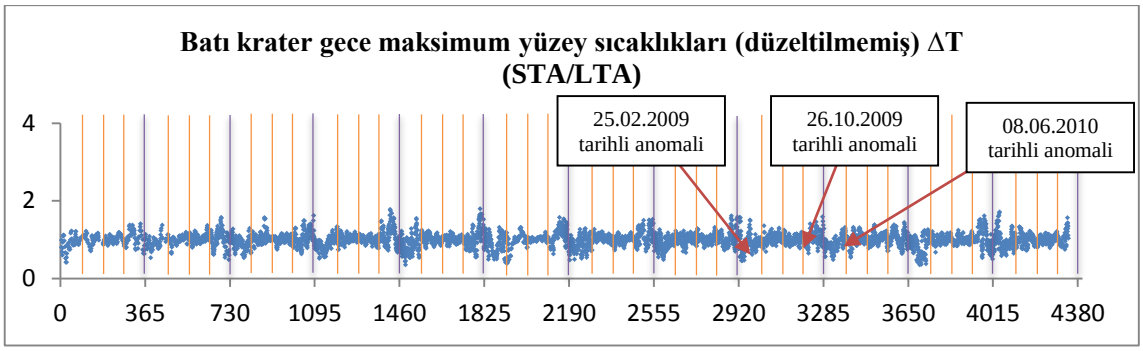


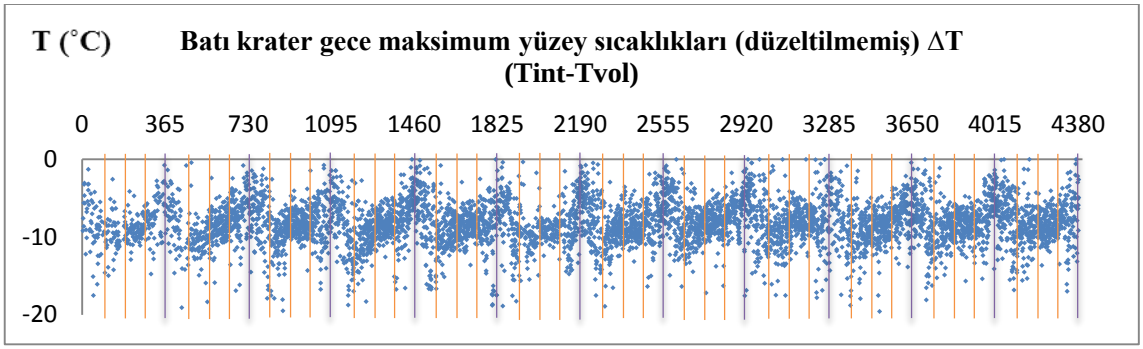


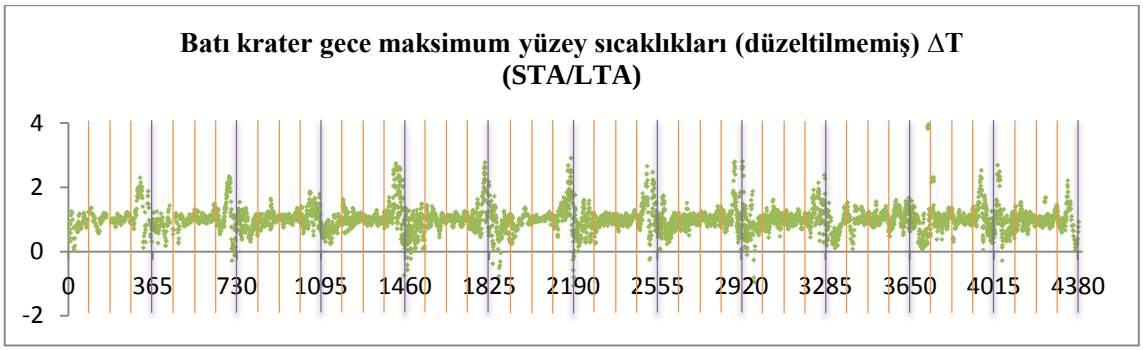


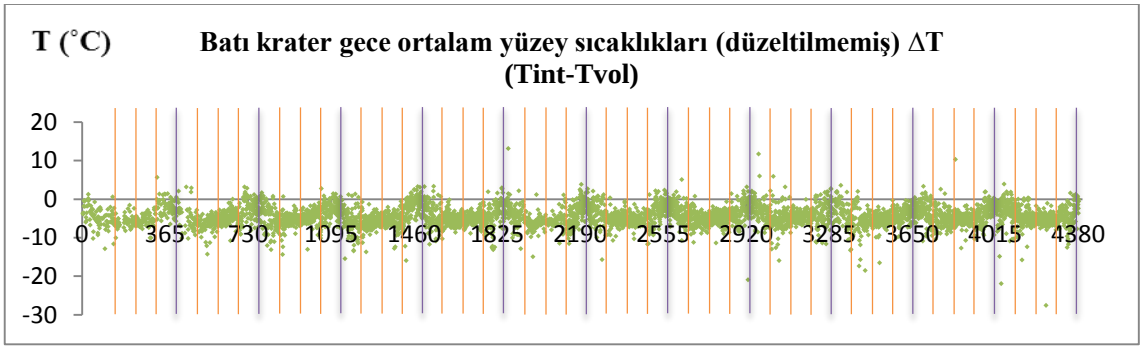


Gün (12 yıllık)

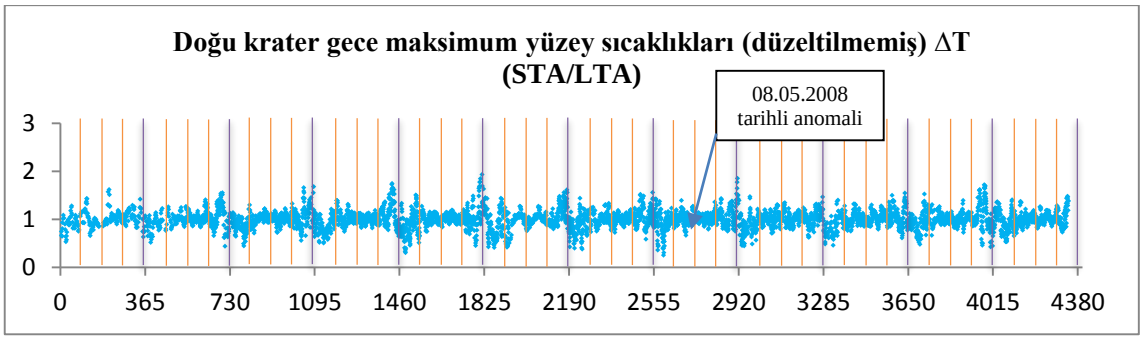


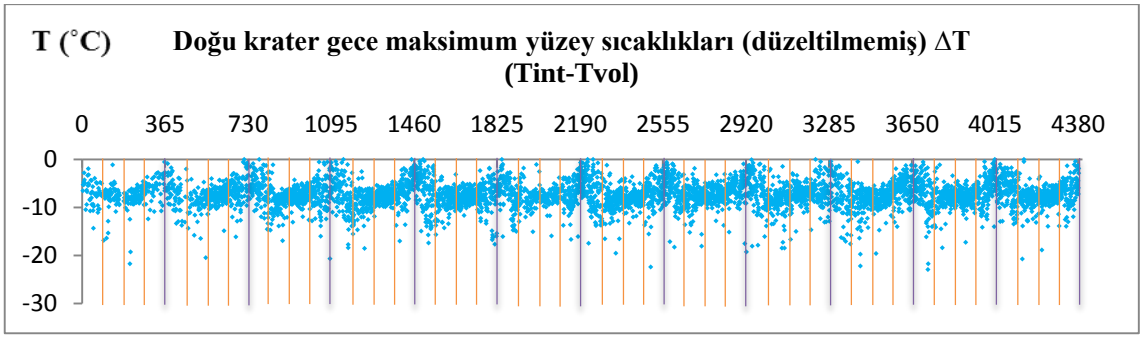


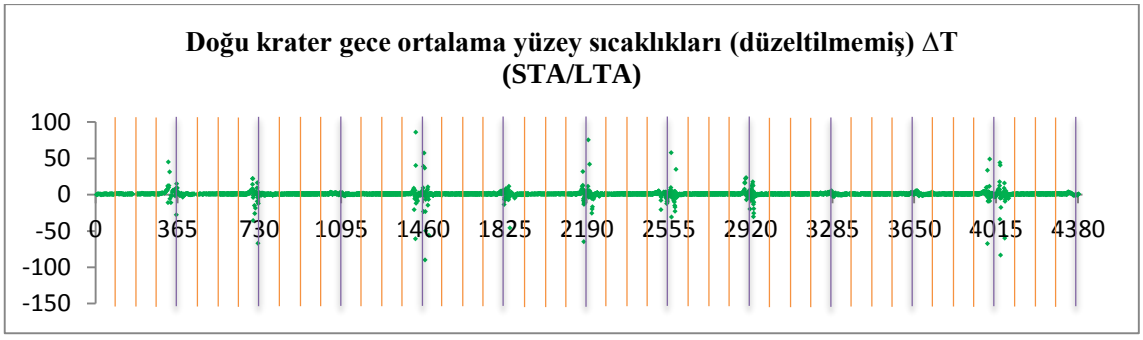


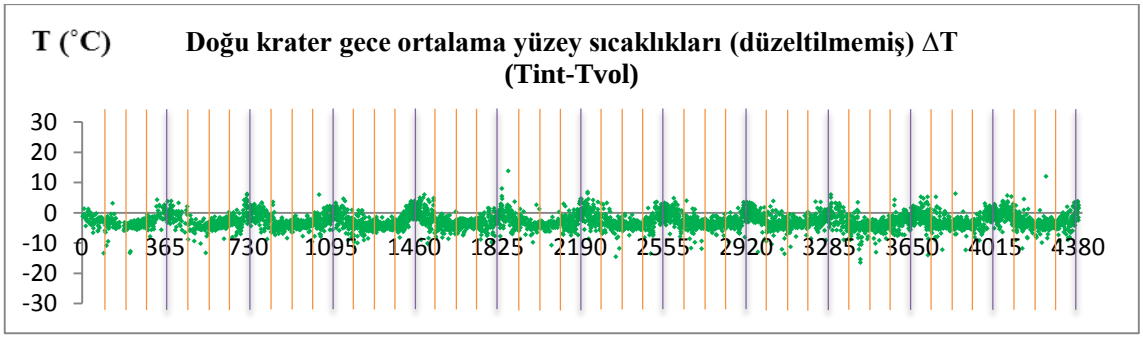


Gün (12 yıllık)



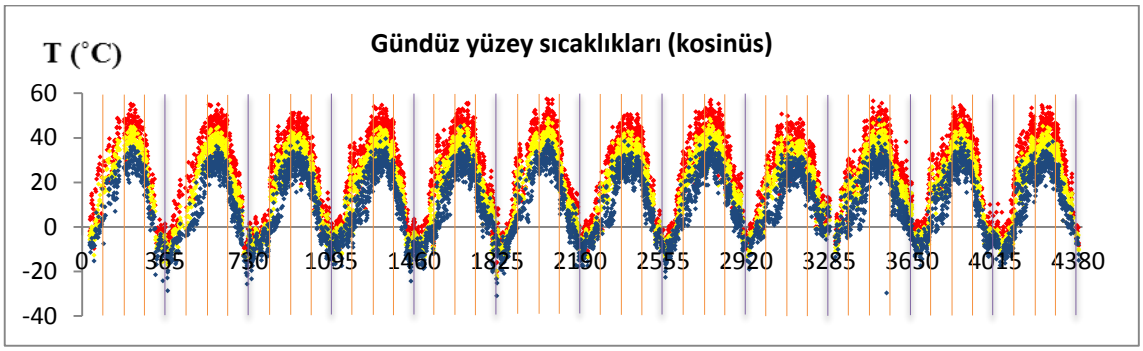


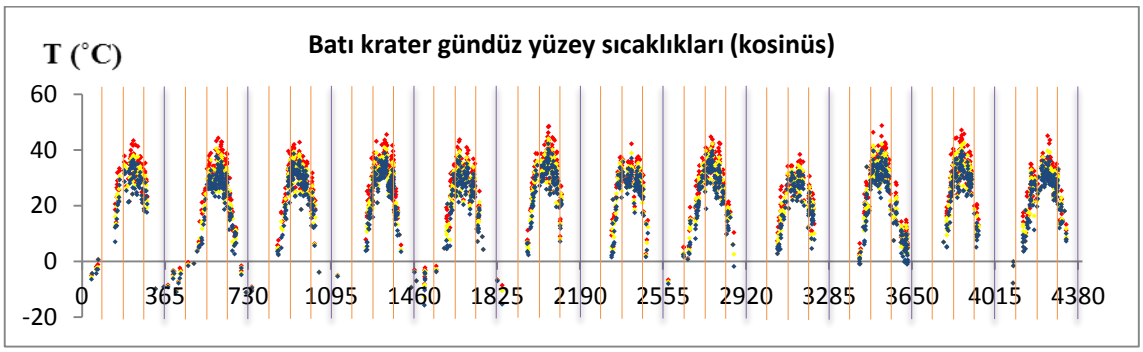


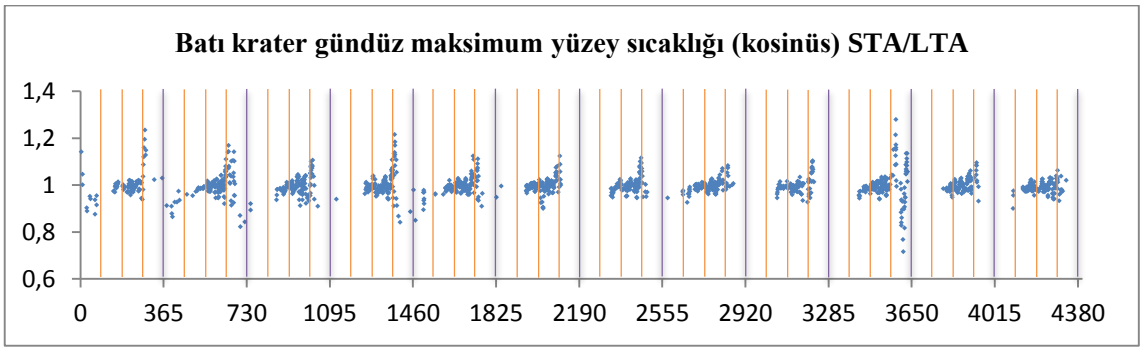


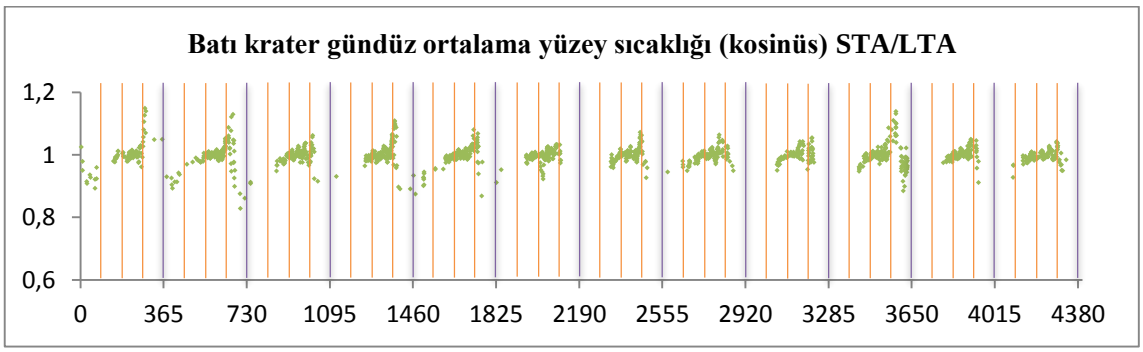
Gün (12 yıllık)

EK-A.2c. Tendürek Gündüz Güzey Sıcaklığı Grafikleri (Kosinüs Düzeltmesi)

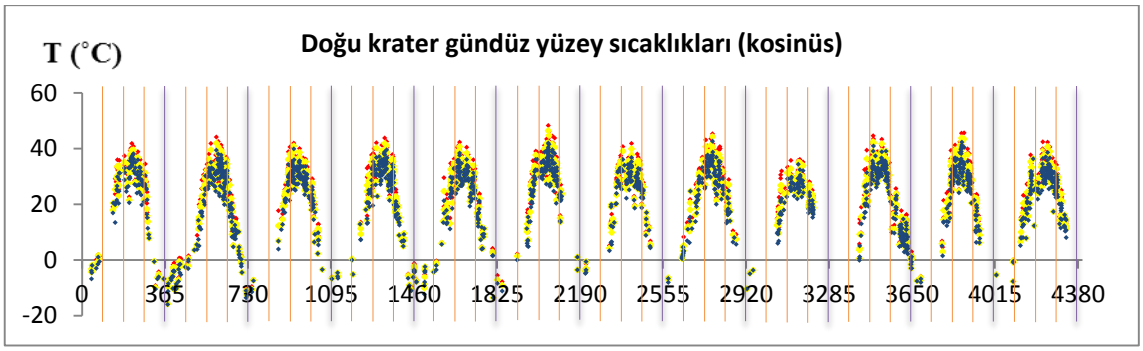


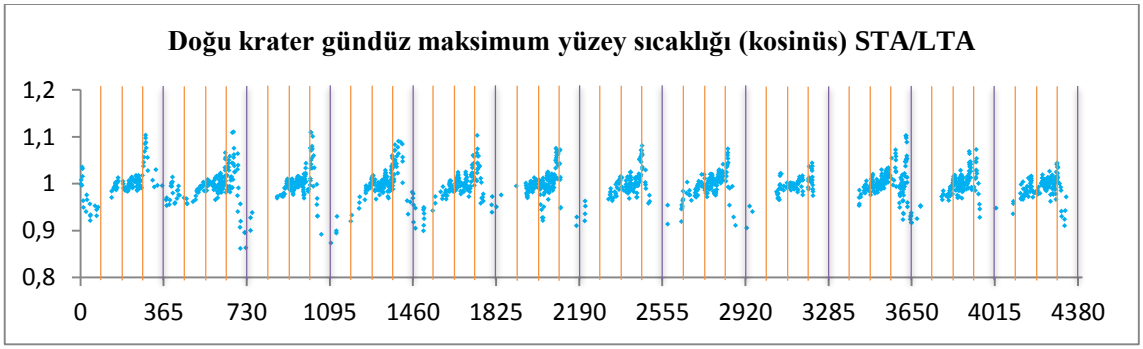


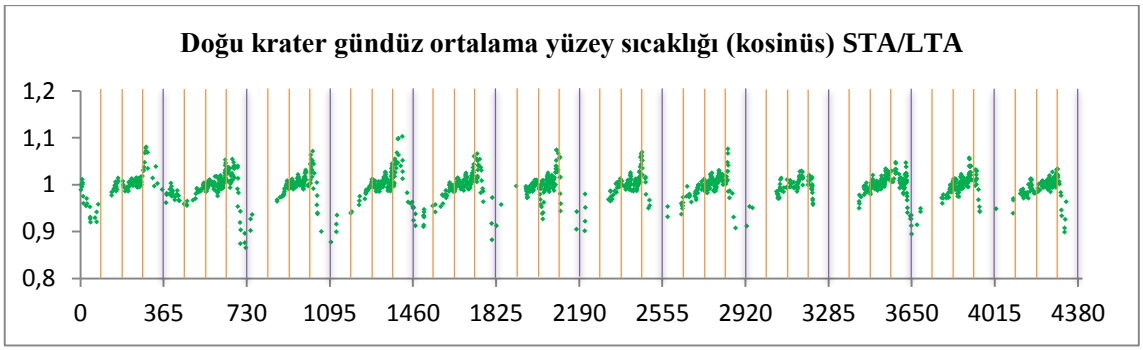


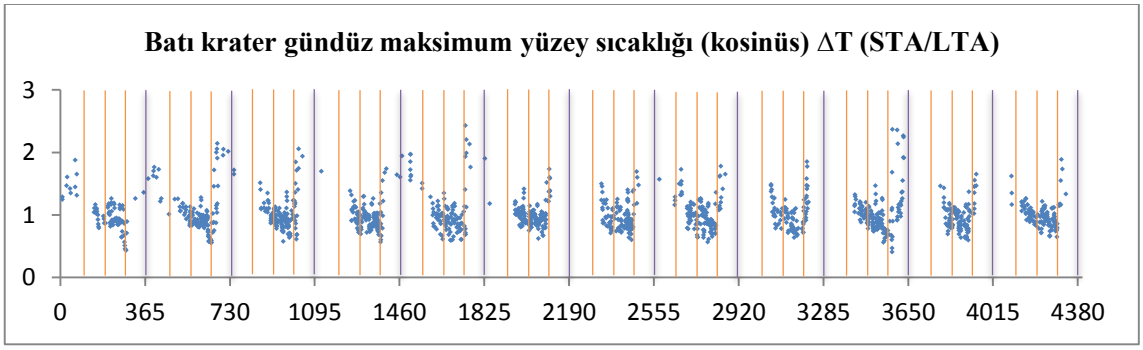


Gün (12 yıllık)

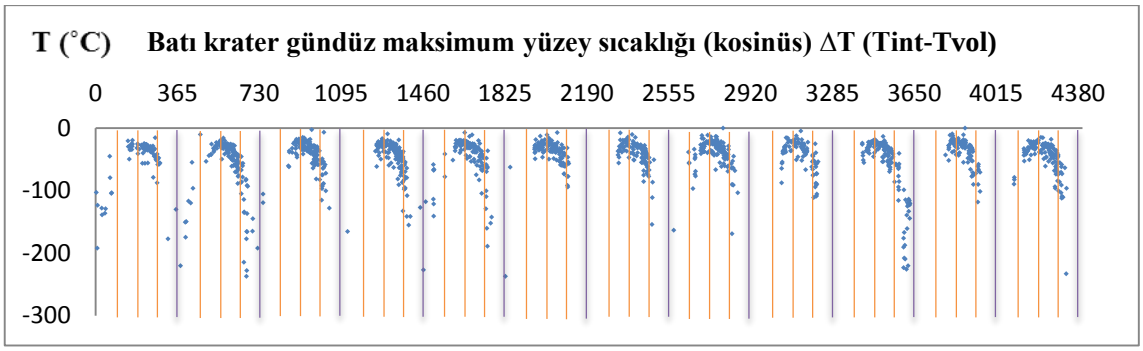


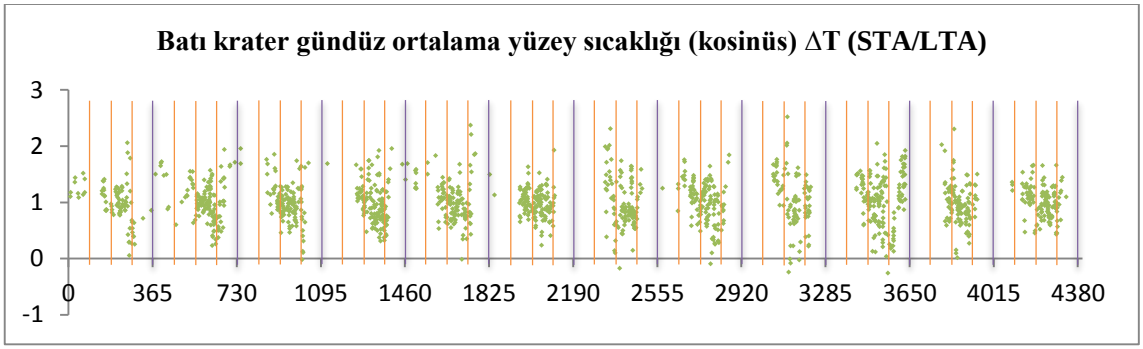


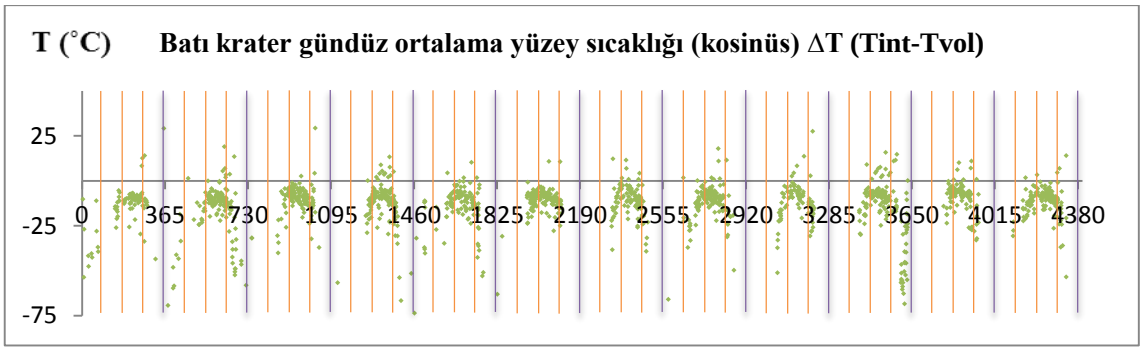


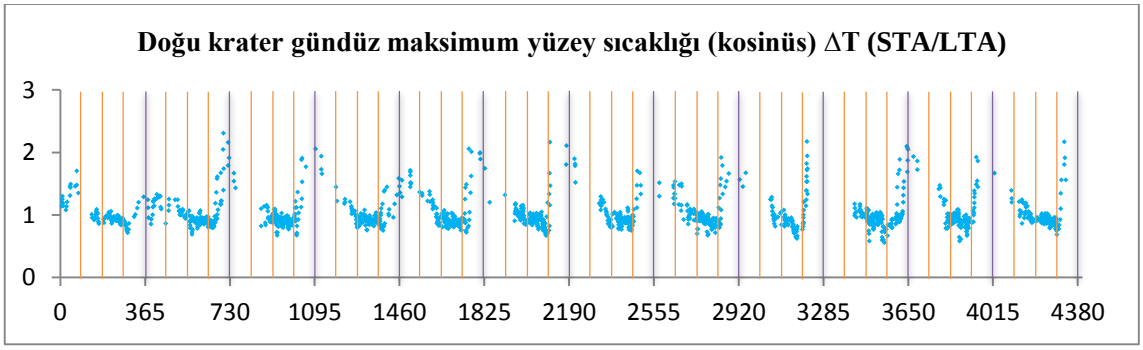


Gün (12 yıllık)

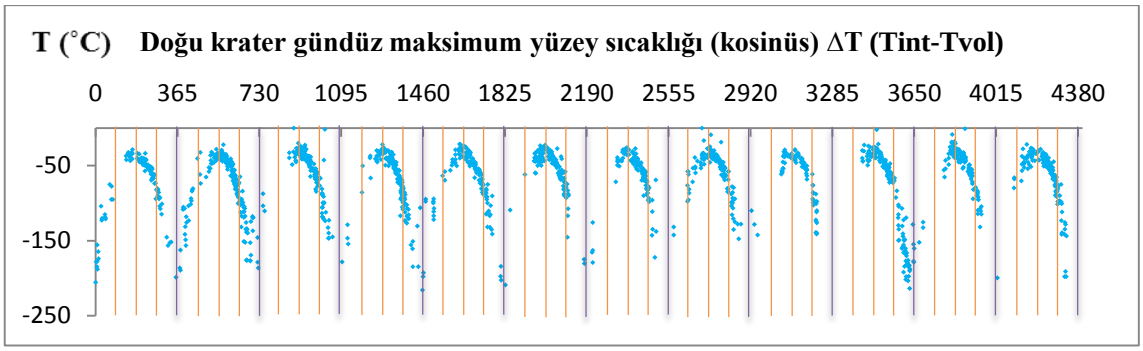


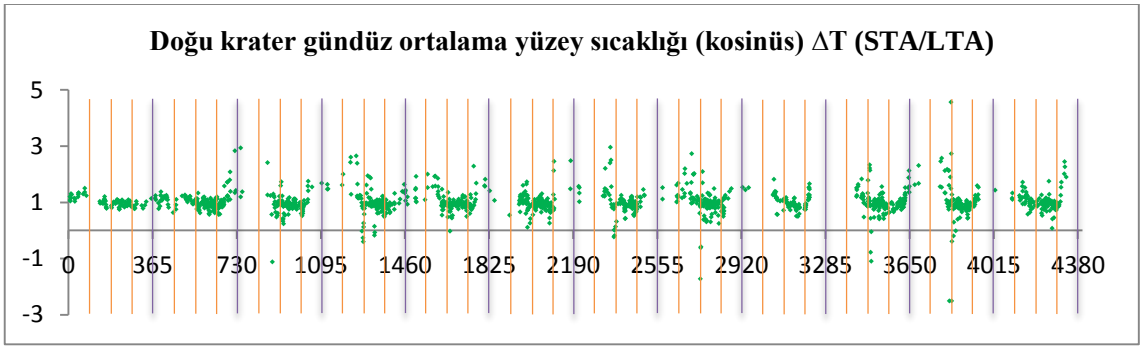


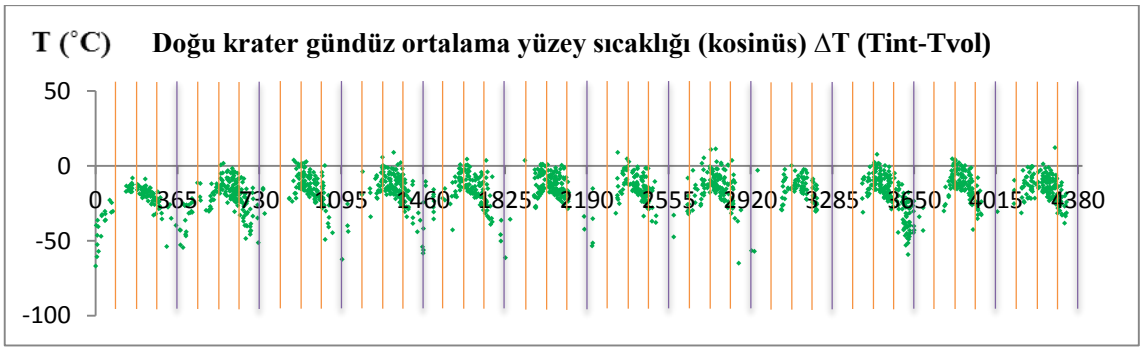




Gün (12 yıllık)

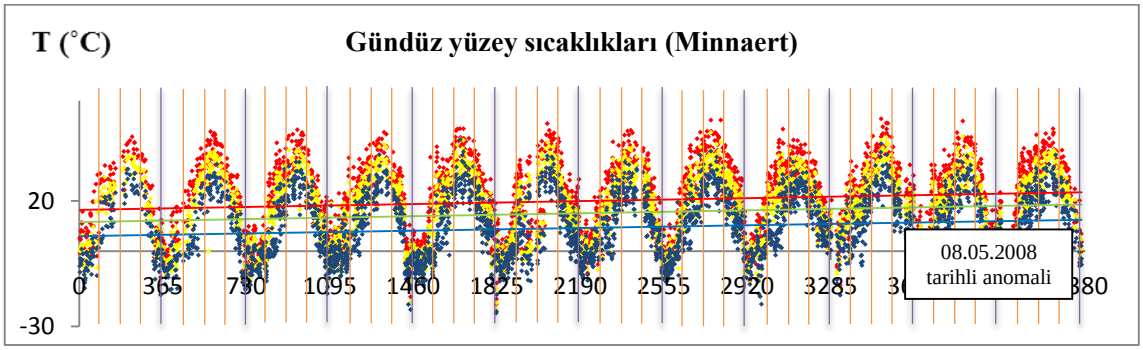


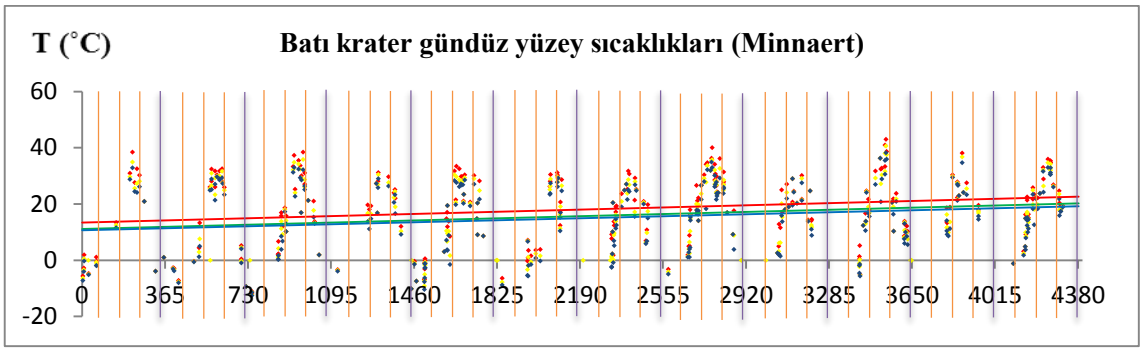


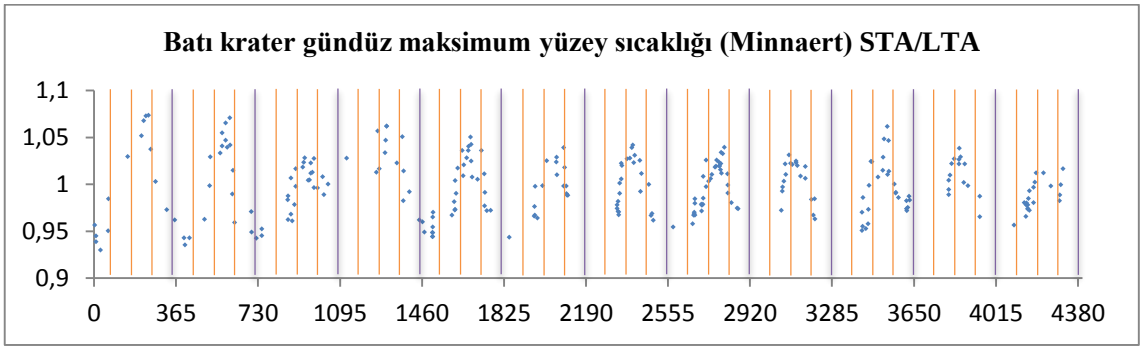


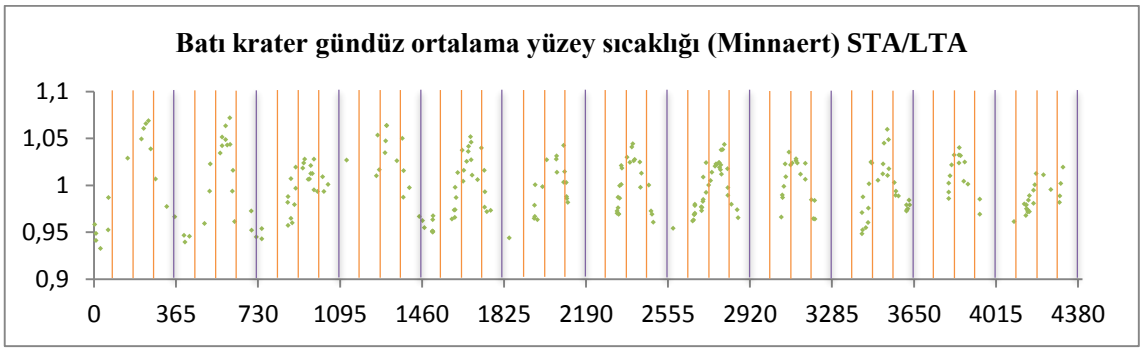
Gün (12 yıllık)

EK-A.2d. Tendürek Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Minnaert düzeltmesi)

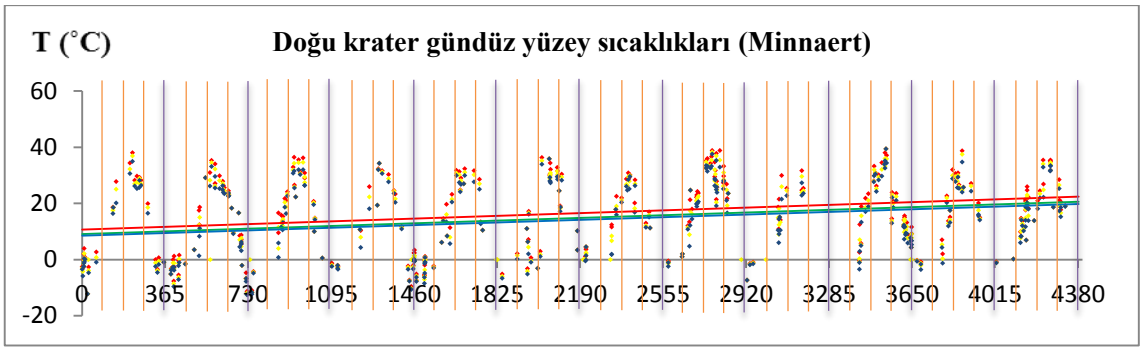


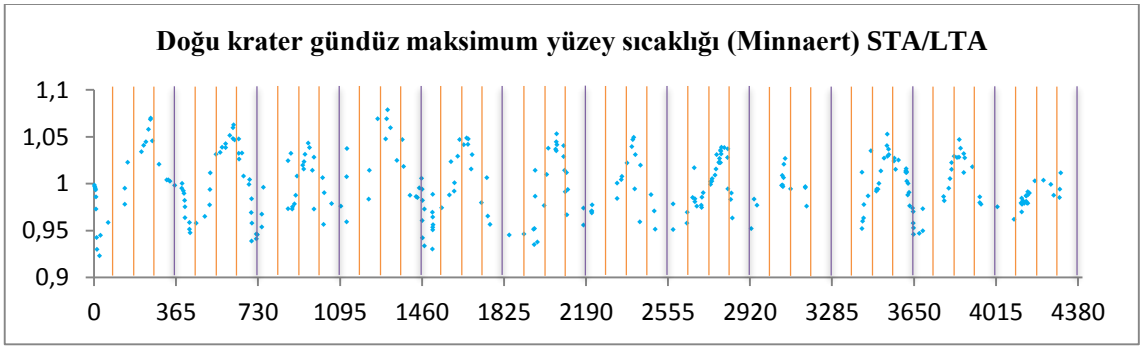


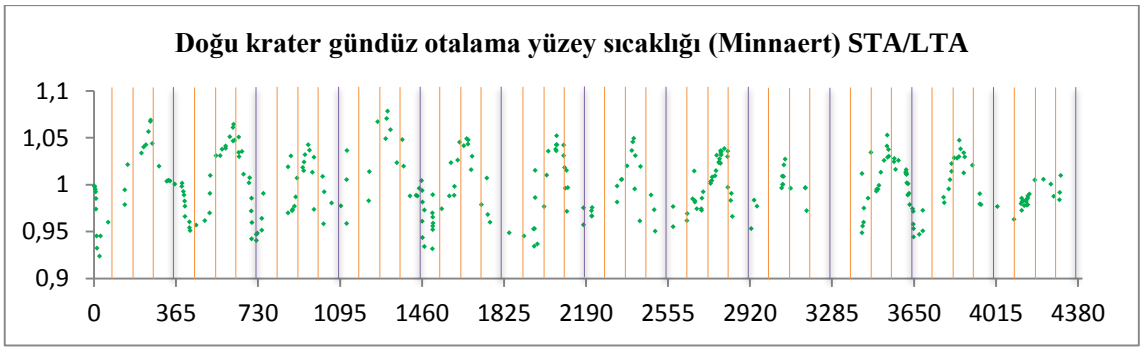


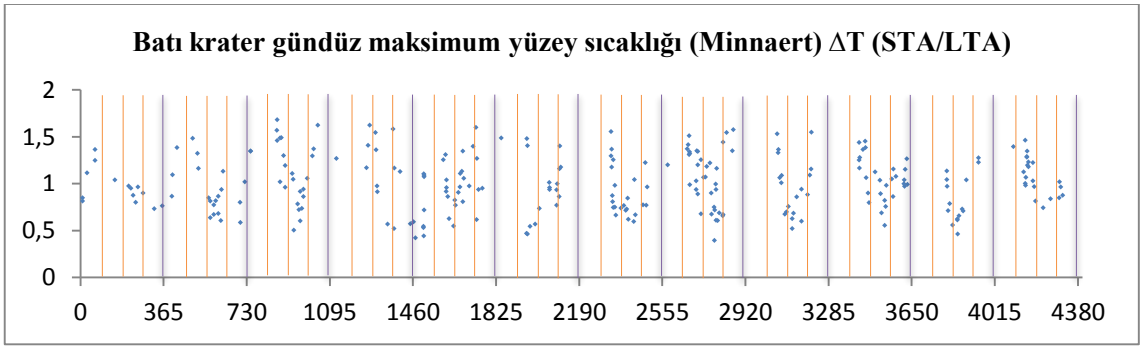


Gün (12 yıllık)

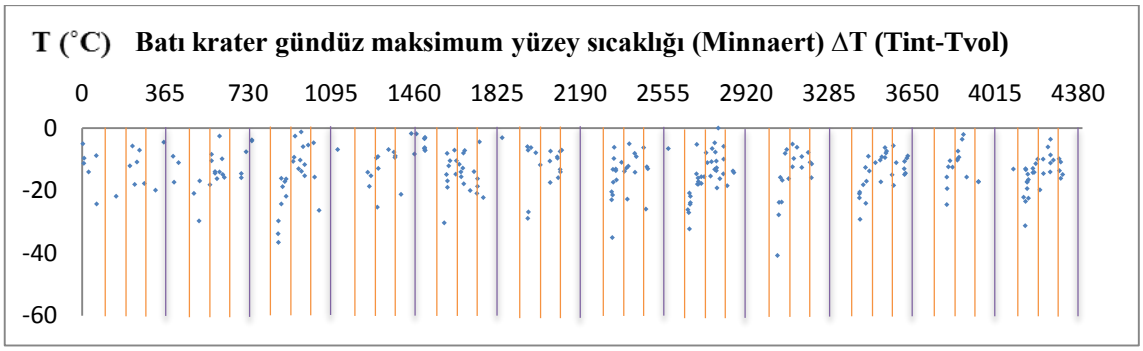


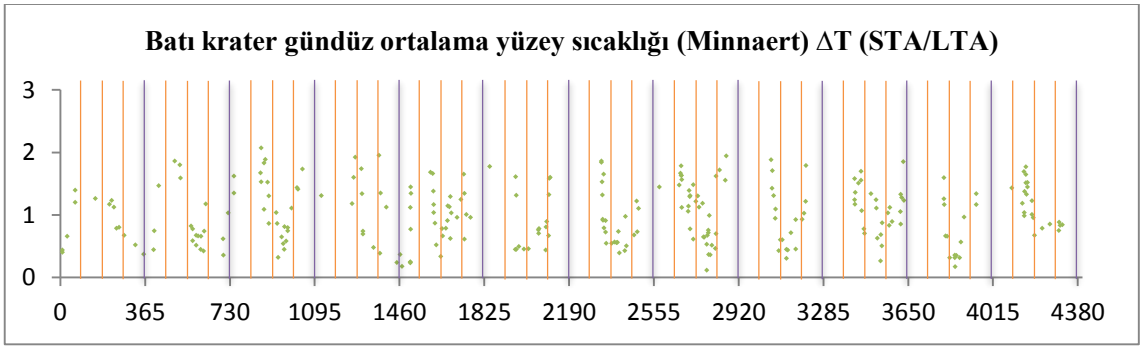


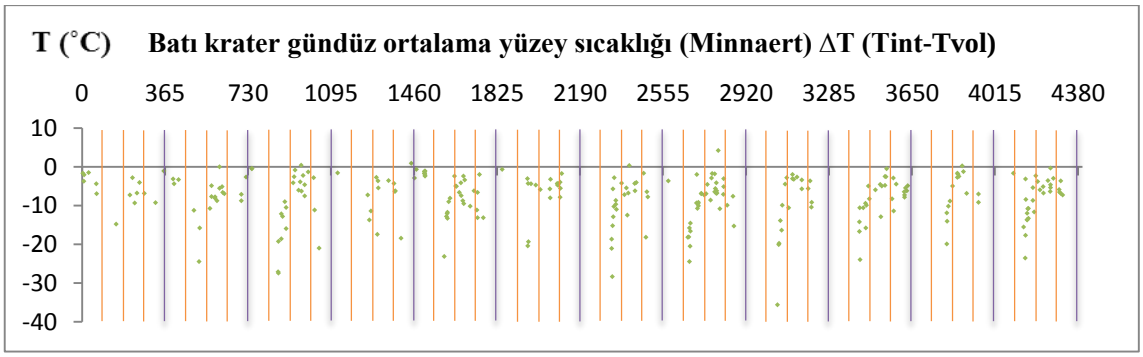


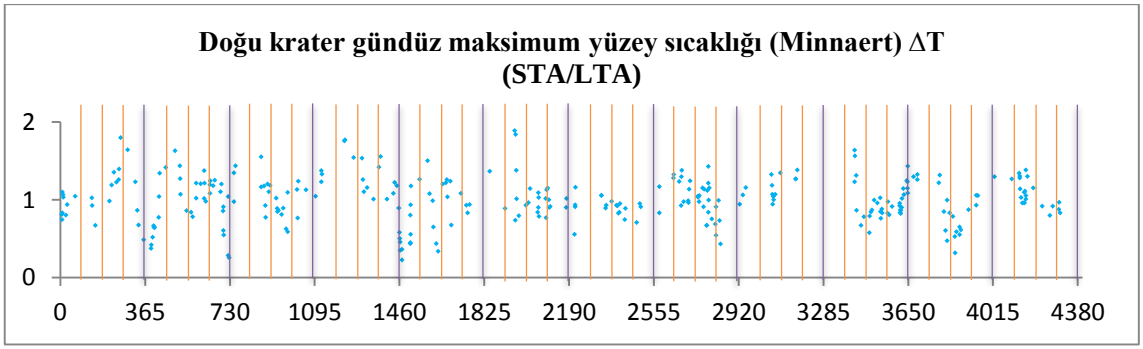


Gün (12 yıllık)

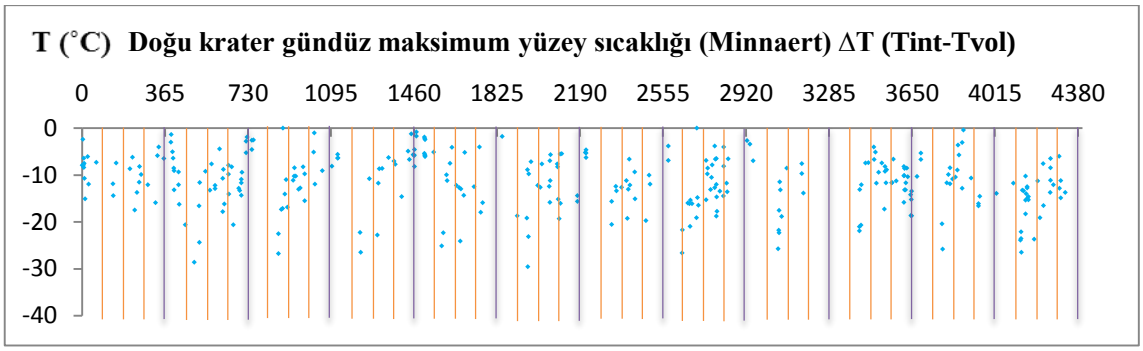


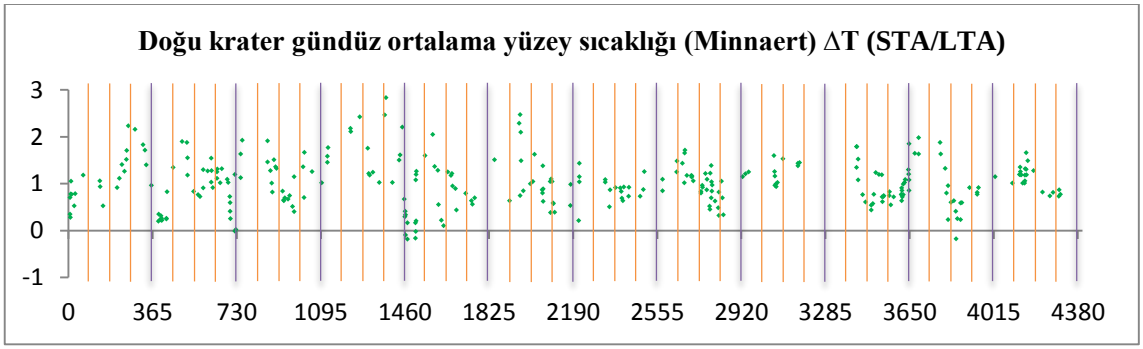


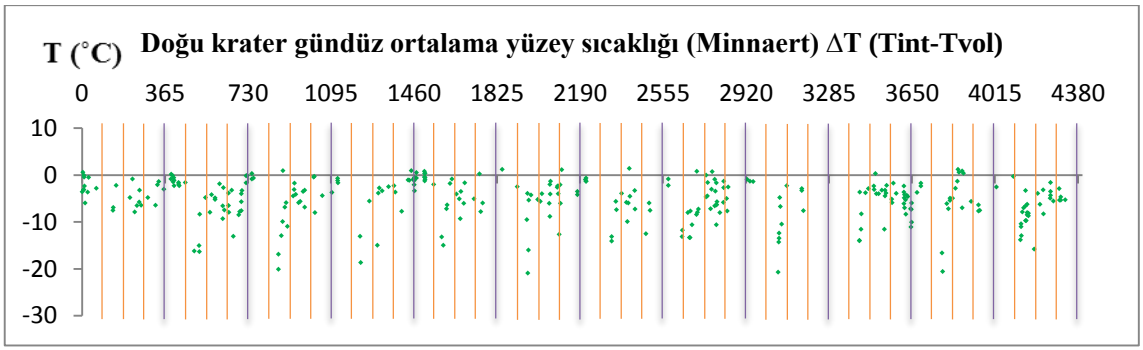




Gün (12 yıllık)

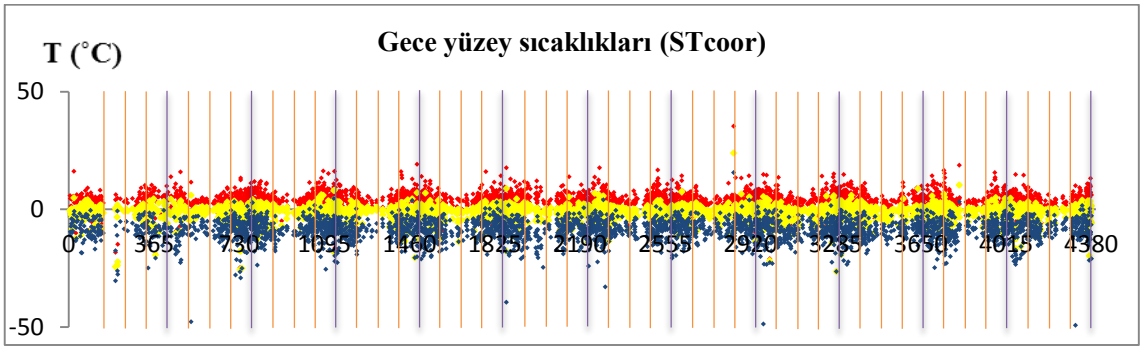


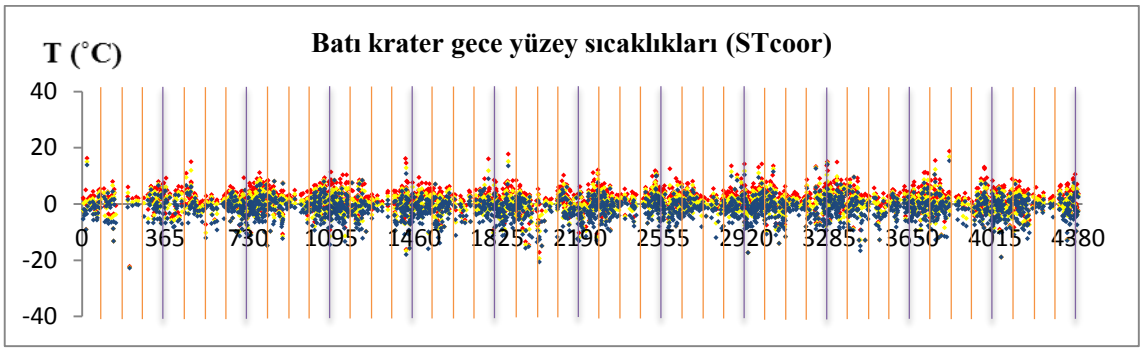


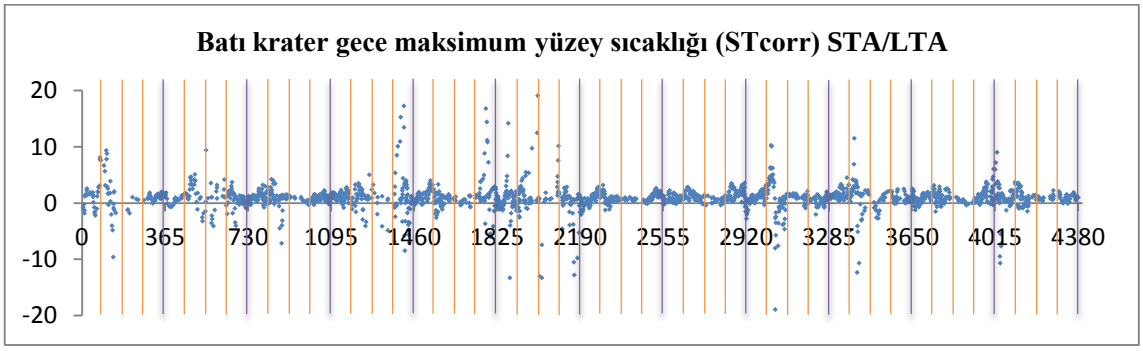


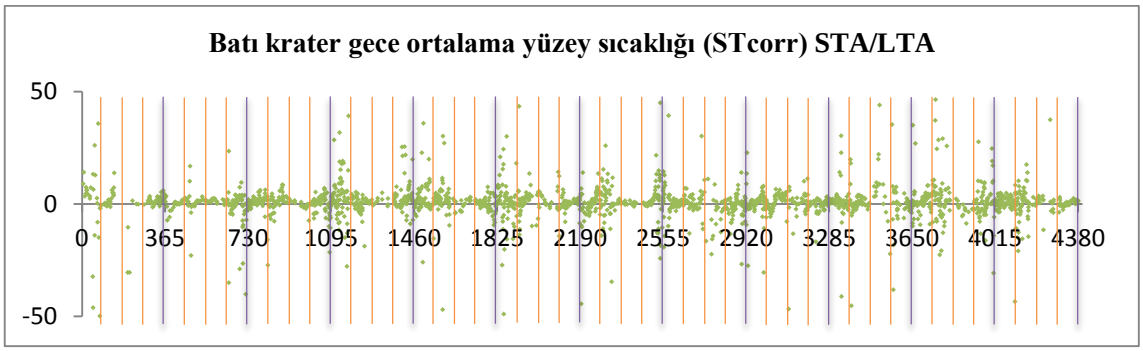
Gün (12 yıllık)

EK-A.2e. Tendürek Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (STcorr düzeltmesi)

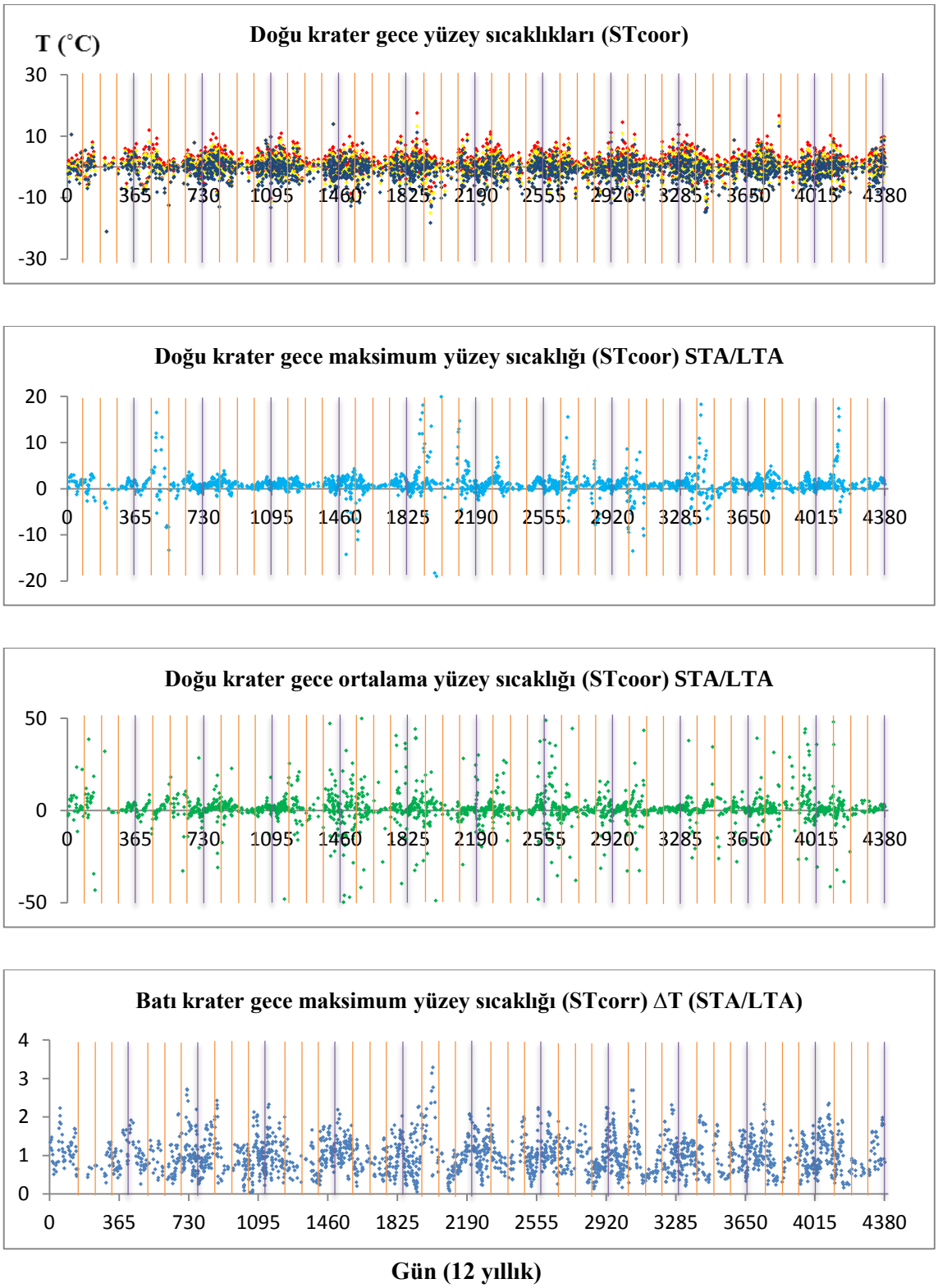


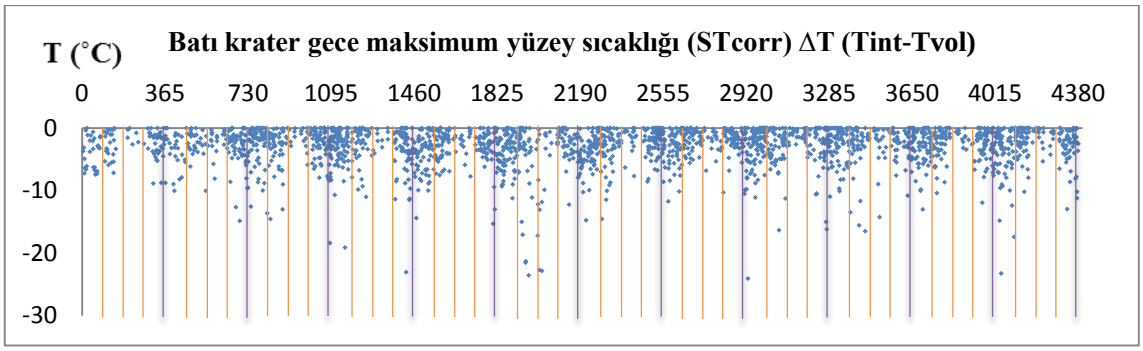


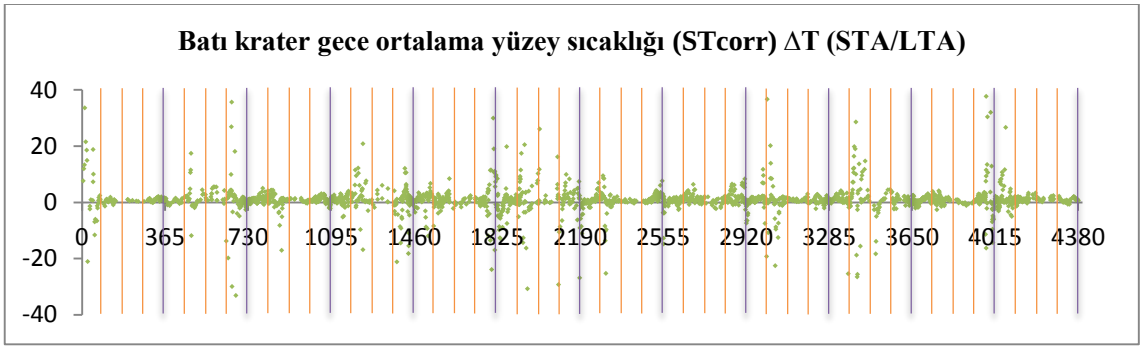


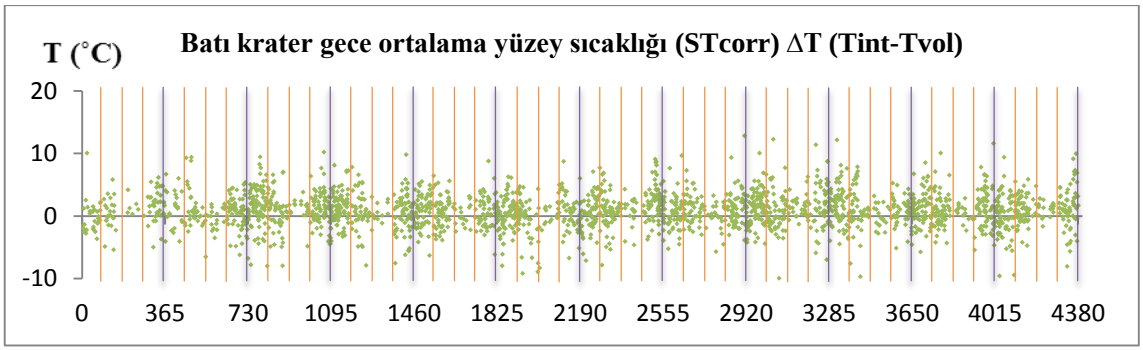


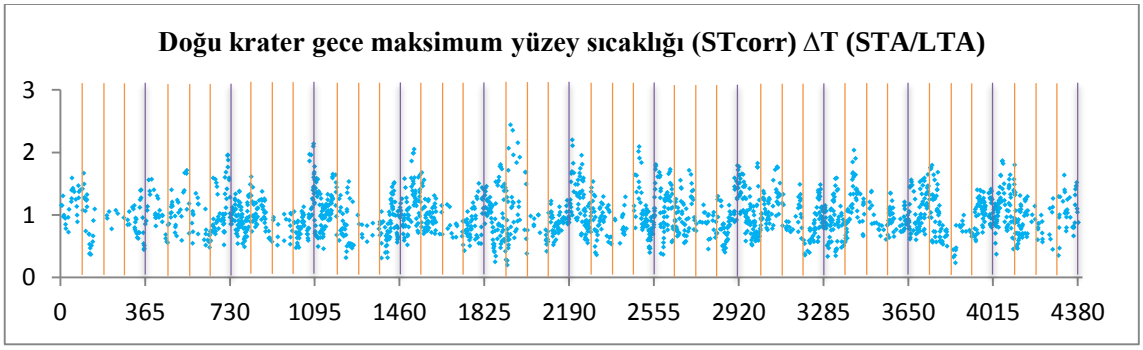
Gün (12 yıllık)


Doğu krater gece yüzey sıcaklıkları (STcoor)
T (˚C)
30
10
-10
-30
0
365
730
1095
1460
1825
2190
2555
2920
3285
3650
4015
4380
Doğu krater gece maksimum yüzey sıcaklığı (STcoor) STA/LTA
20
10
0
-10
-20
Doğu krater gece ortalama yüzey sıcaklığı (STcoor) STA/LTA
50
0
-50
Batı krater gece maksimum yüzey sıcaklığı (STcorr) ΔT (STA/LTA)
4
3
2
1
0
Gün (12 yıllık)

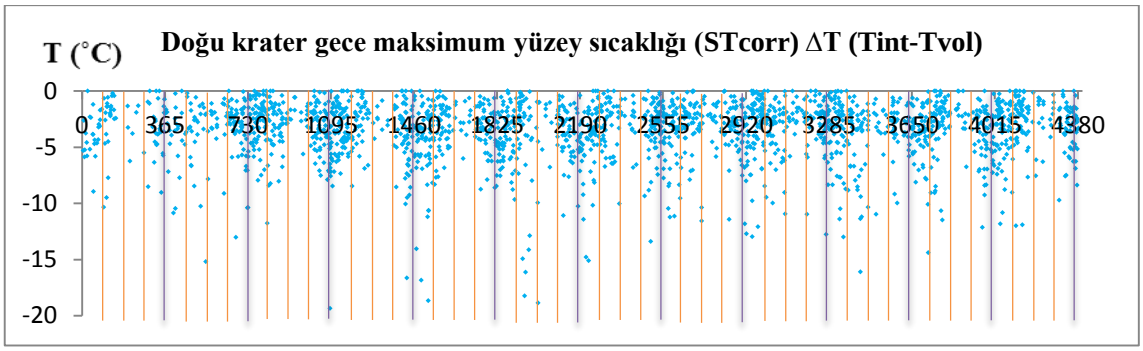


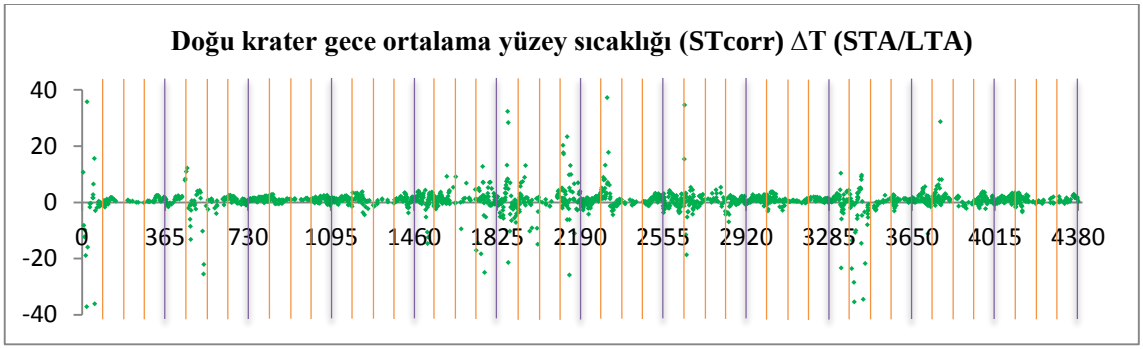


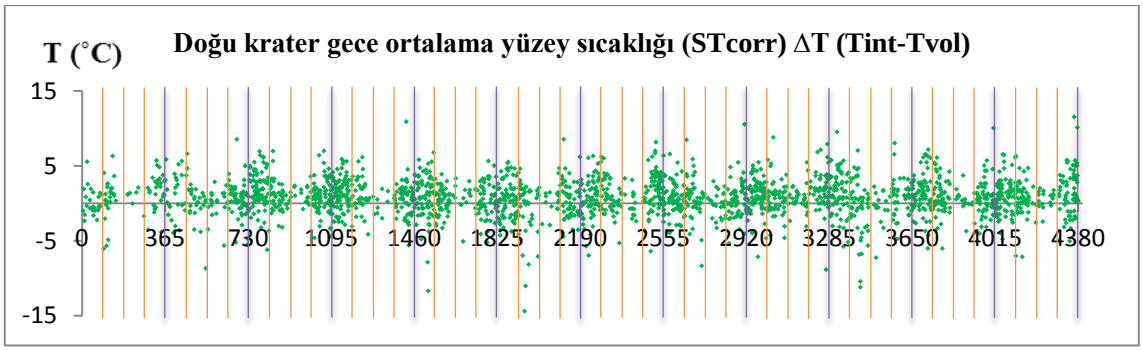




Gün (12 yıllık)

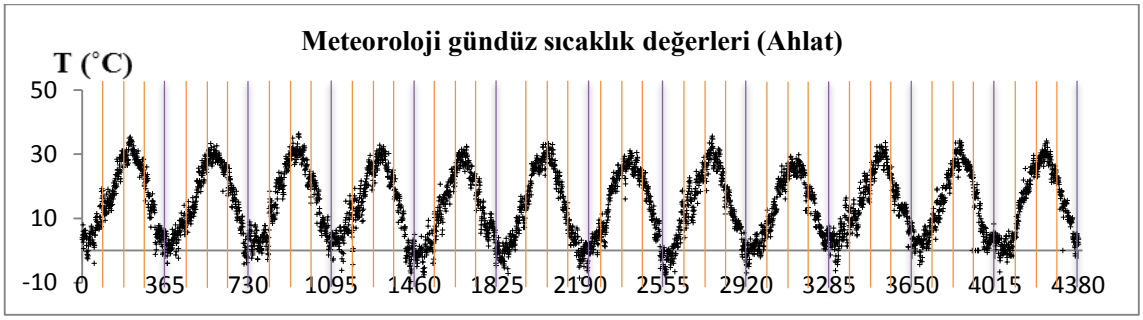


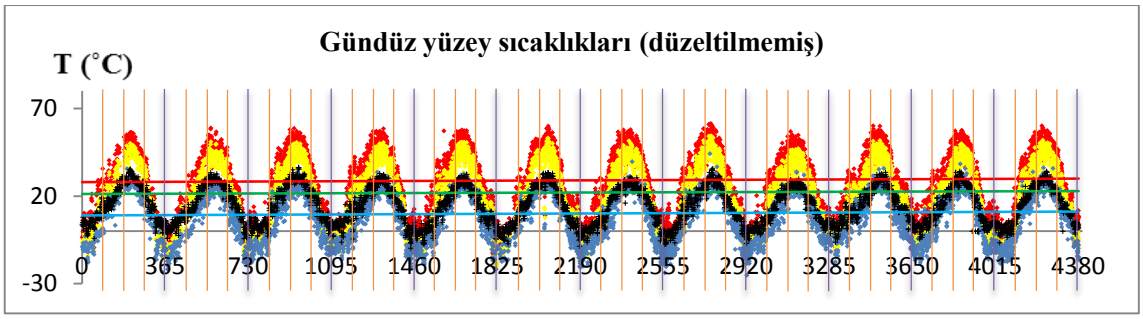


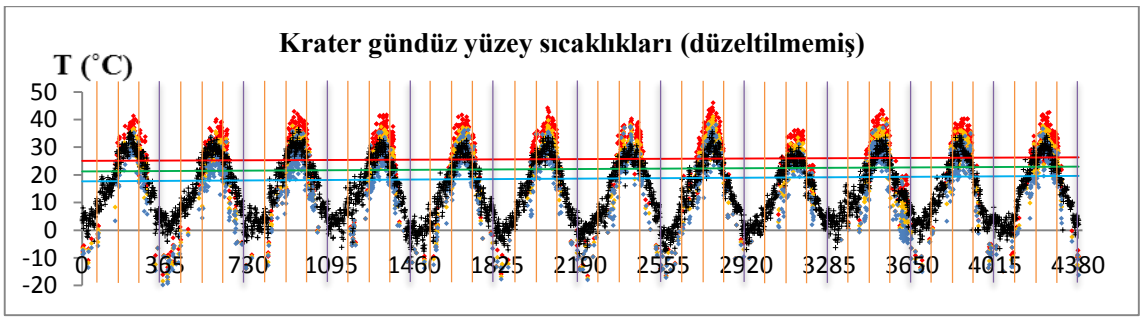


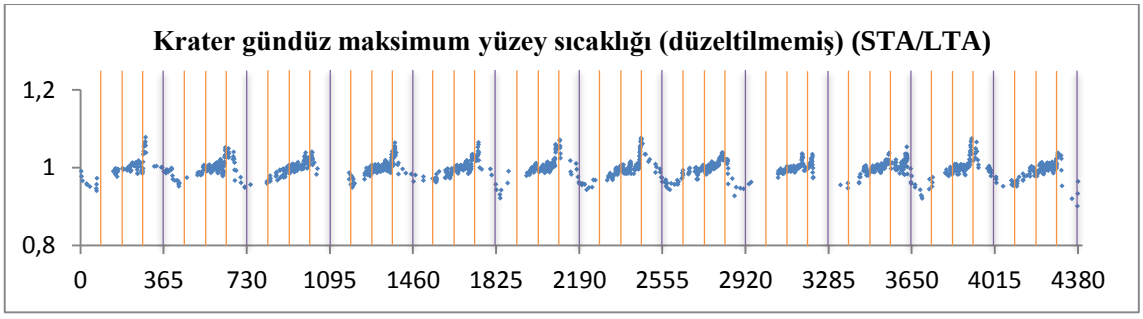
Gün (12 yıllık)

EK-A.3a. Süphan Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (düzeltilmemiş)

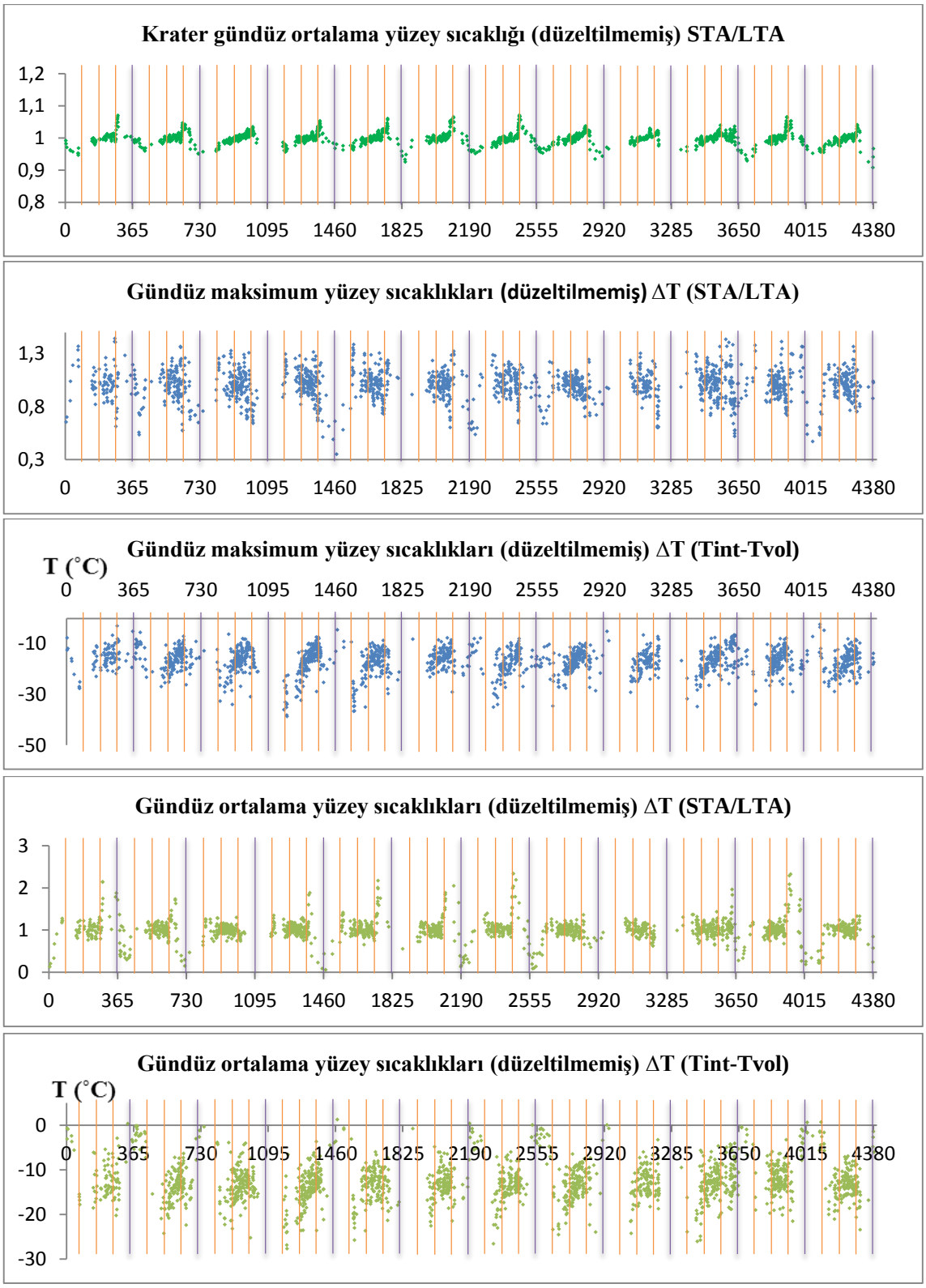




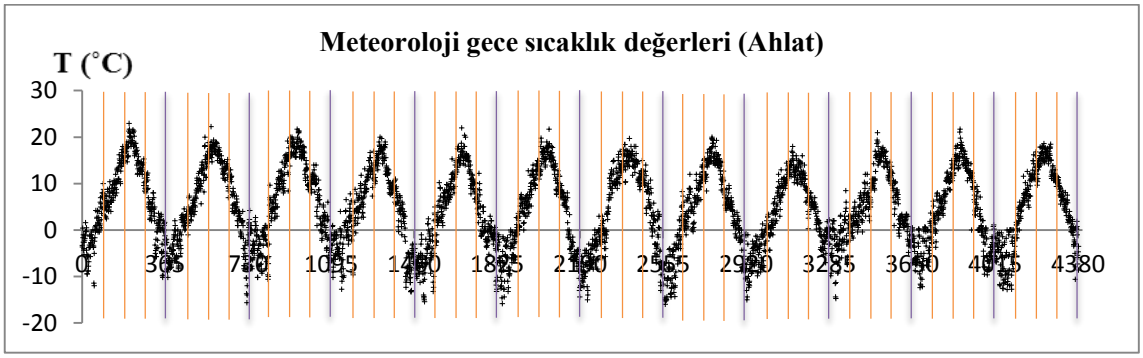


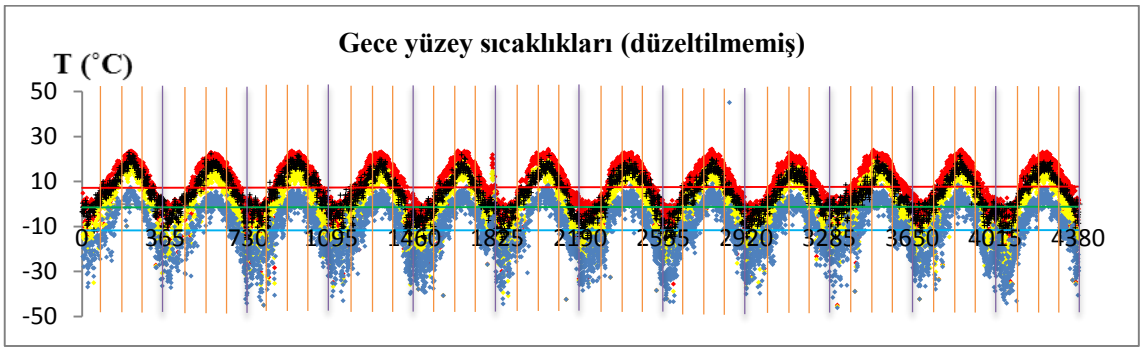


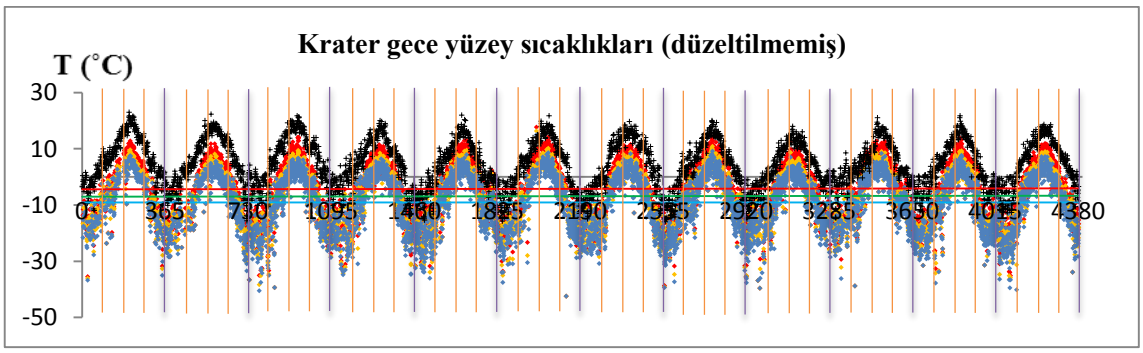
Gün (12 yıllık)

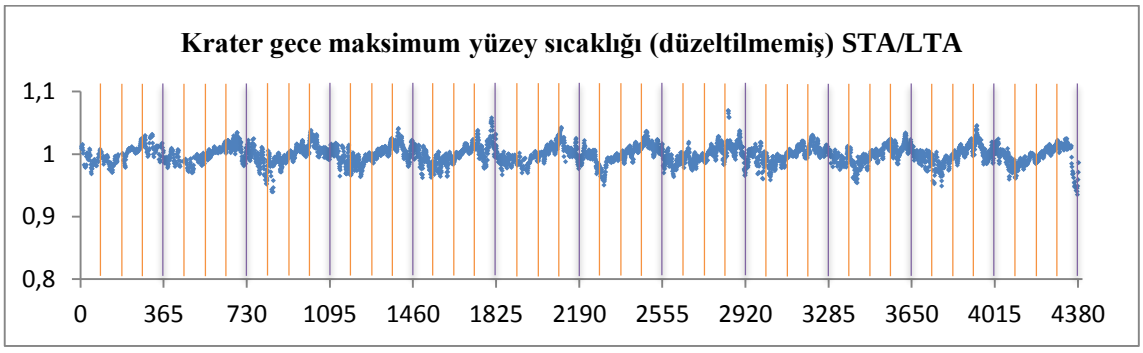

Krater gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) STA/LTA
1,2
1,1
1
0,9
0,8
0 365 730 1095 1460 1825 2190 2555 2920 3285 3650 4015 4380
Gündüz maksimum yüzey sıcaklıkları (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
1,3
0,8
0,3
0 365 730 1095 1460 1825 2190 2555 2920 3285 3650 4015 4380
Gündüz maksimum yüzey sıcaklıkları (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
T (˚C)
0 365 730 1095 1460 1825 2190 2555 2920 3285 3650 4015 4380
-10
-30
-50
Gündüz ortalama yüzey sıcaklıkları (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
3
2
1
0
0 365 730 1095 1460 1825 2190 2555 2920 3285 3650 4015 4380
Gündüz ortalama yüzey sıcaklıkları (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
T (˚C)
0
-10
-20
-30
0 365 730 1095 1460 1825 2190 2555 2920 3285 3650 4015 4380
Gün (12 yıllık)

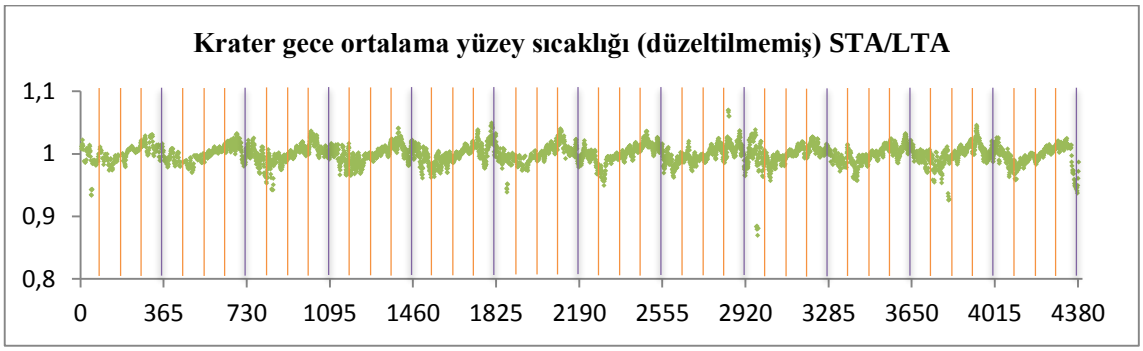
EK-A.3b. Süphan Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Düzeltilmemiş)

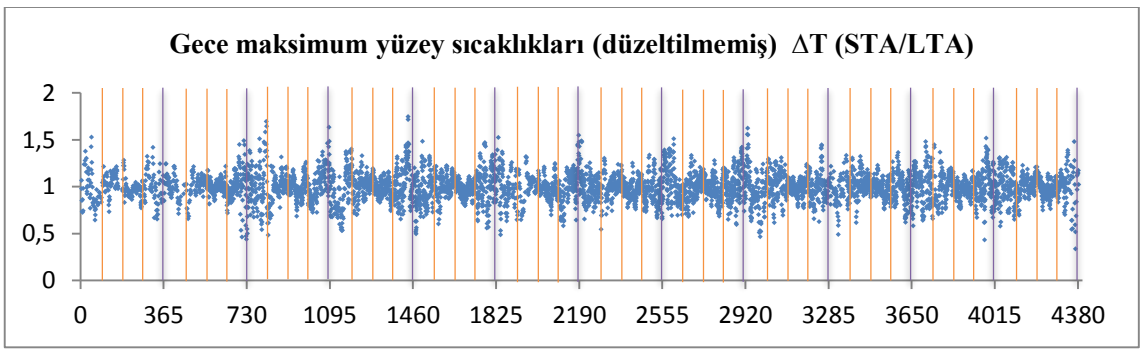


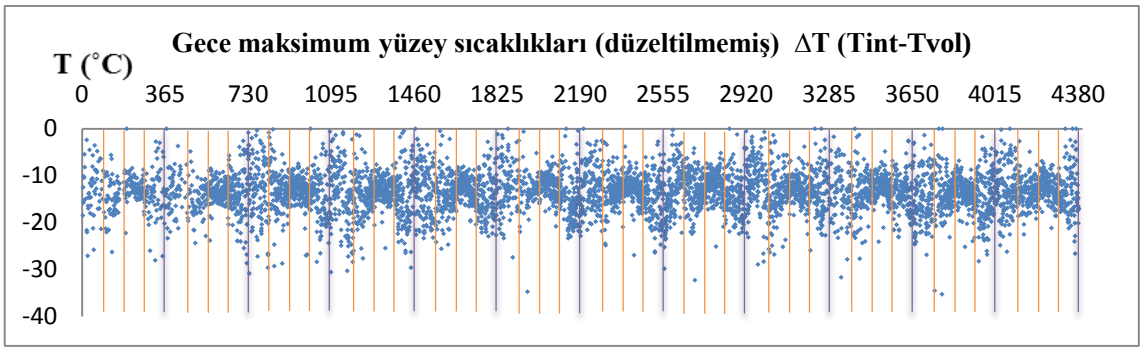


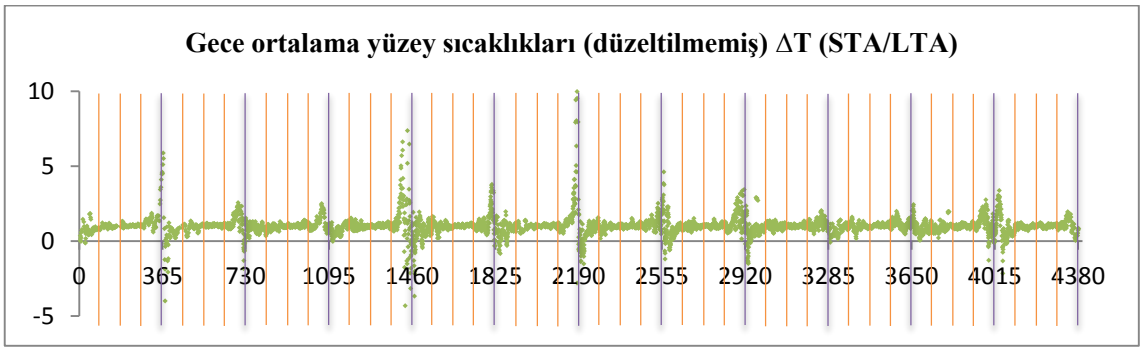


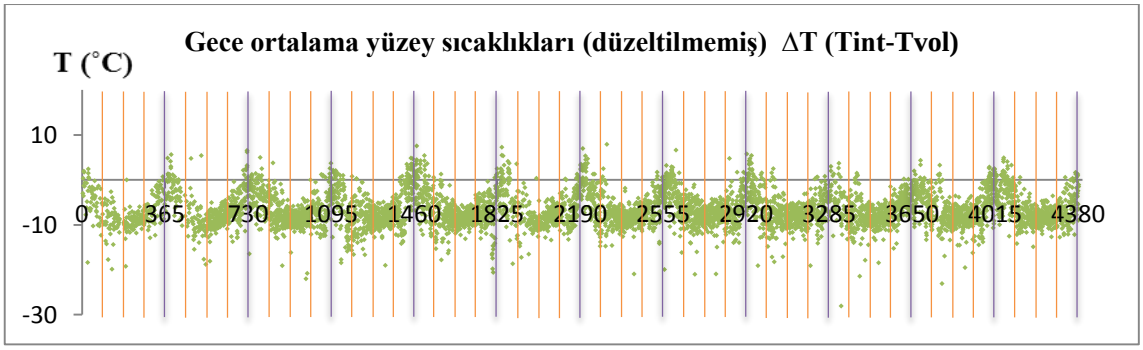






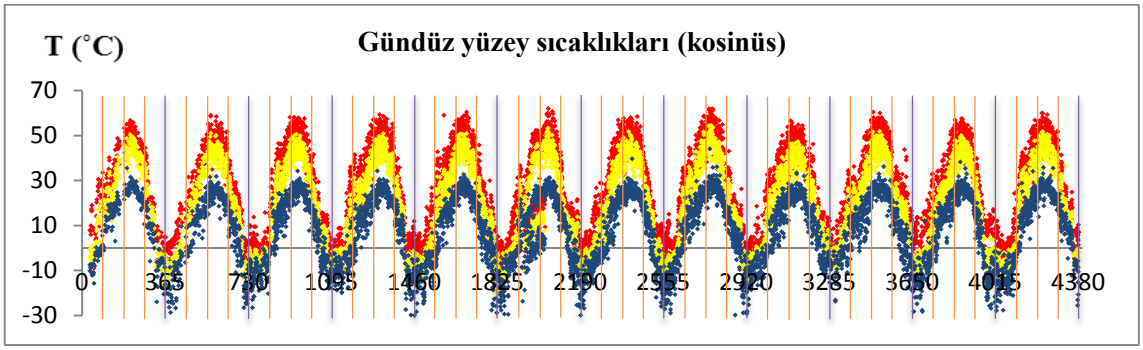


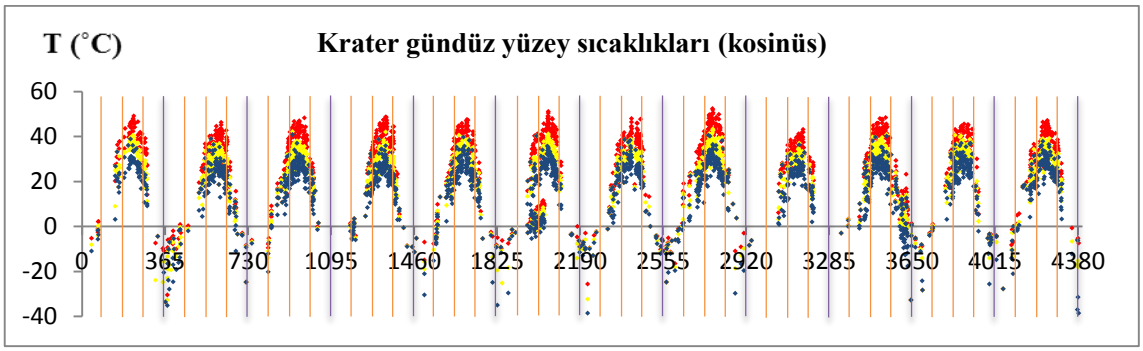


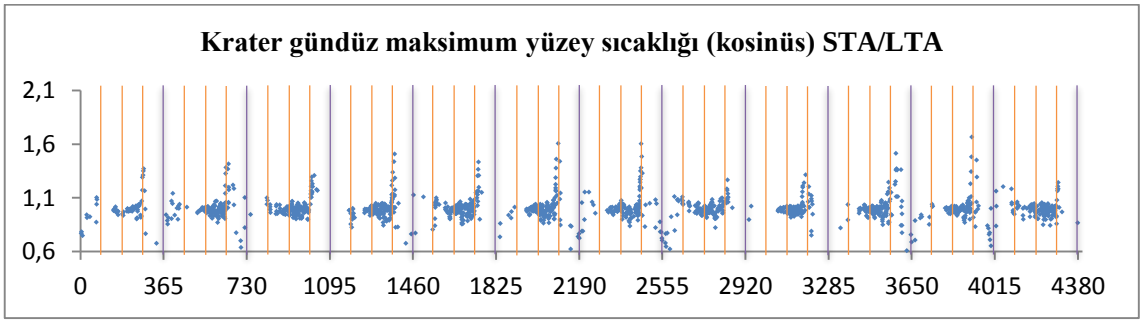


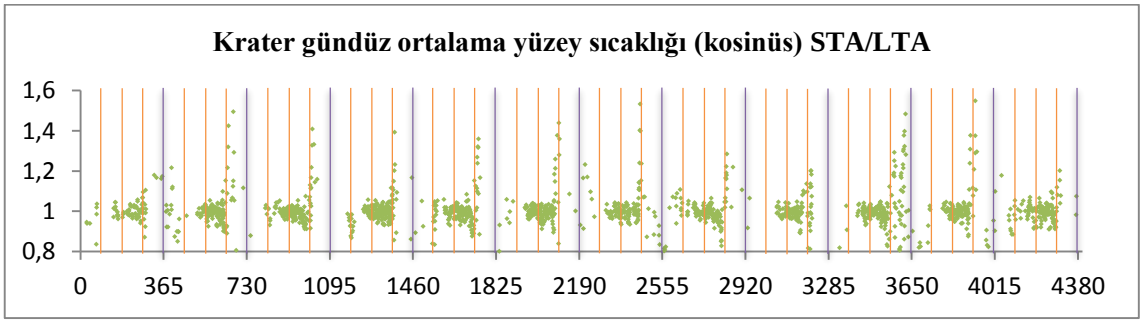
Gün (12 yıllık)

EK-A.3c. Süphan Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Kosinüs Düzeltmesi)

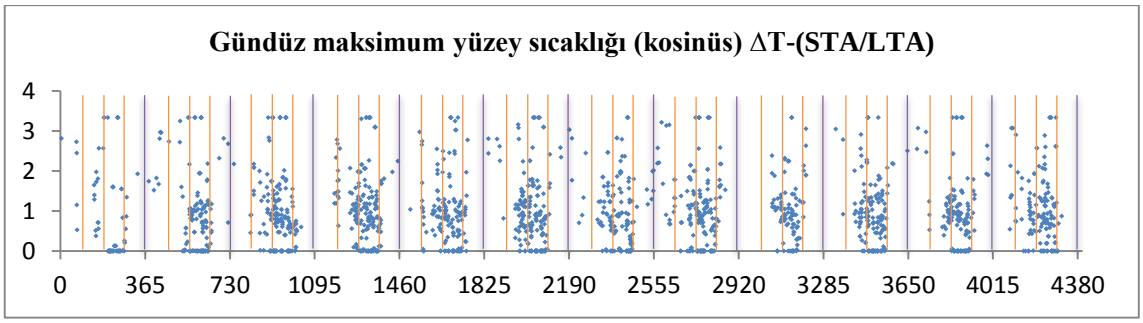


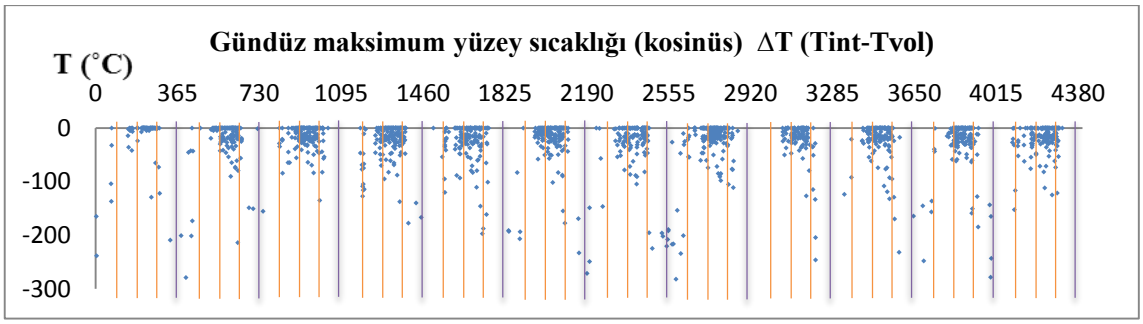


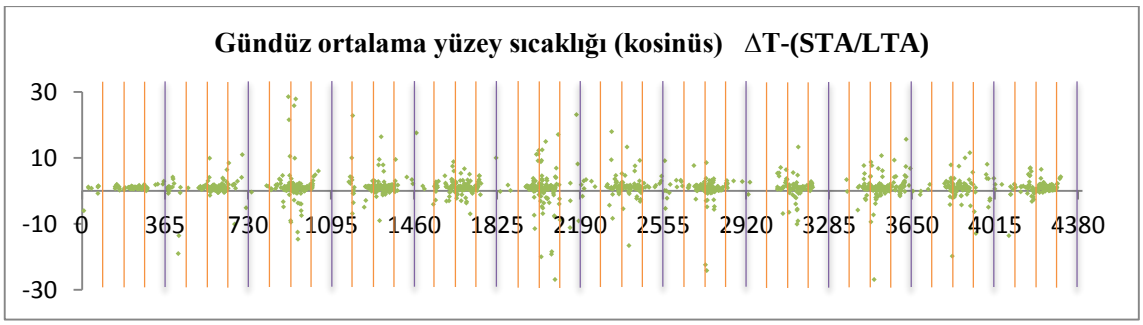


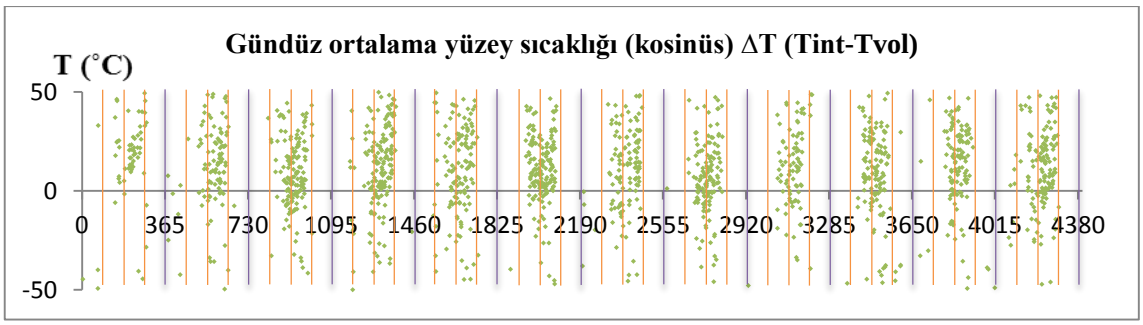


Gün (12 yıllık)



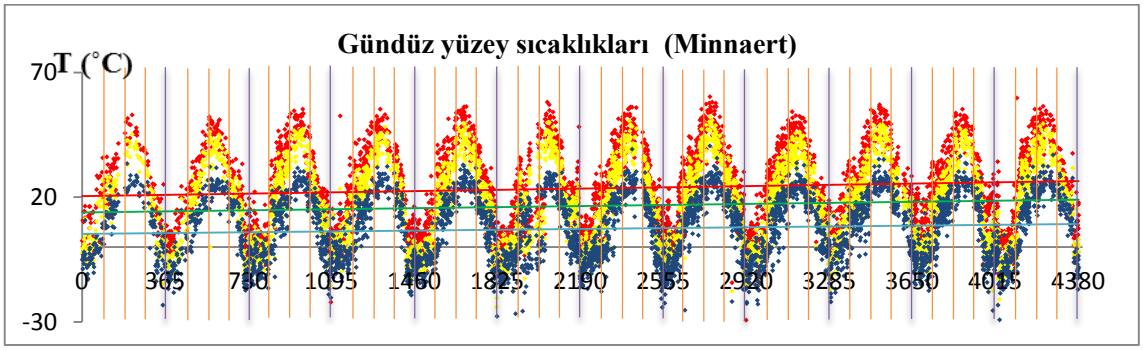


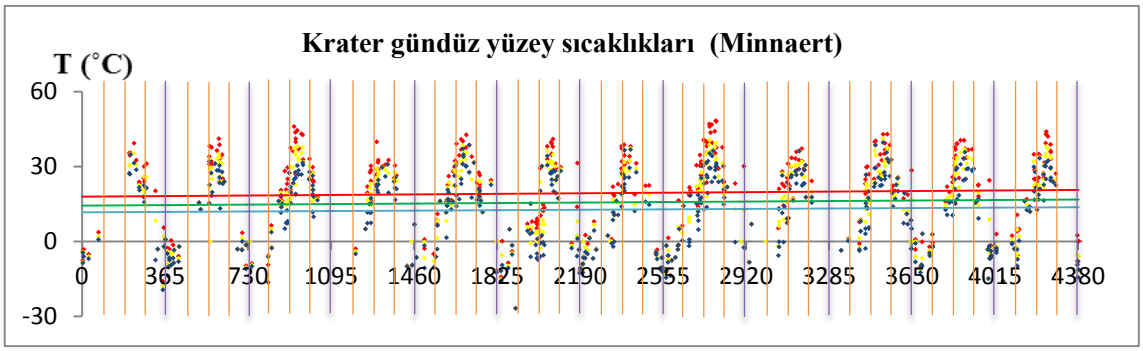


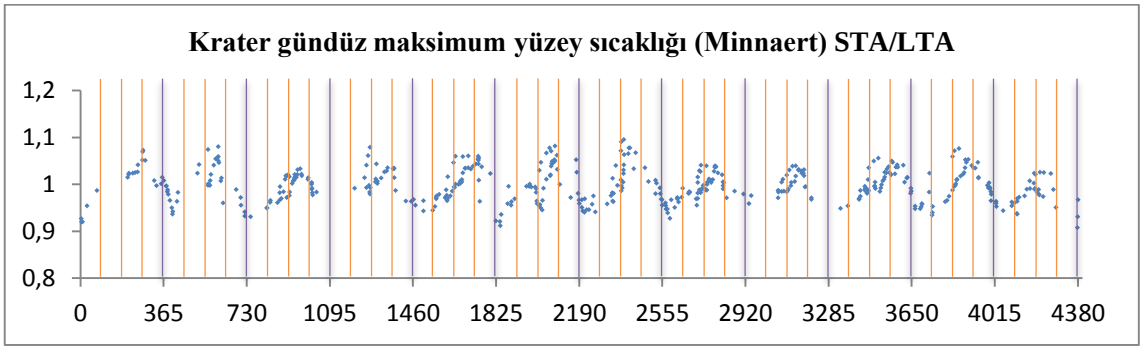


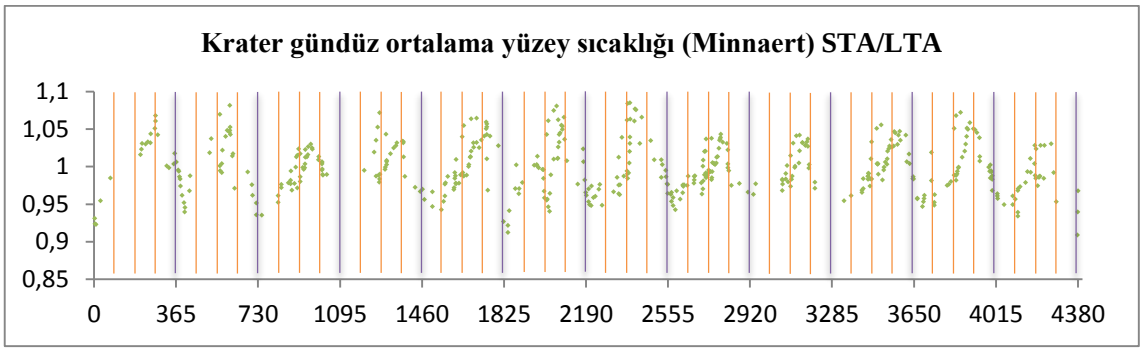
Gün (12 yıllık)

EK-A.3d. Süphan Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Minnaert Düzeltmesi)

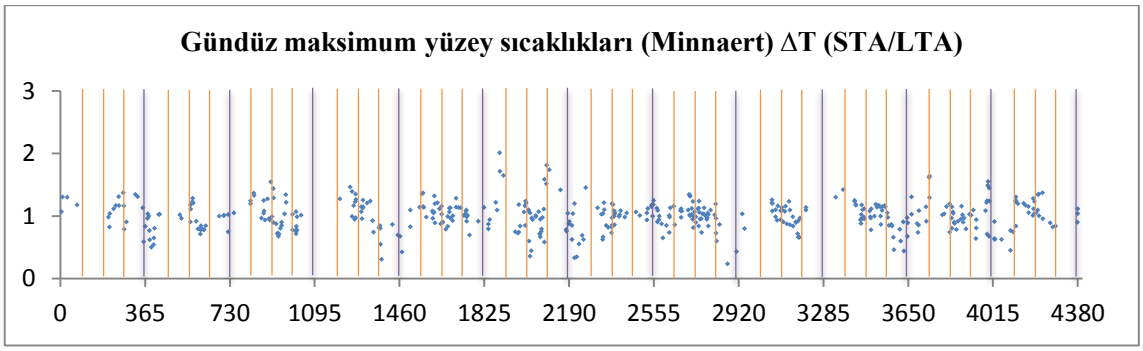


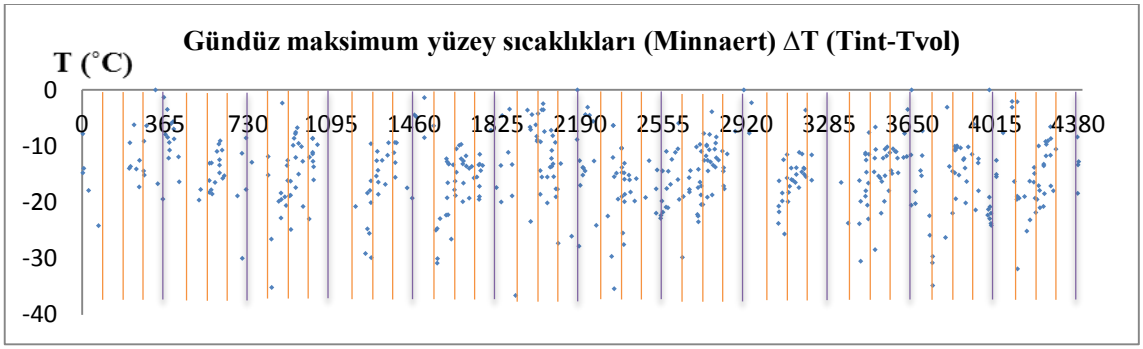


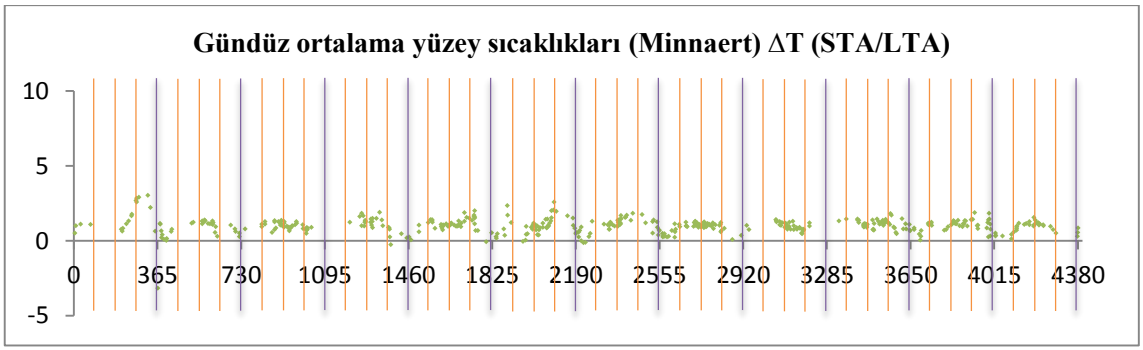


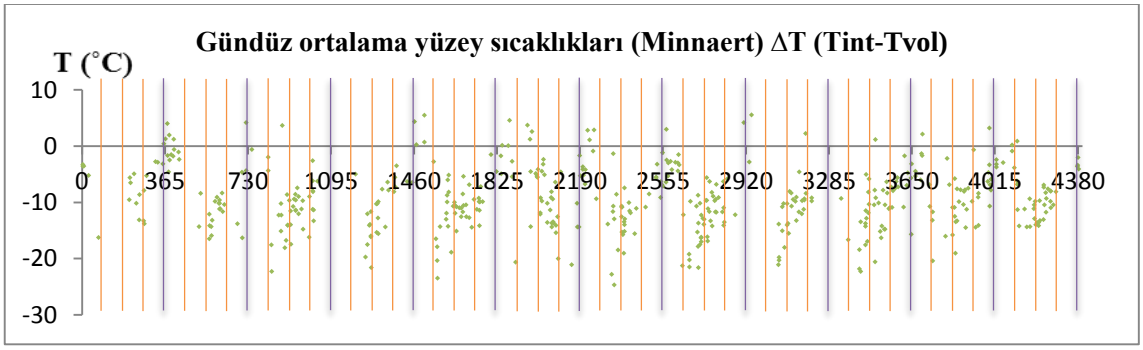


Gün (12 yıllık)



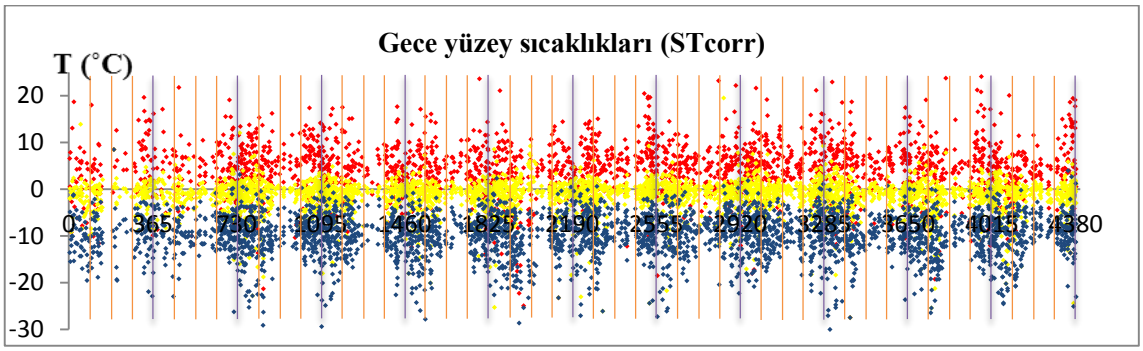


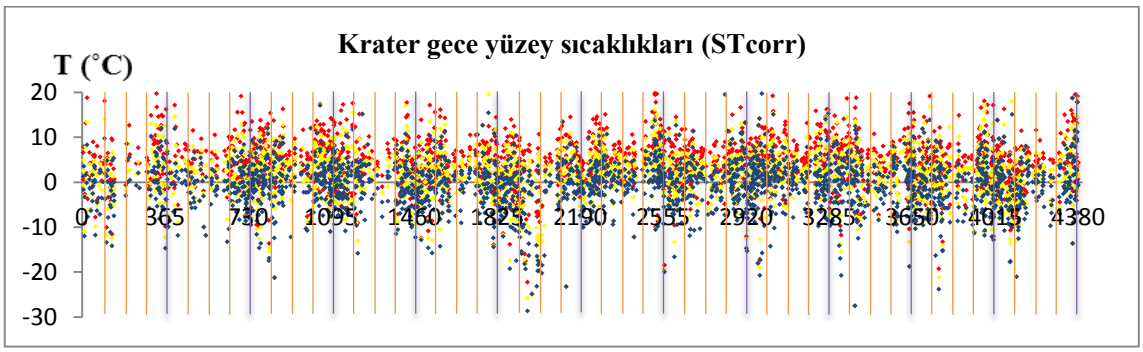


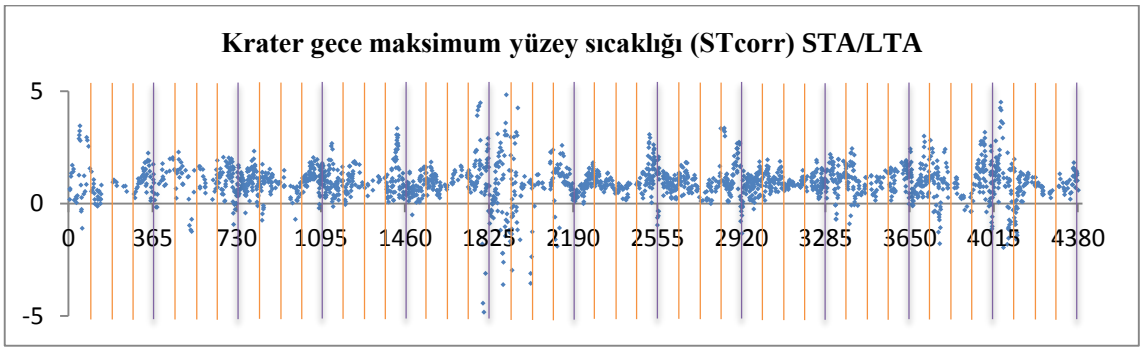


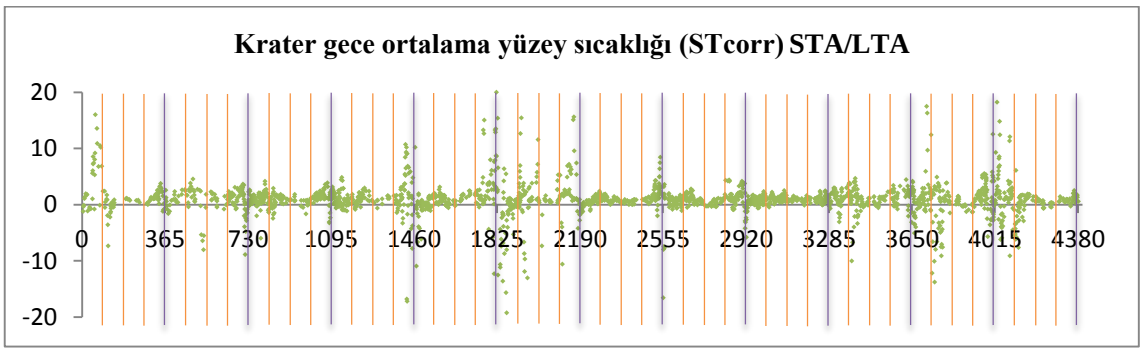
Gün (12 yıllık)

EK-A.3e. Süphan Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (STcorr Düzeltmesi)

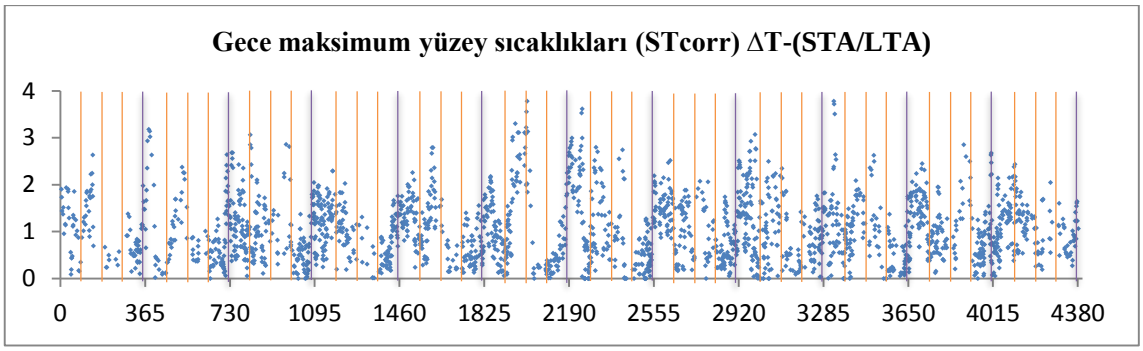


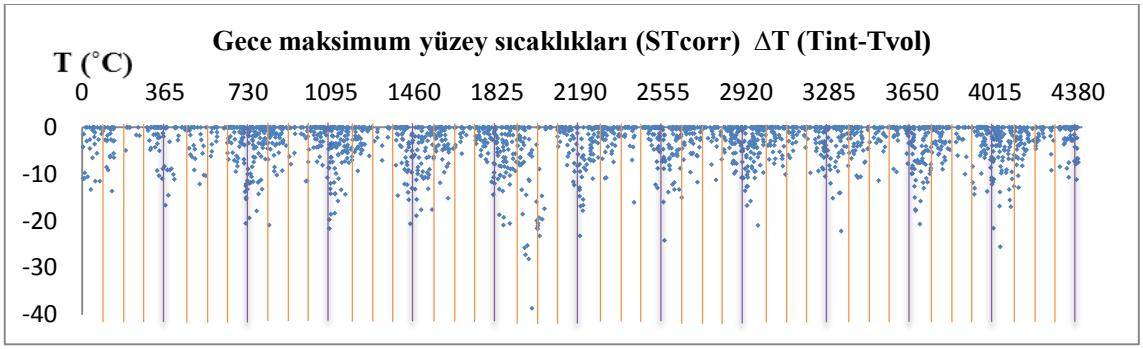


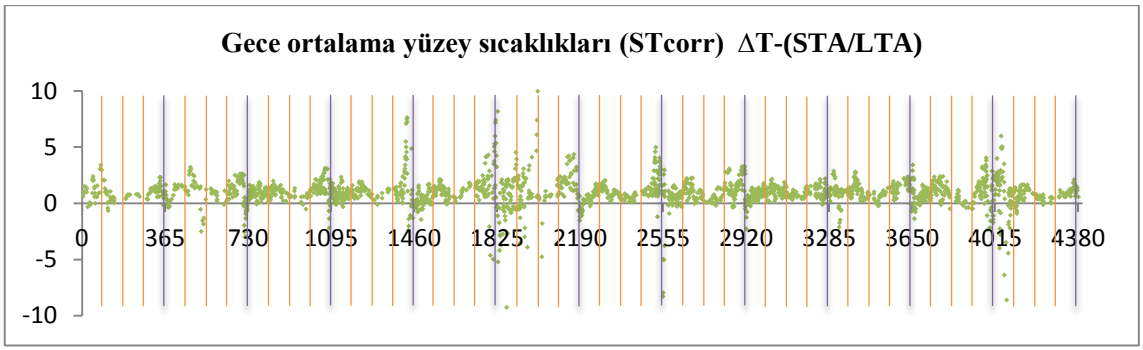


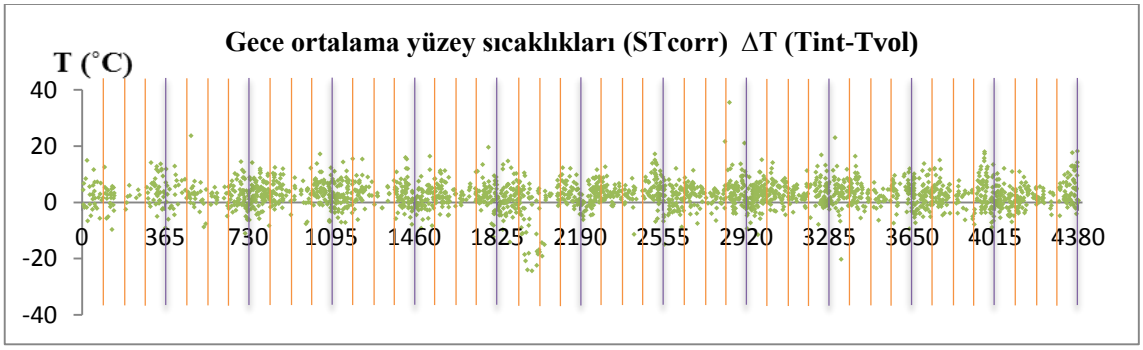


Gün (12 yıllık)



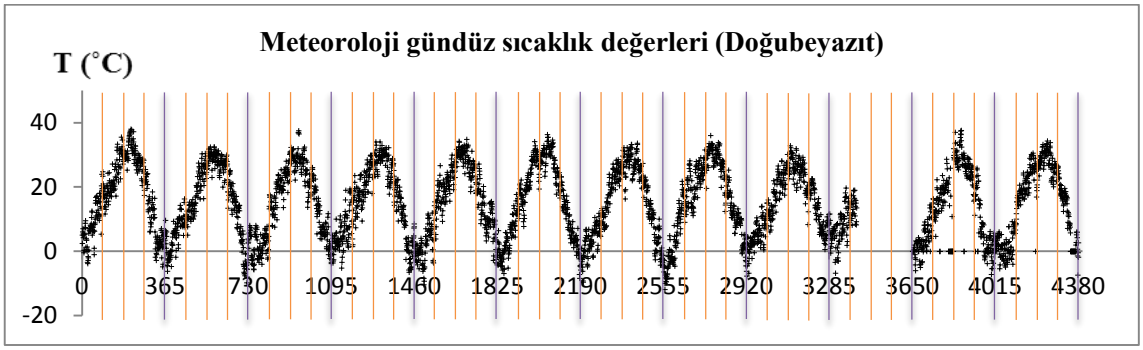


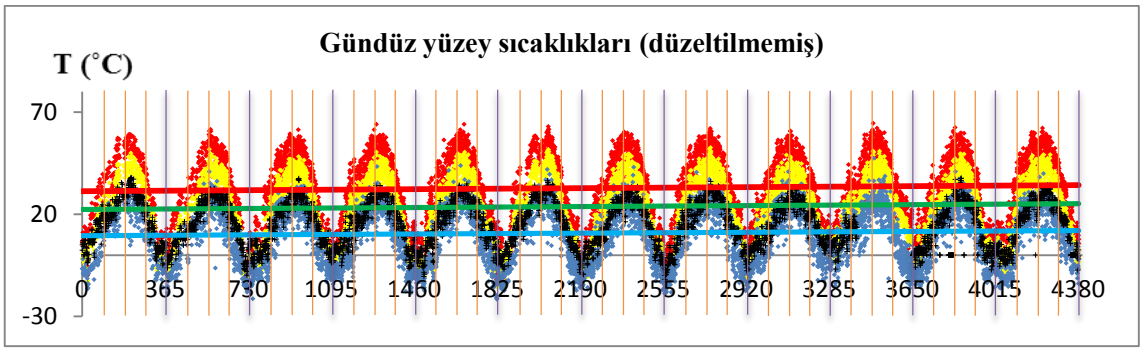


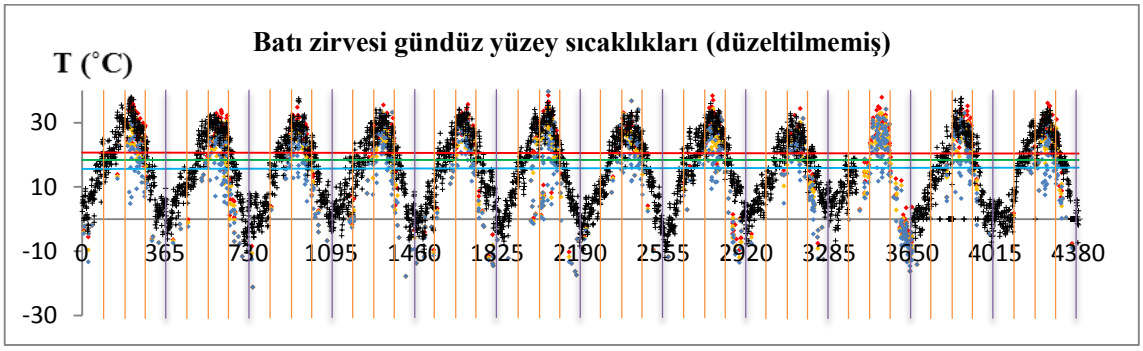


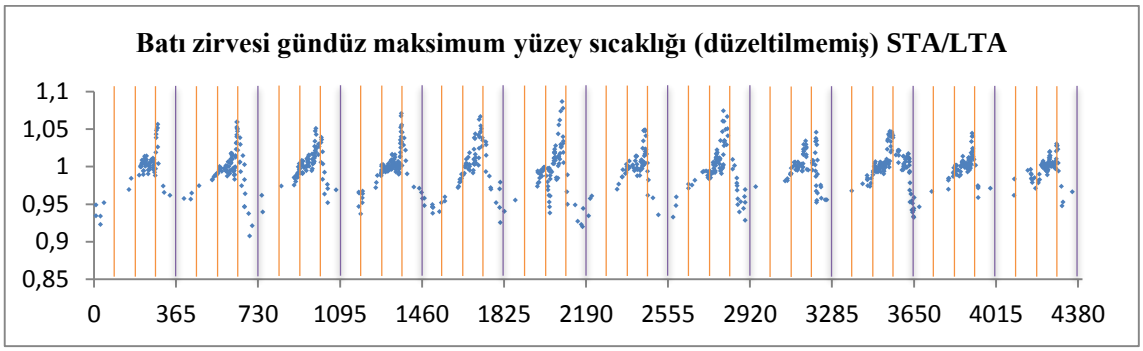
Gün (12 yıllık)

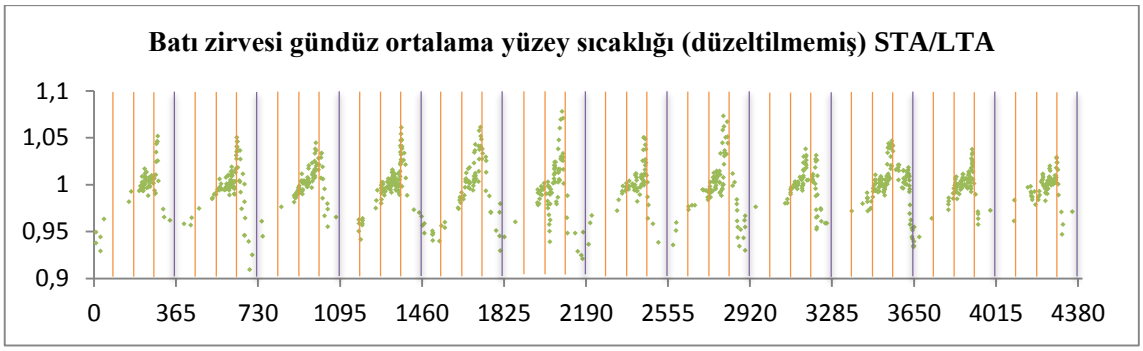
EK-A.4a. Ağrı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Düzeltilmemiş)

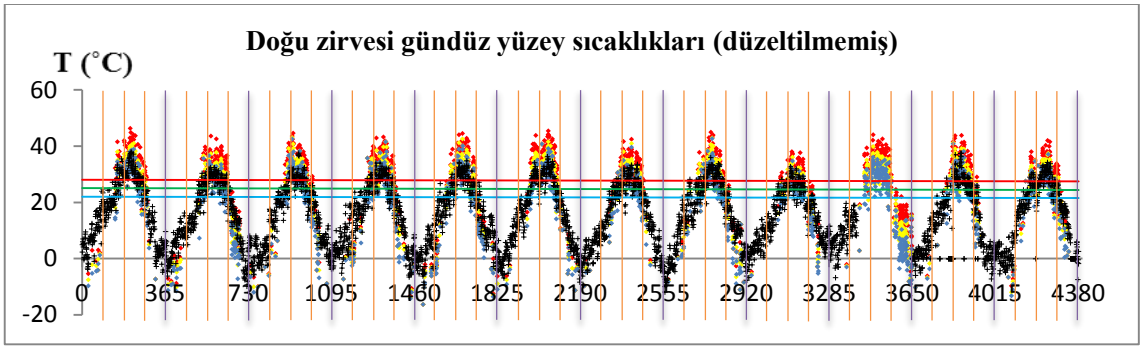


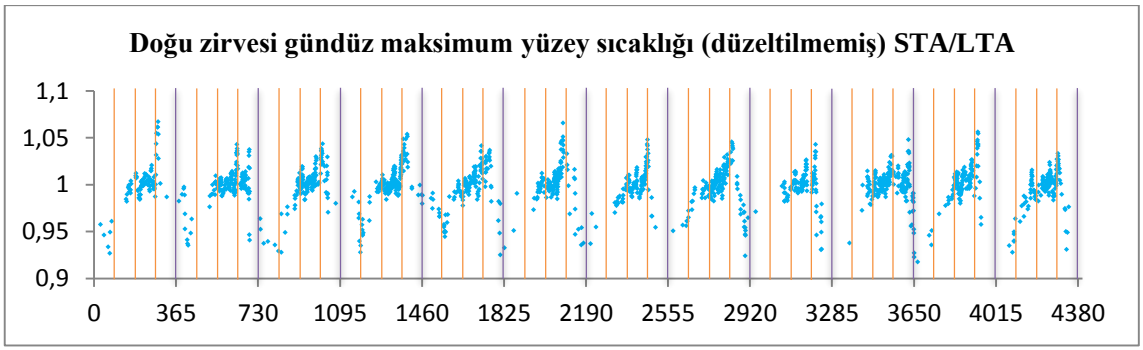


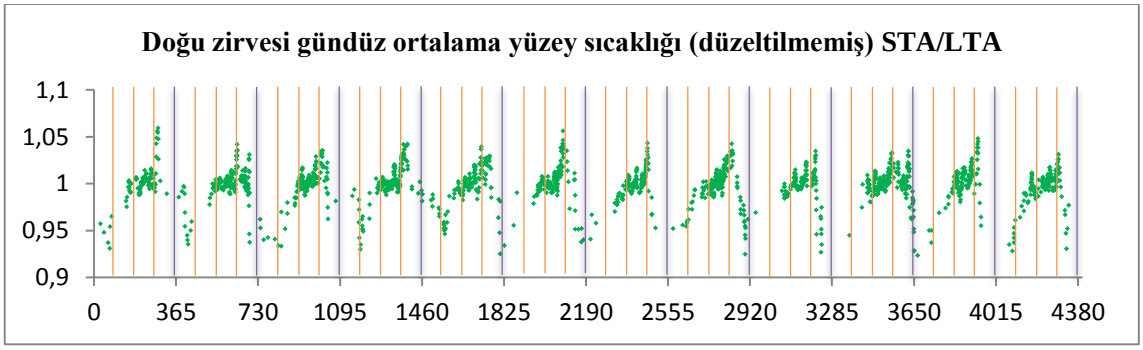




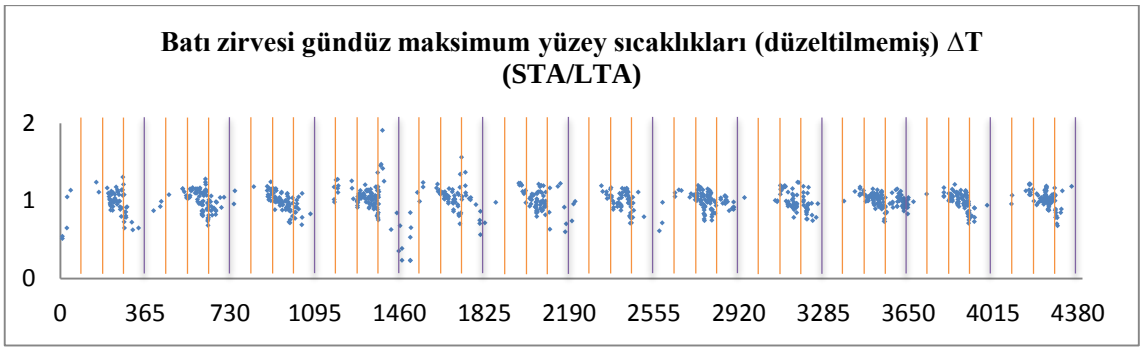


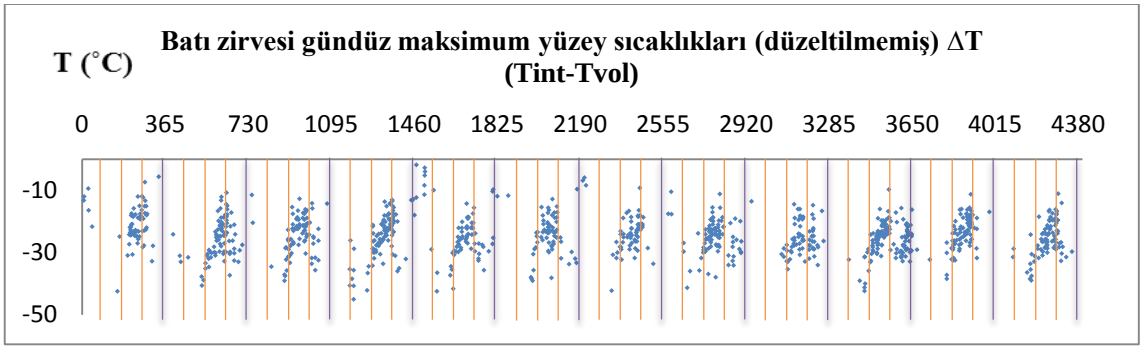


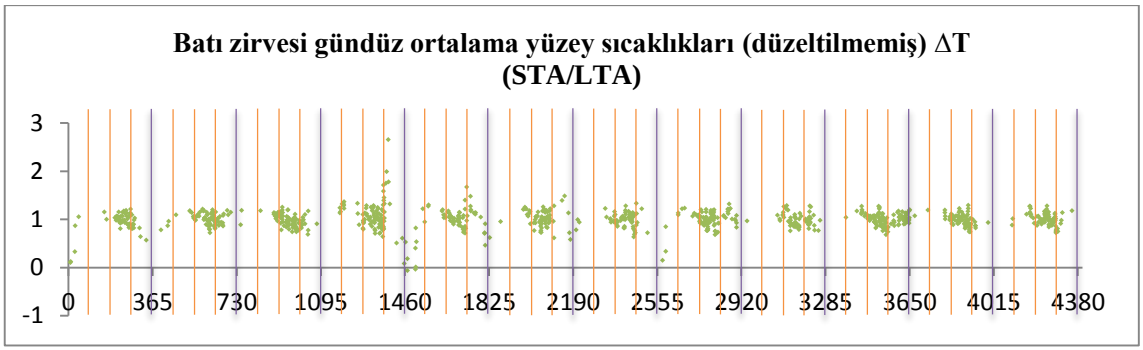


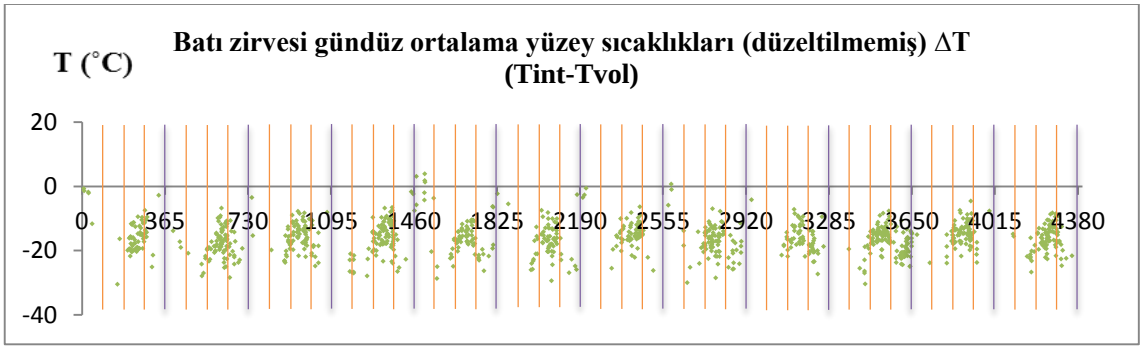


Gün (12 yıllık)

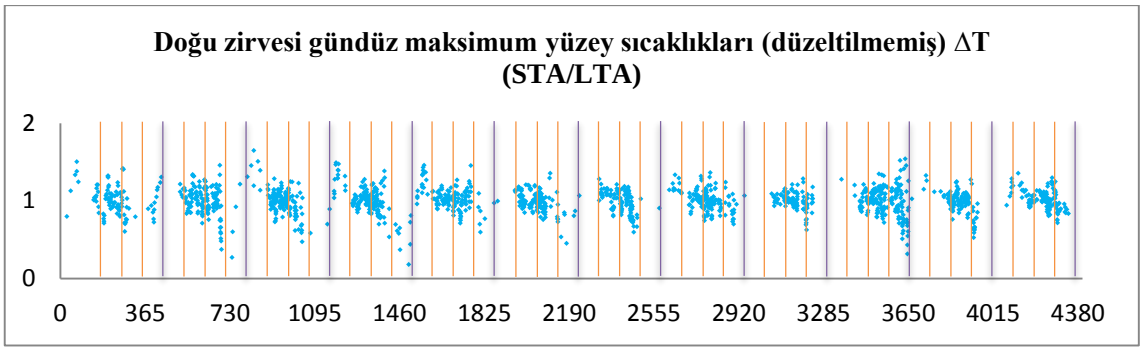


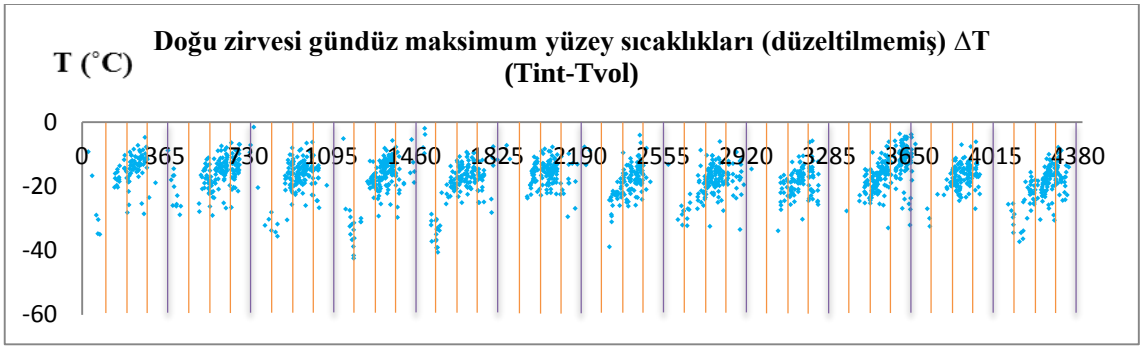


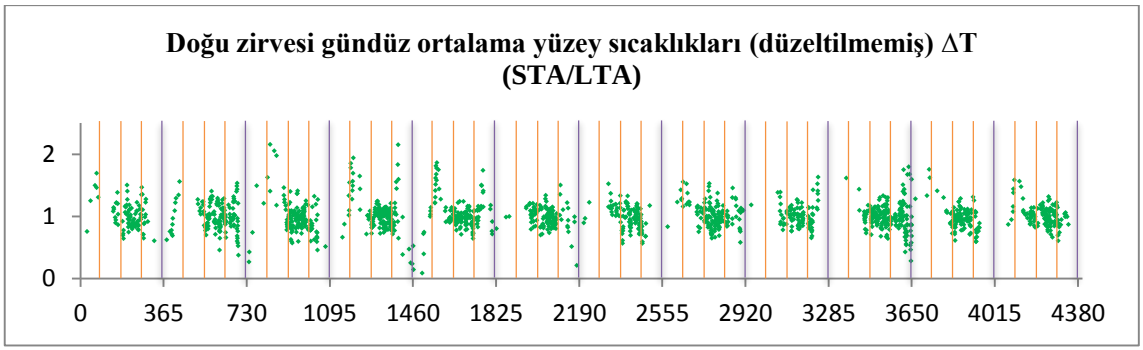


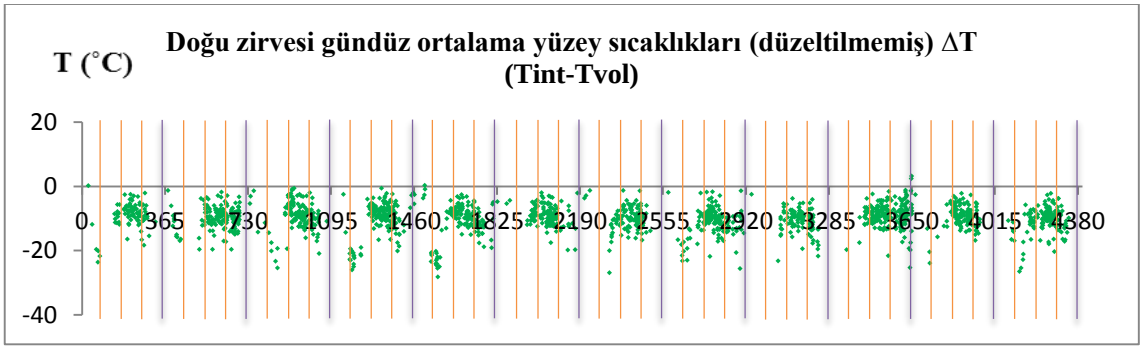


Gün (12 yıllık)



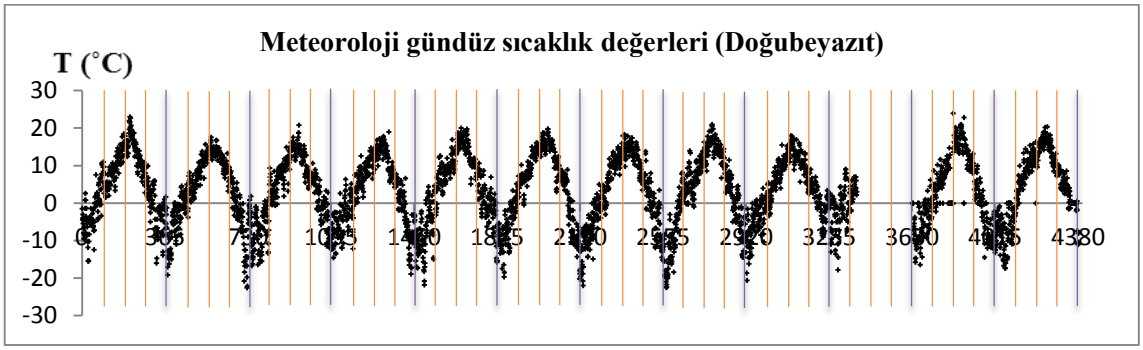


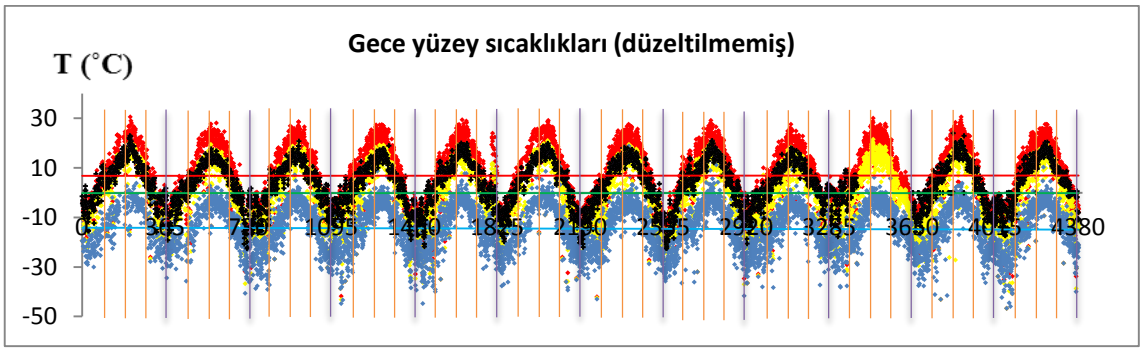


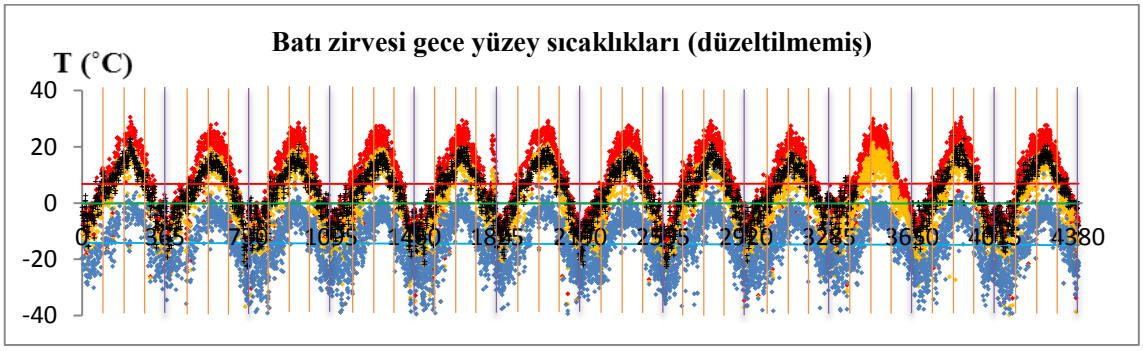


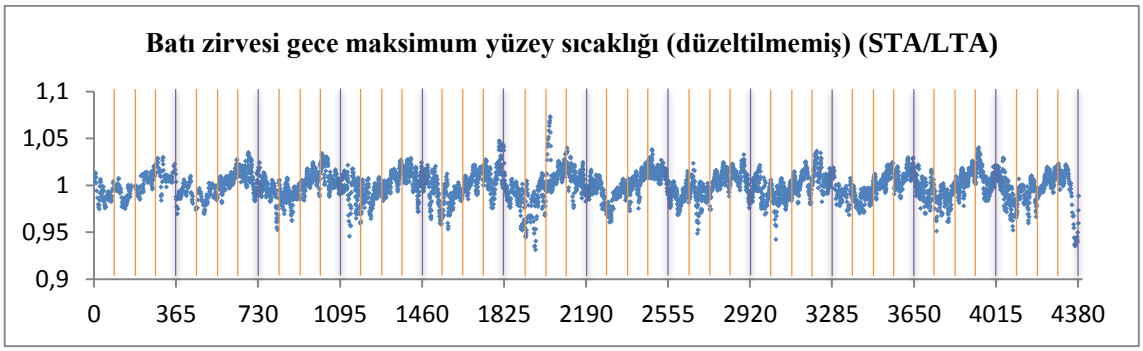
Gün (12 yıllık)

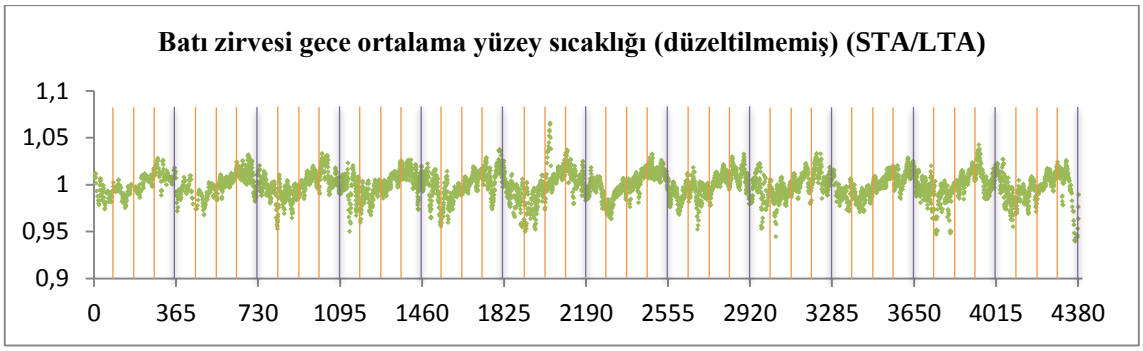
EK-A.4b. Ağrı gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Düzeltilmemiş)

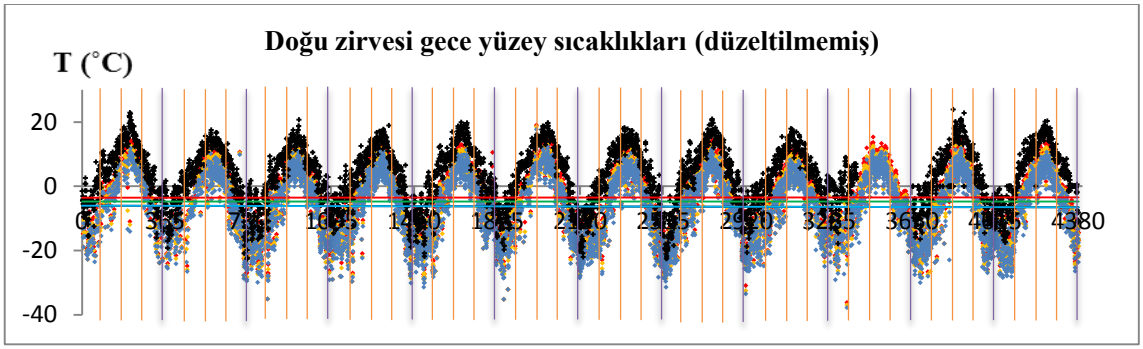


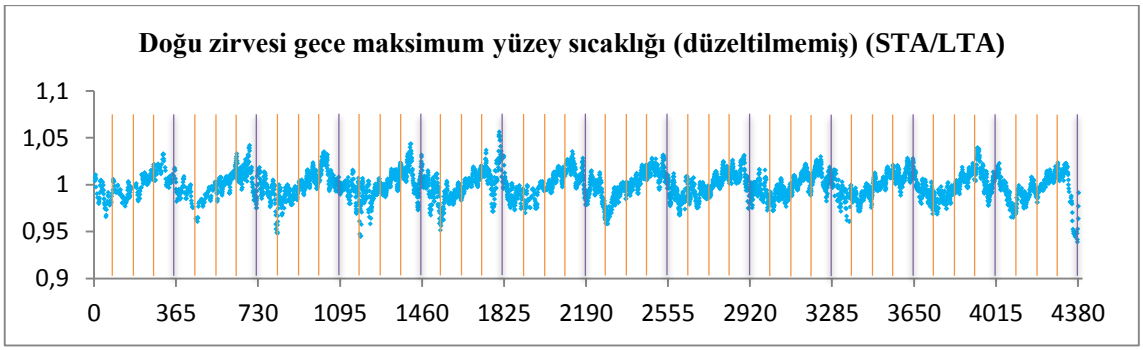


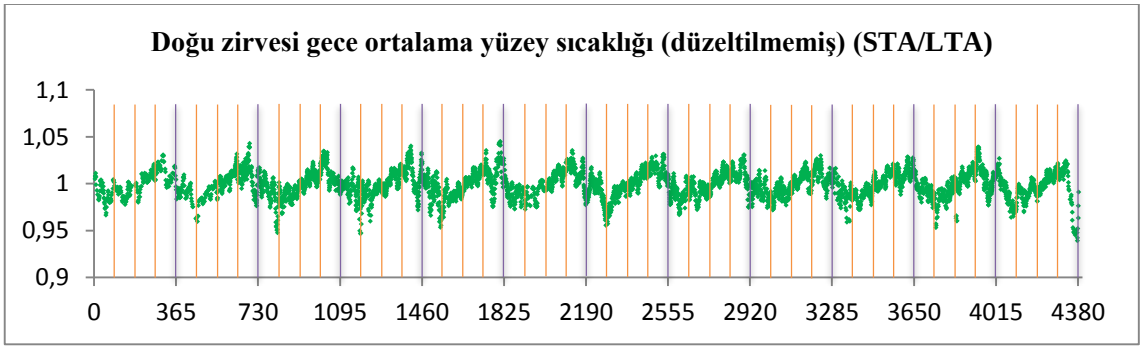




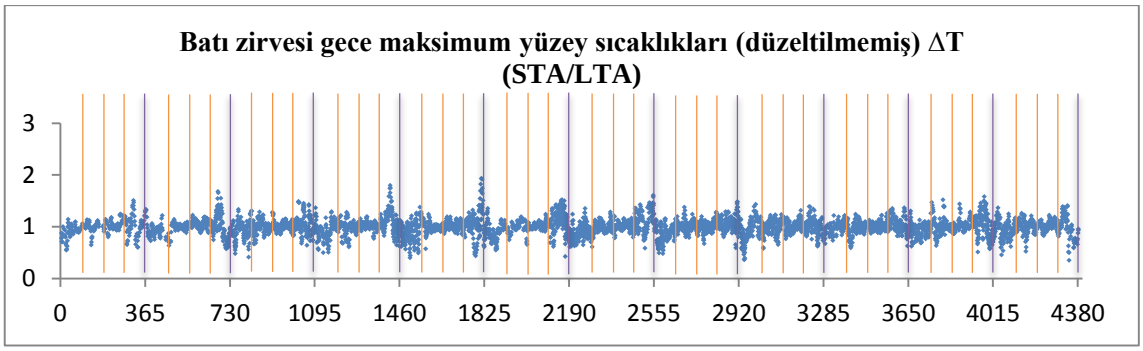


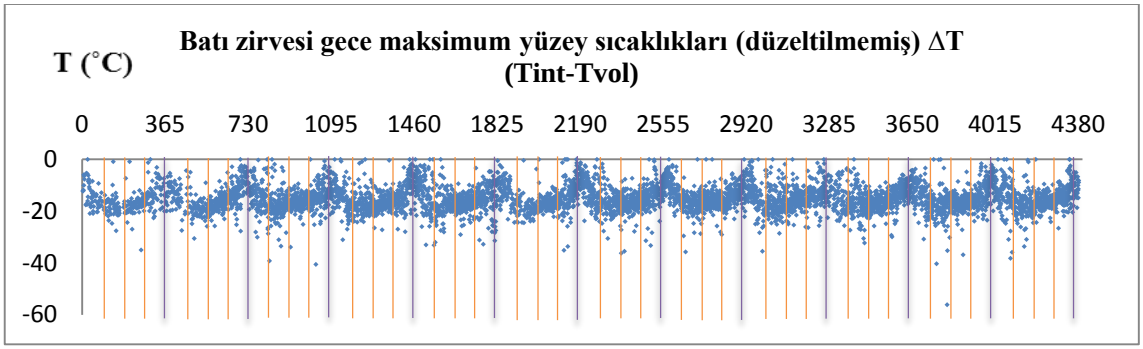


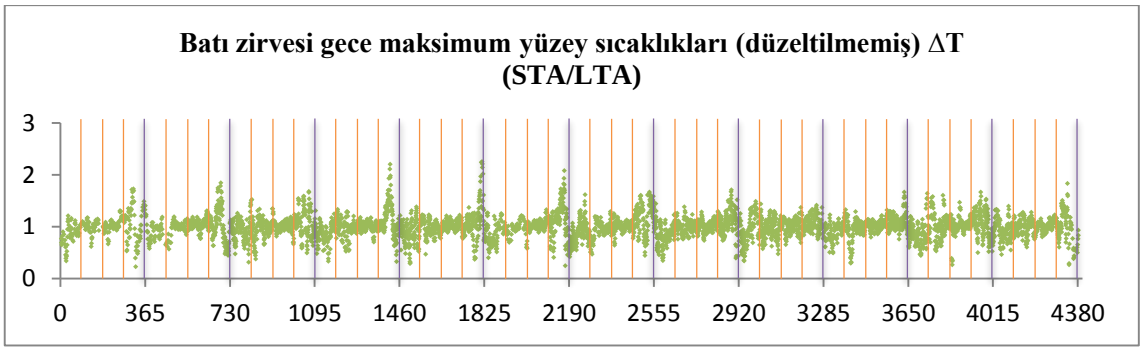


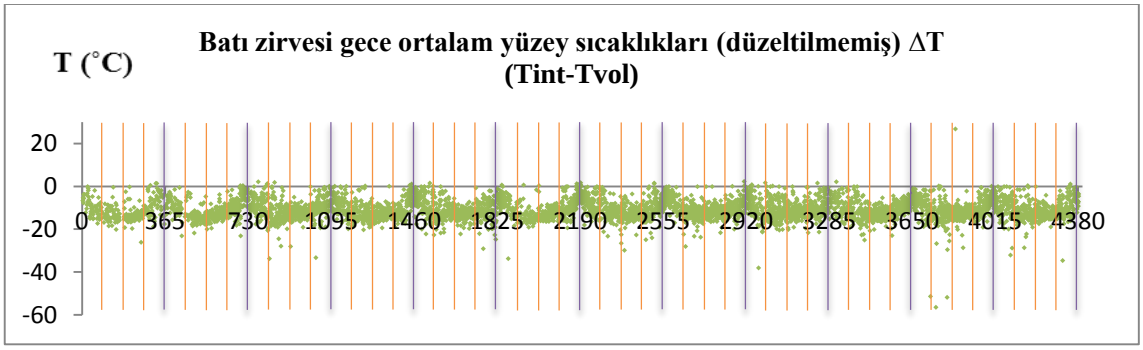


Gün (12 yıllık)

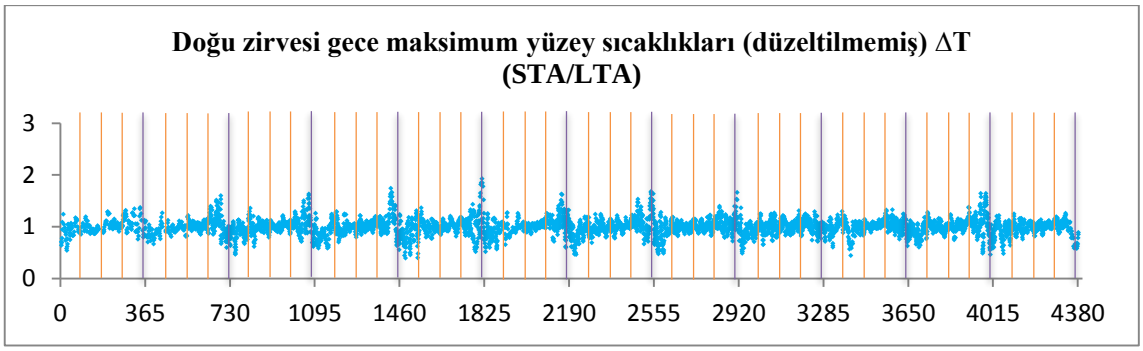


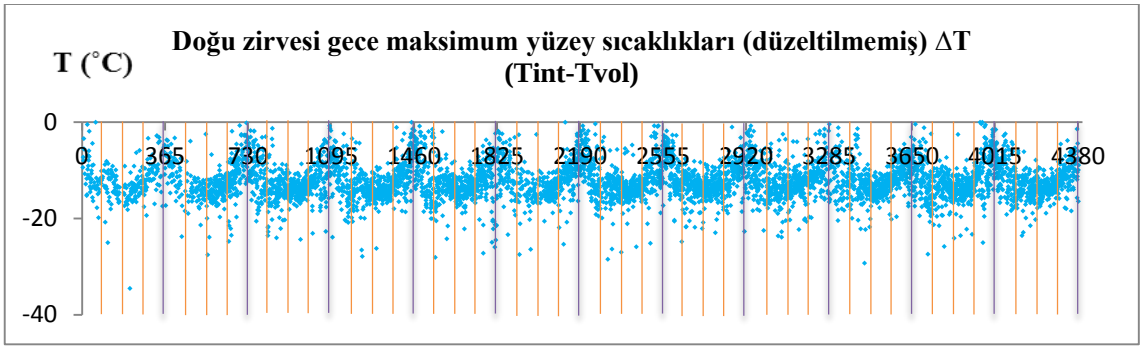


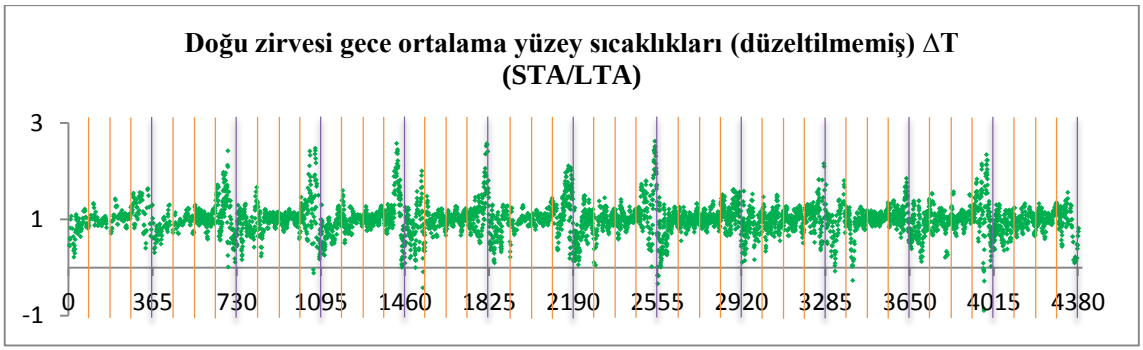


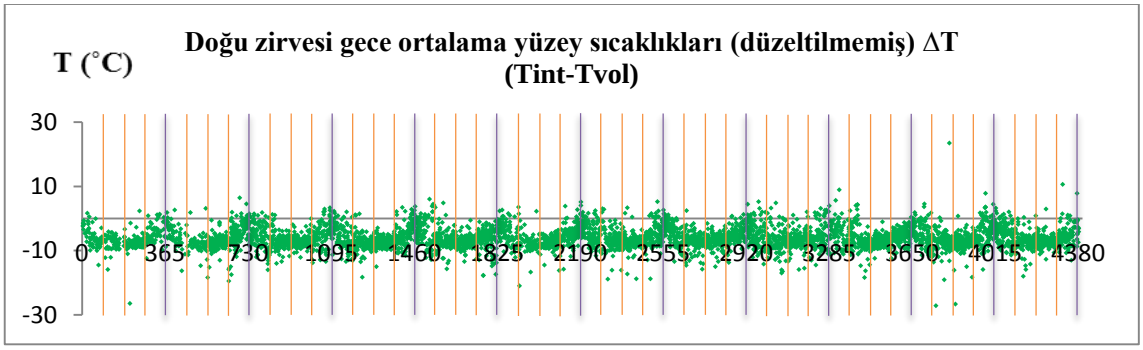


Gün (12 yıllık)



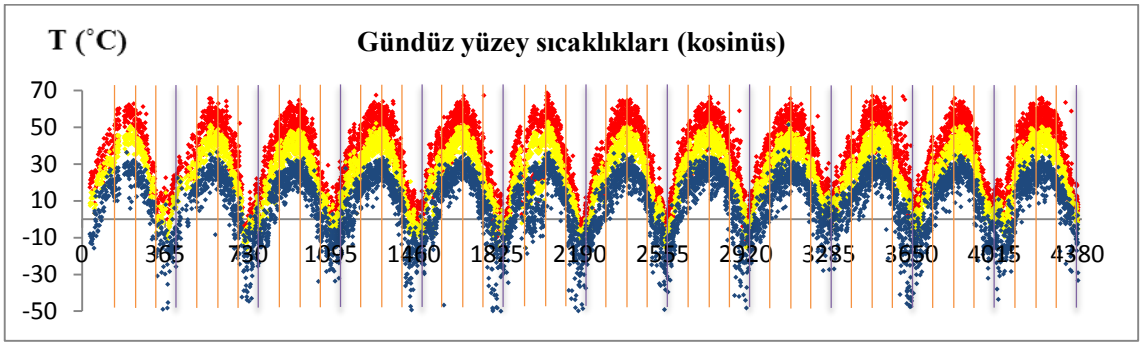


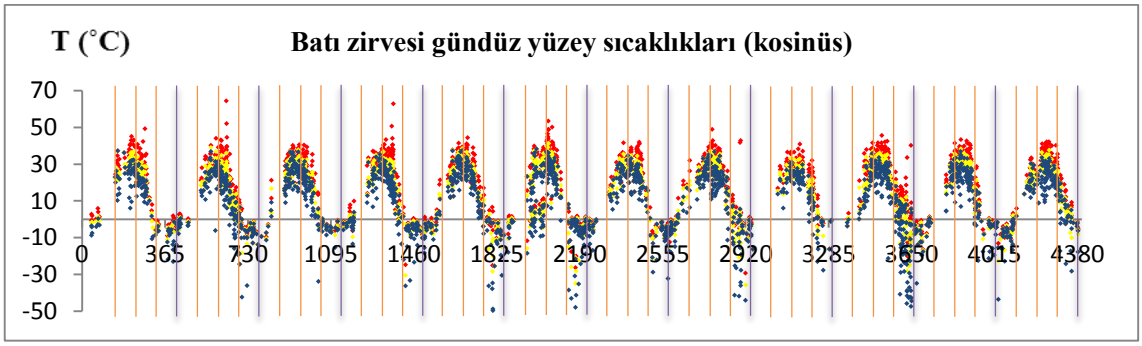


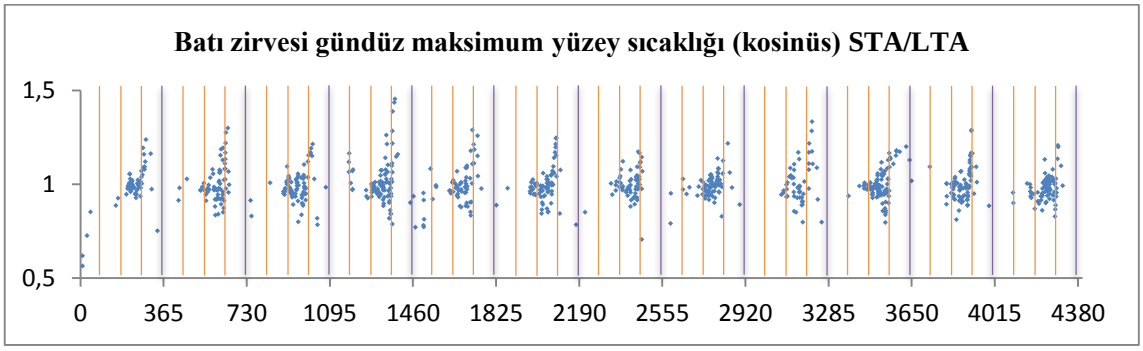


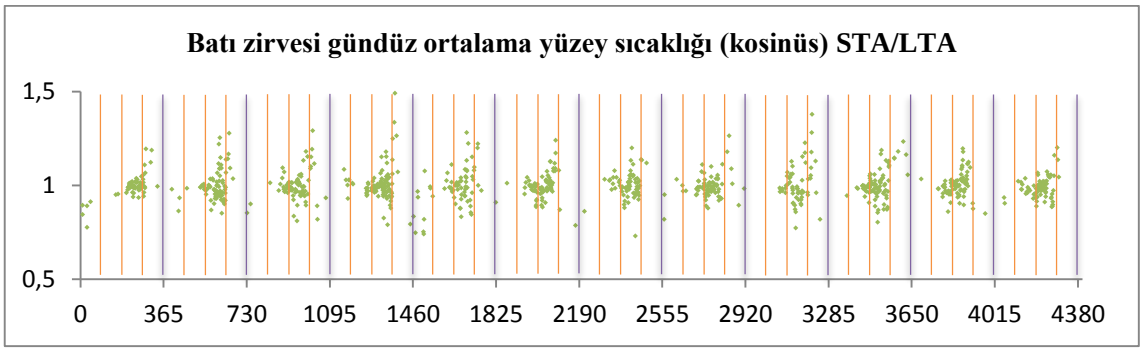
Gün (12 yıllık)

EK-A.4c. Ağrı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Kosinüs Düzeltmesi)

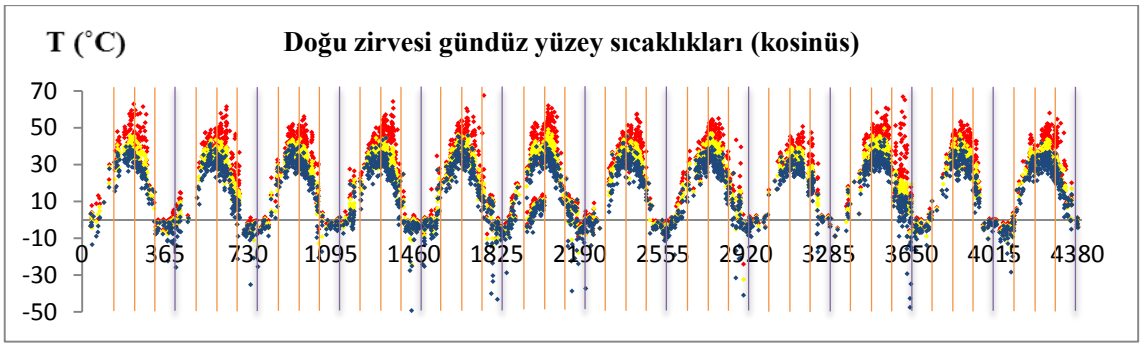


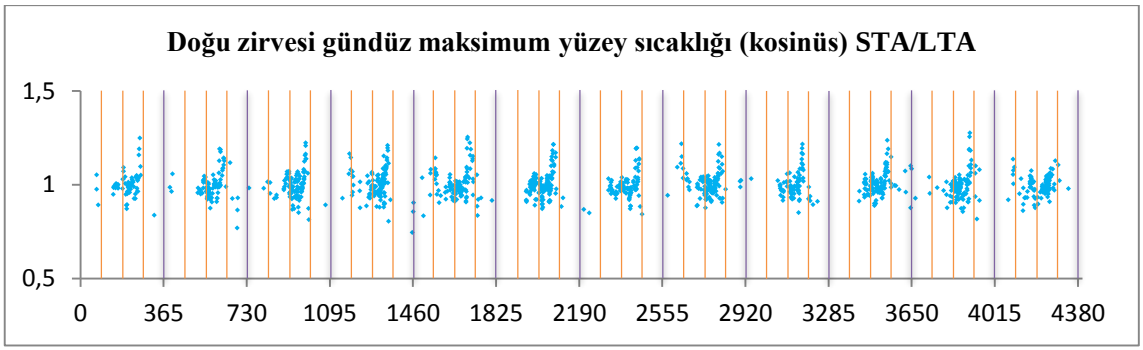


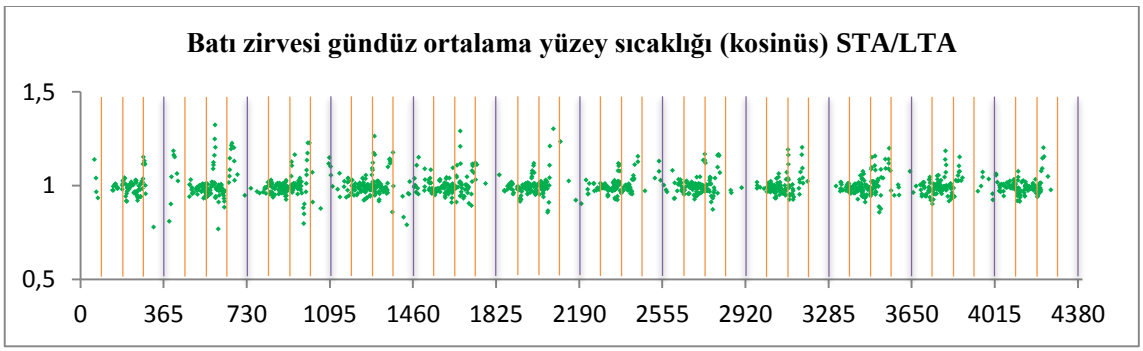


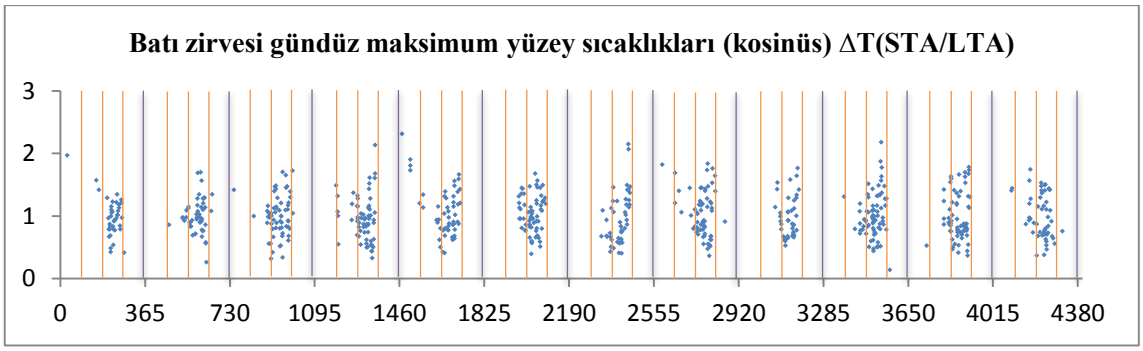


Gün (12 yıllık)

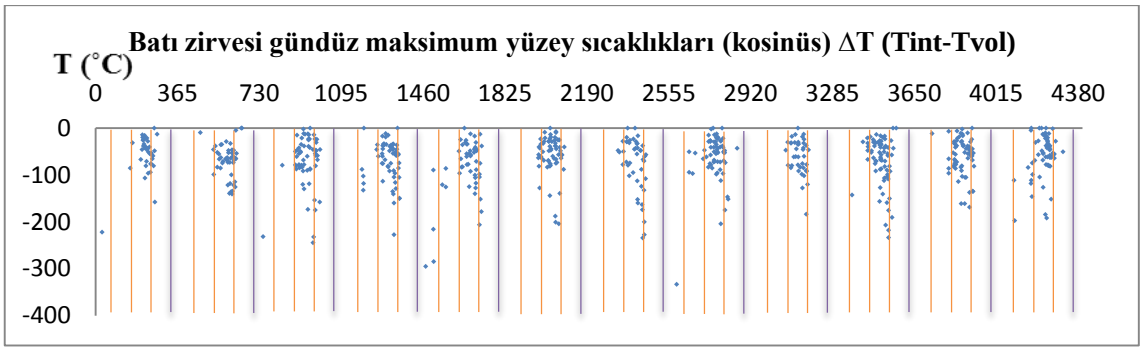


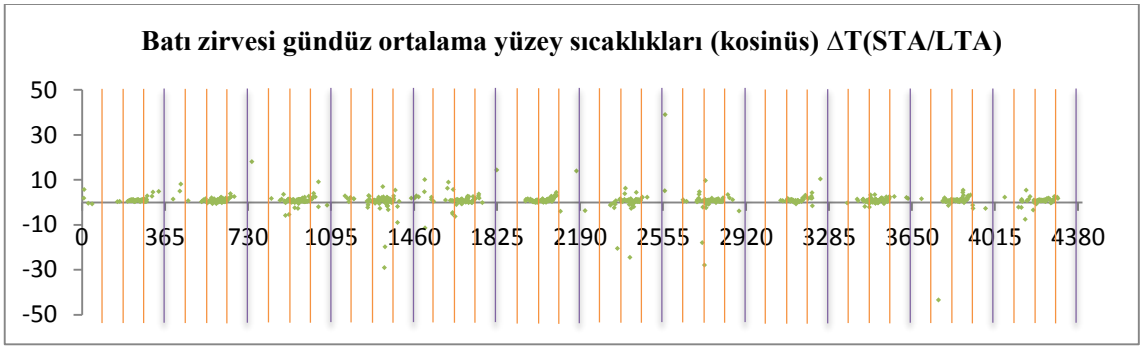


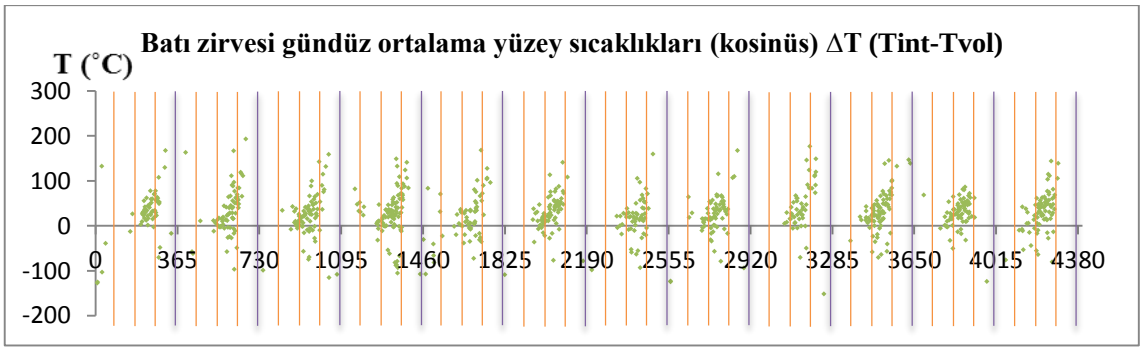


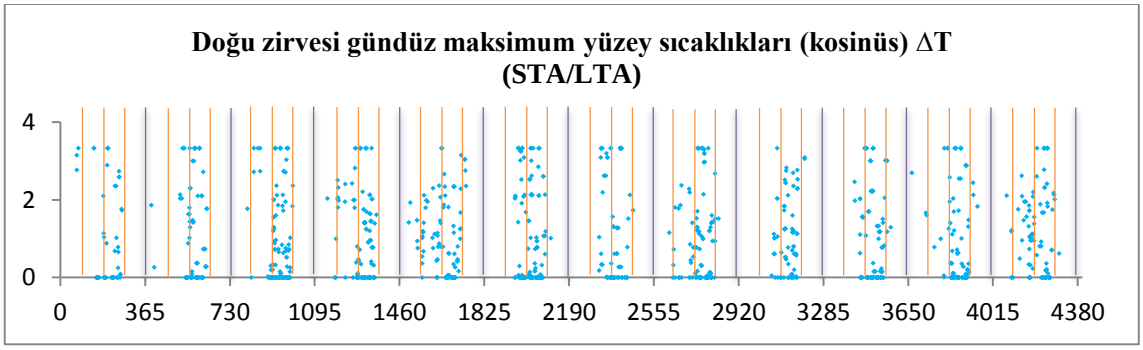


Gün (12 yıllık)

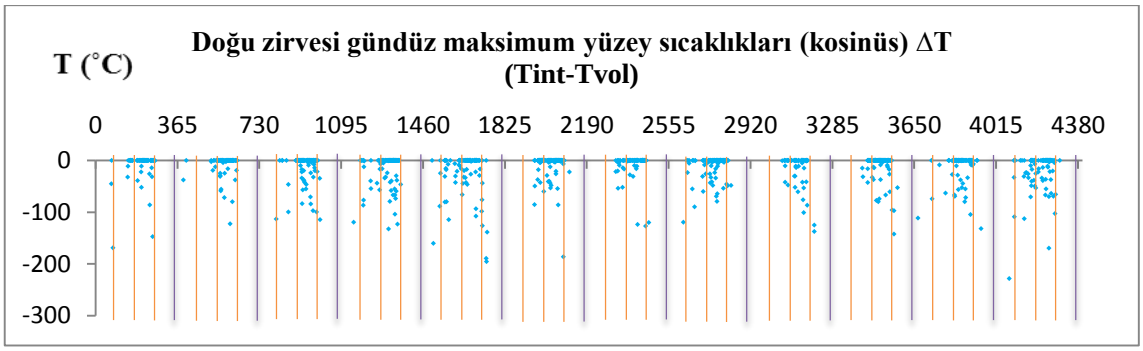


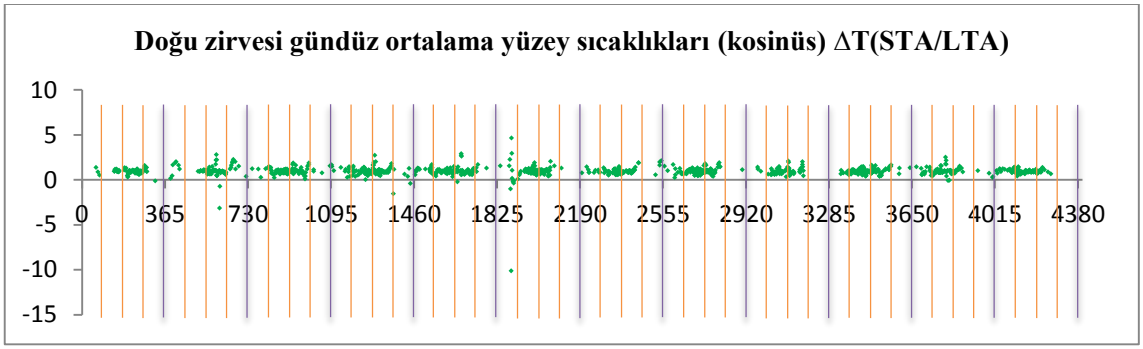


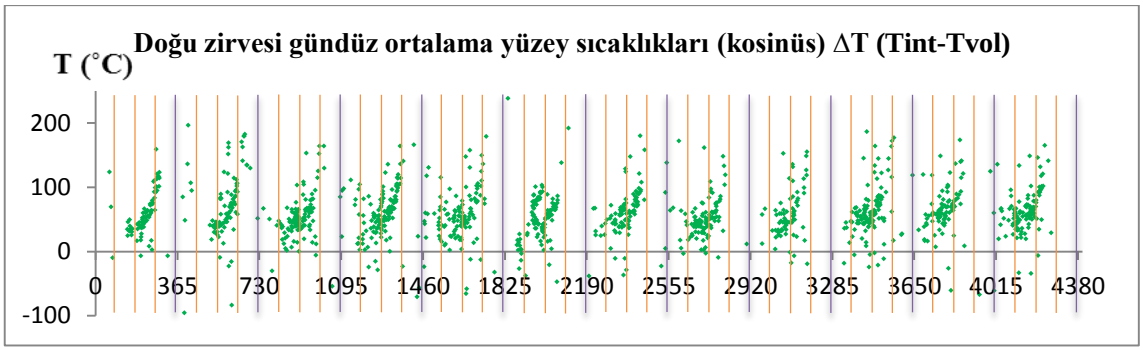




Gün (12 yıllık)

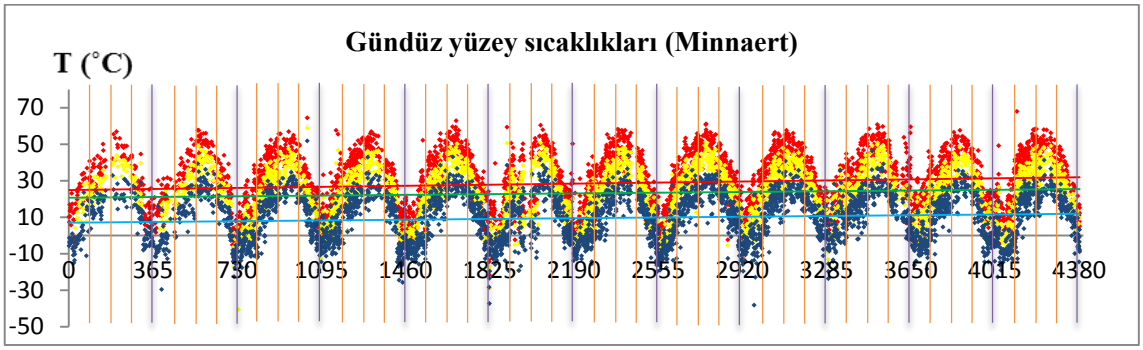


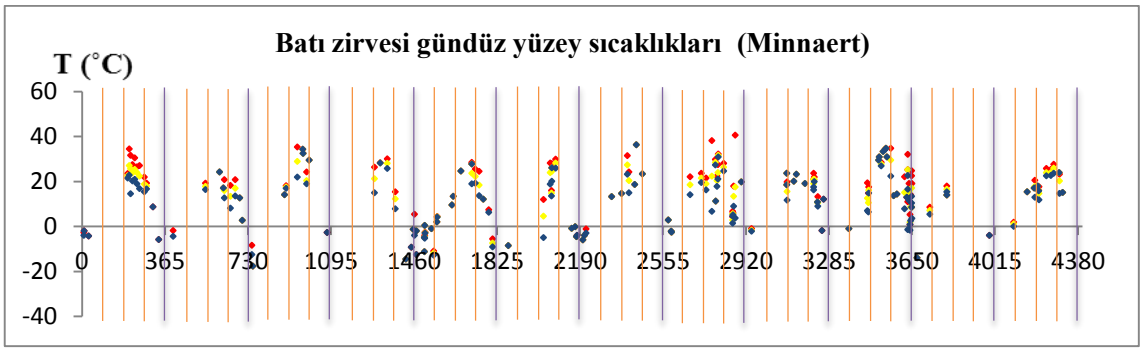


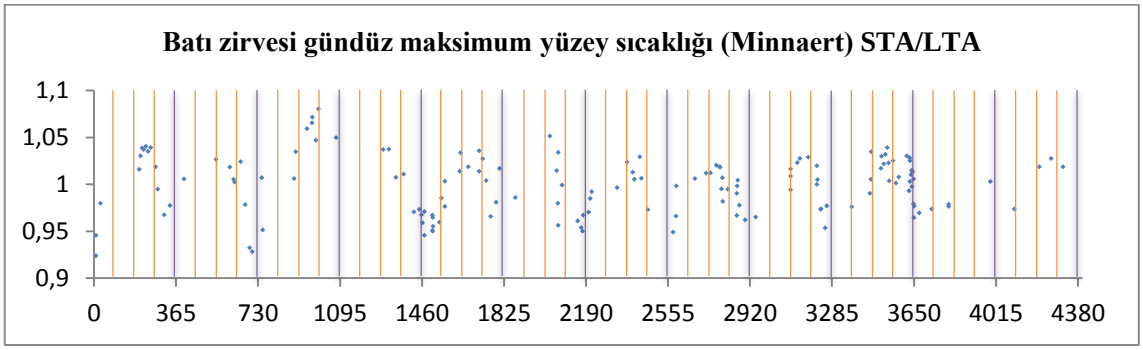


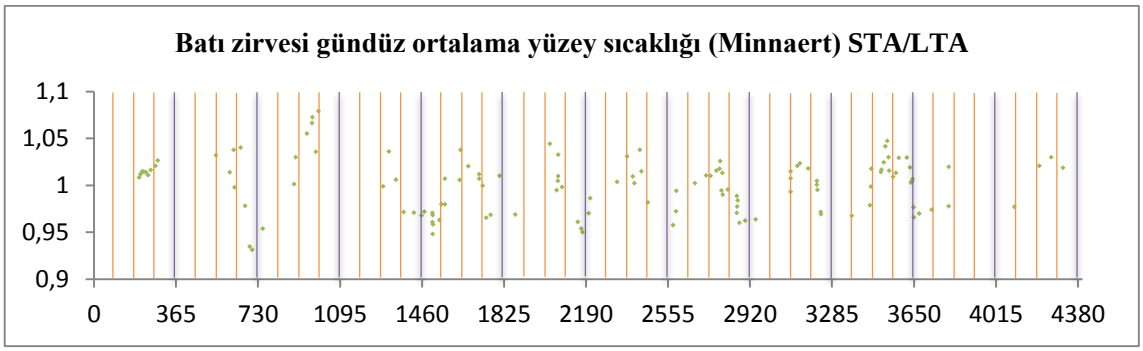
Gün (12 yıllık)

EK-A.4d. Ağrı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Minnaert Düzeltmesi)

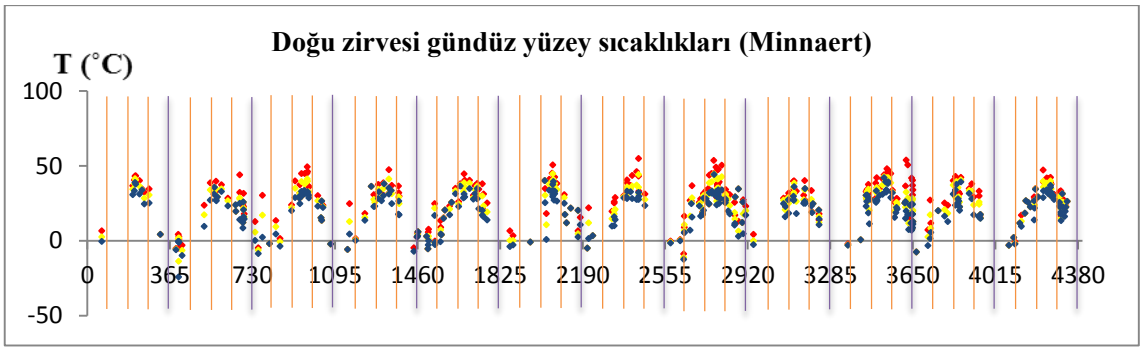


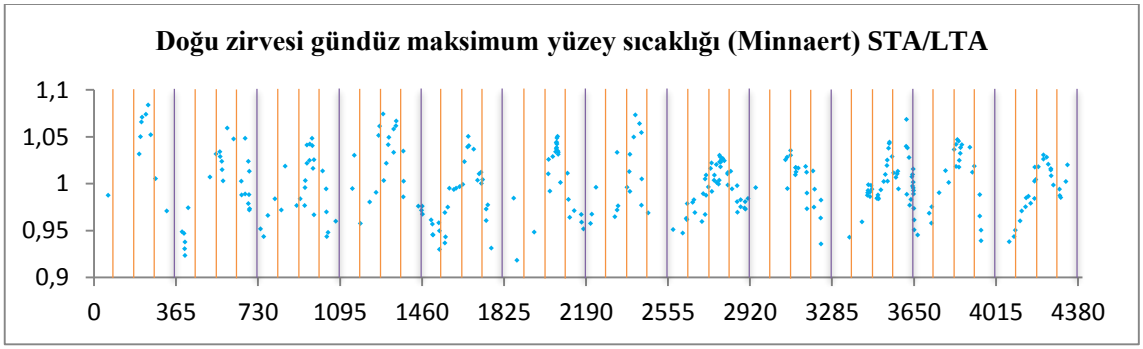


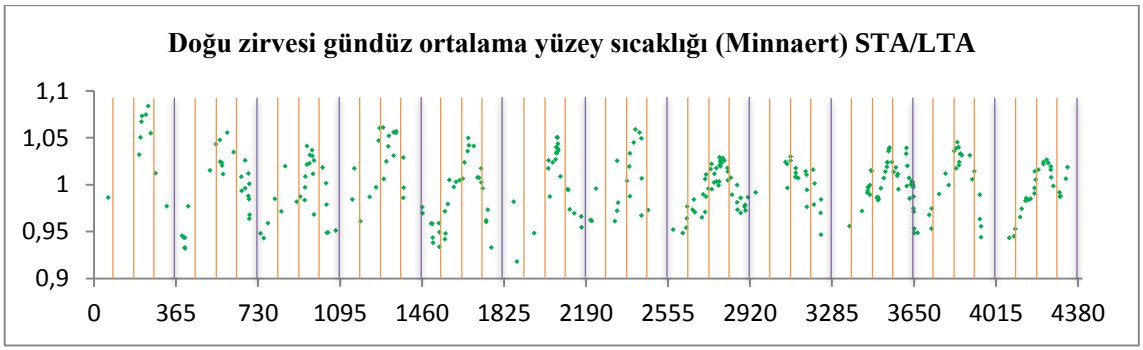


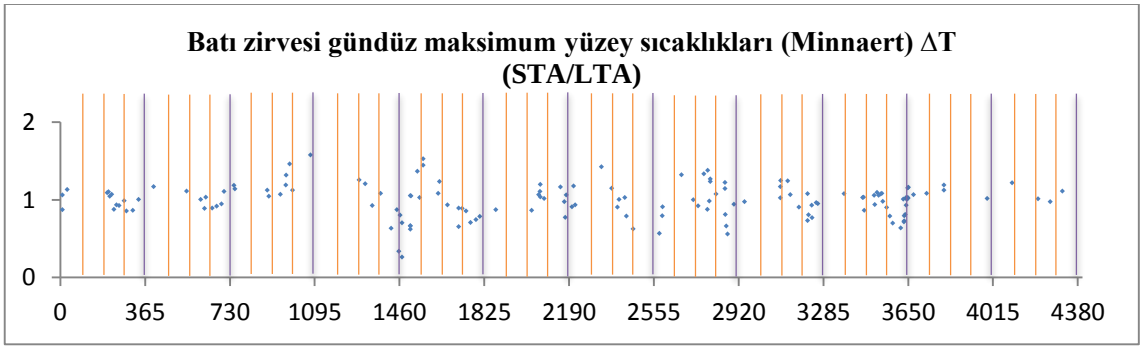


Gün (12 yıllık)

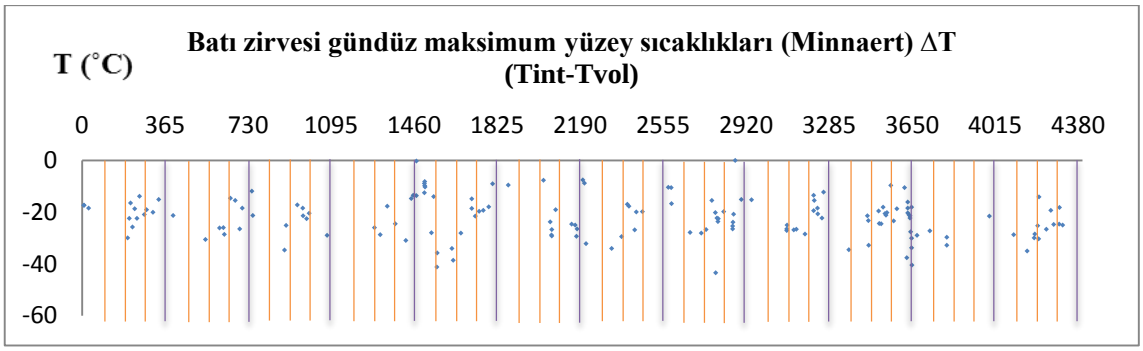


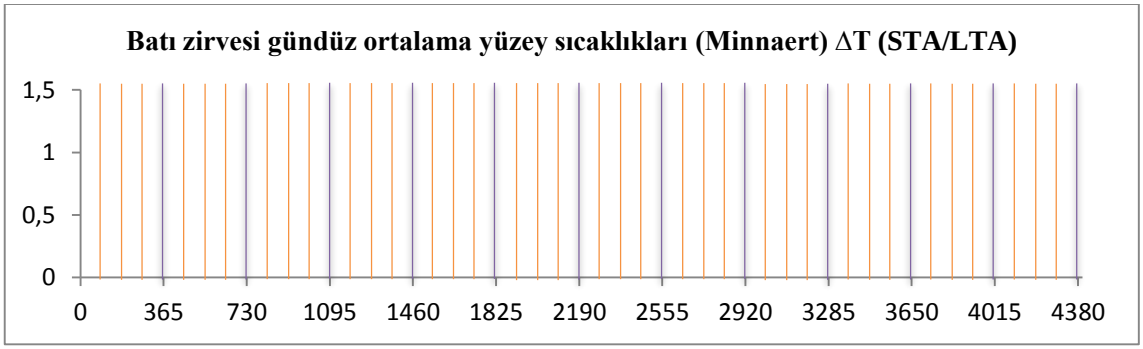


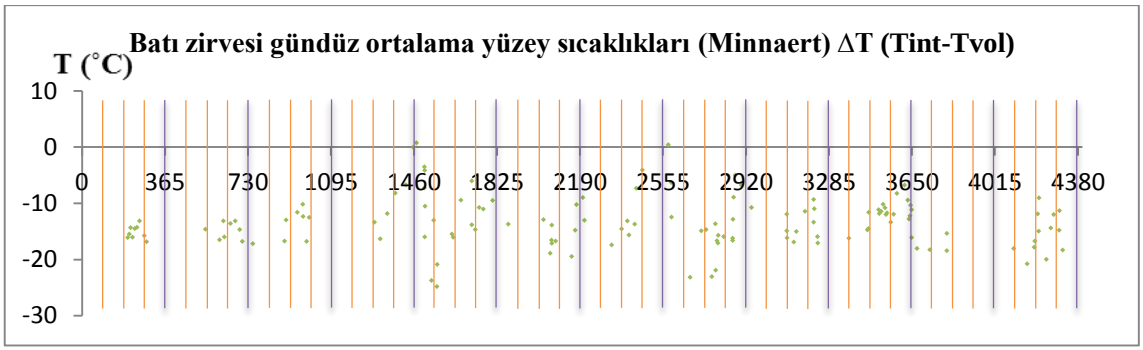


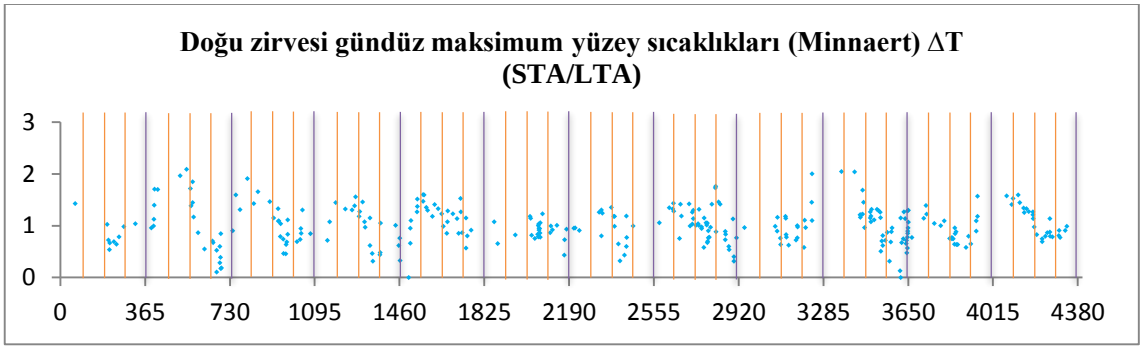


Gün (12 yıllık)

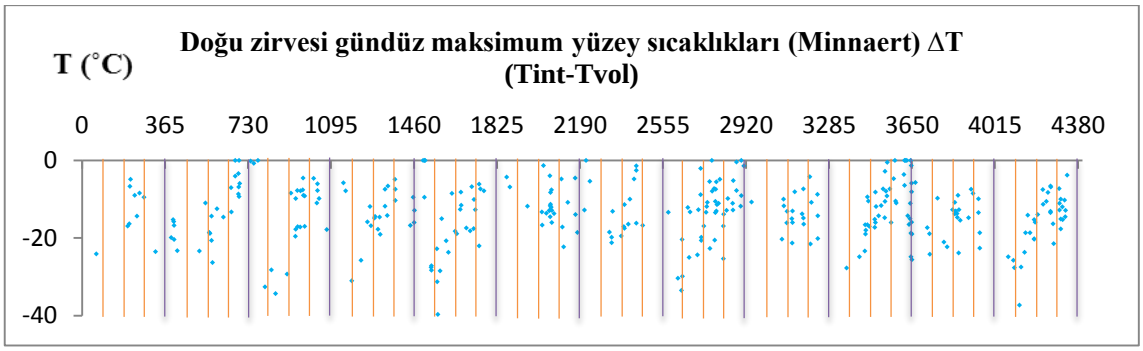


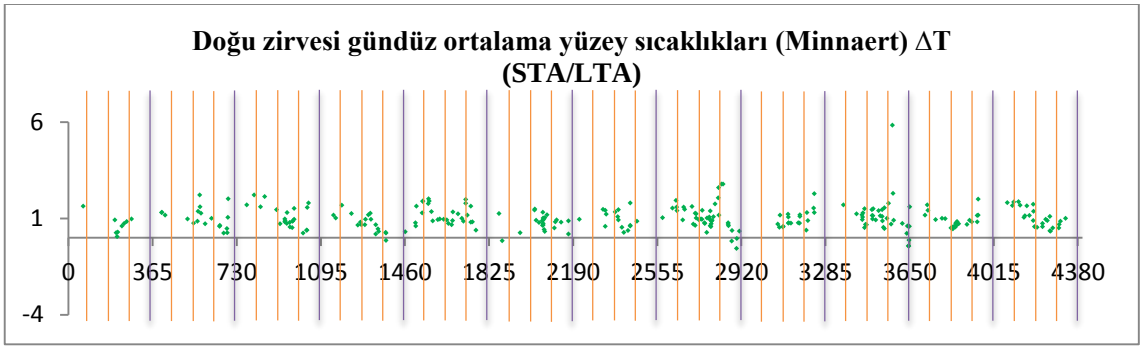


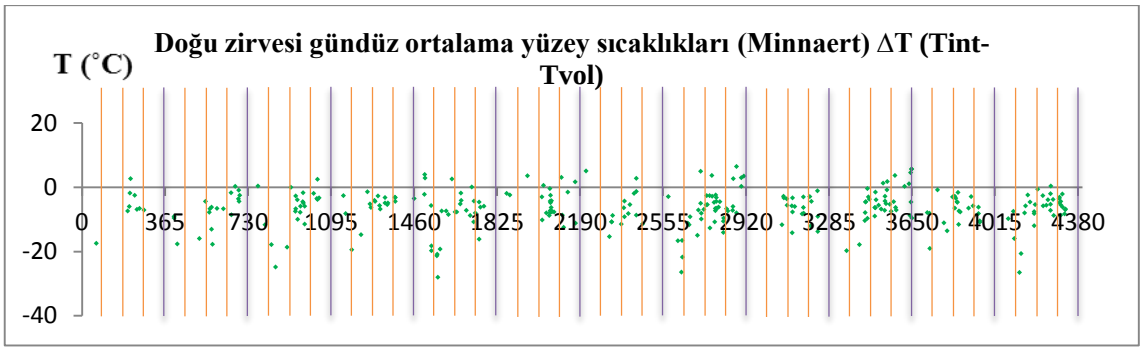




Gün (12 yıllık)

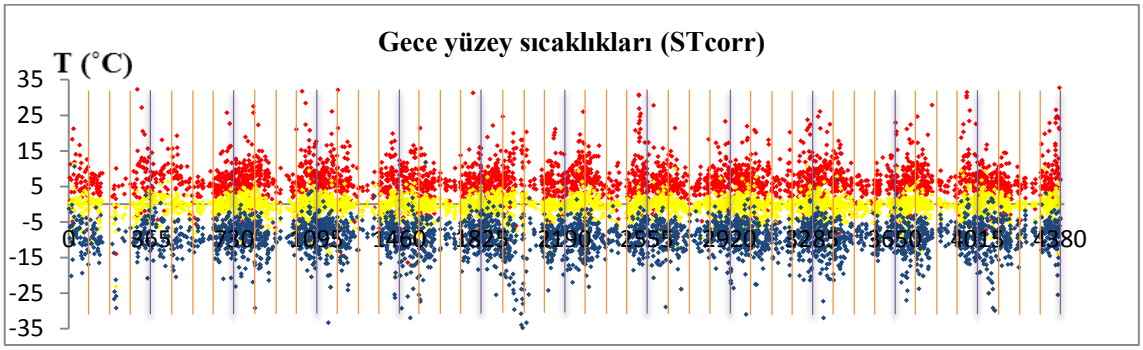


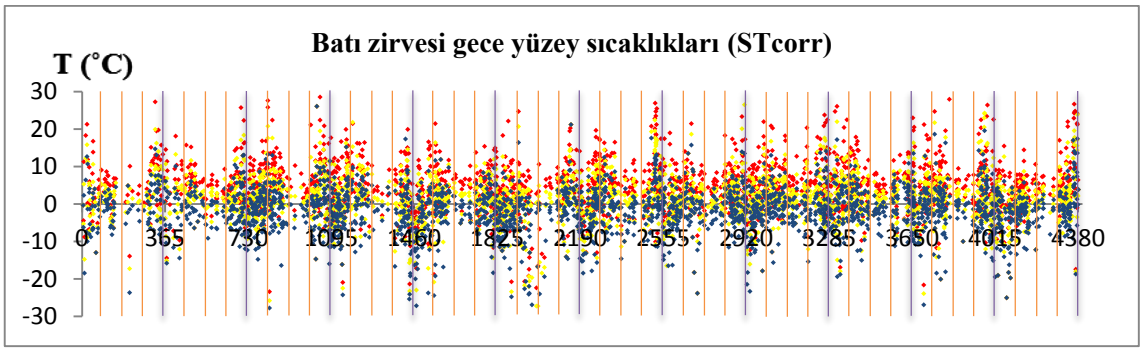


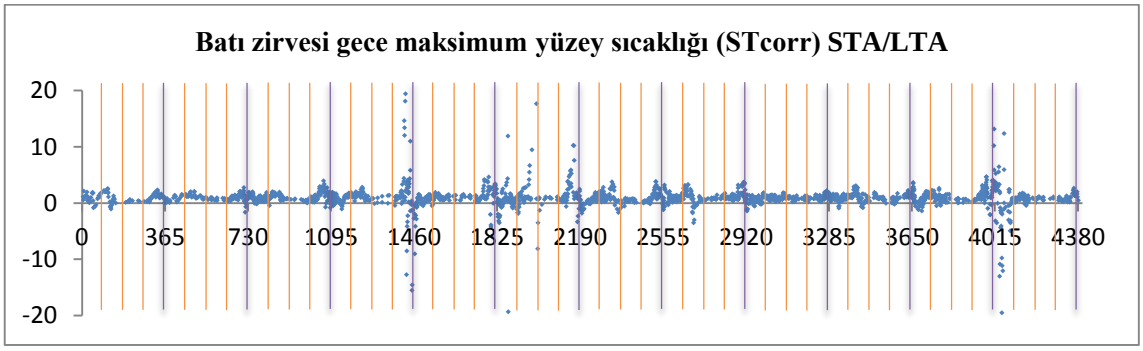


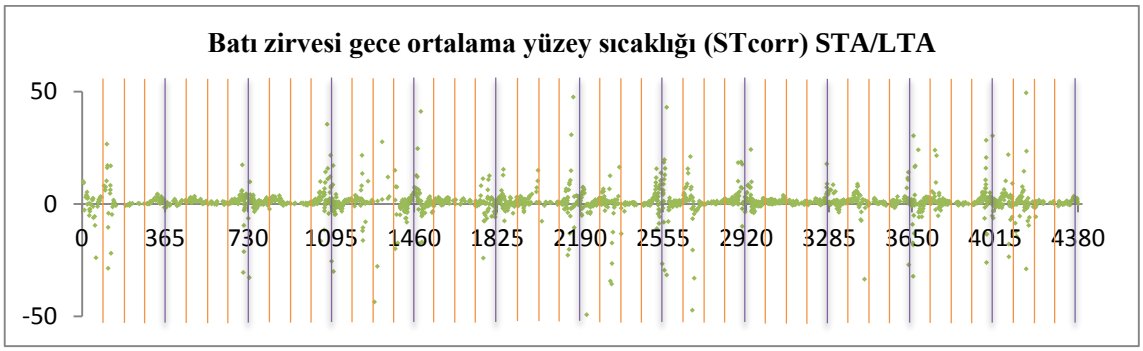
Gün (12 yıllık)

EK-A.4e. Ağrı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (STcorr Düzeltmesi)

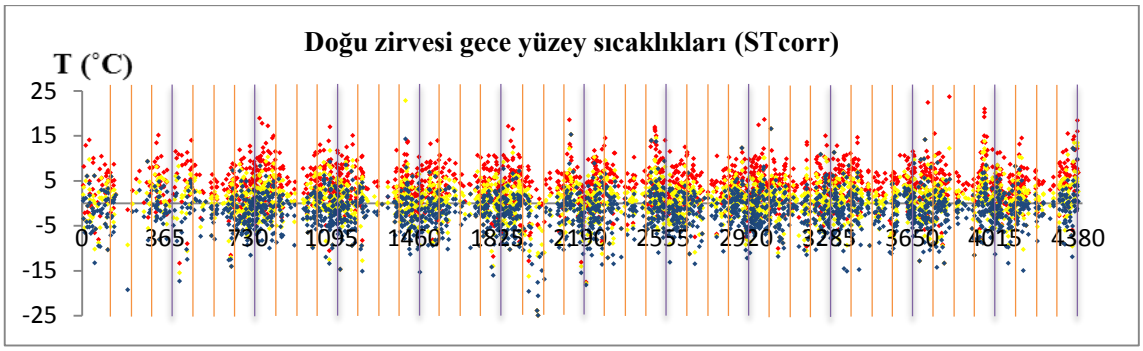


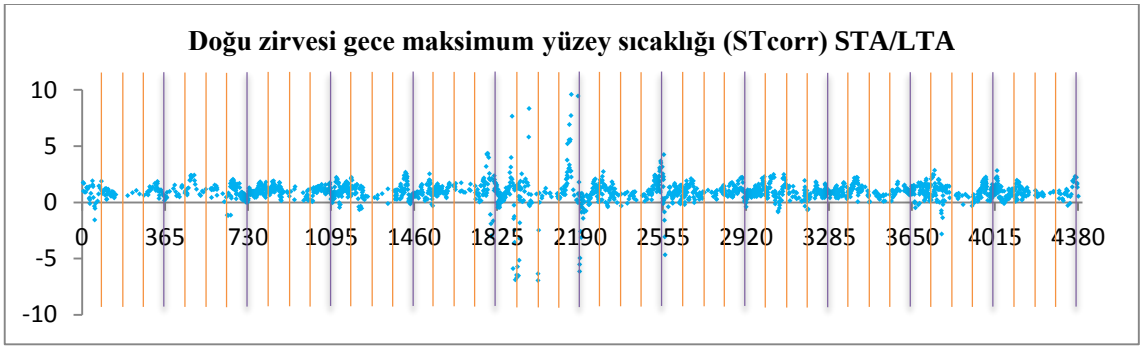


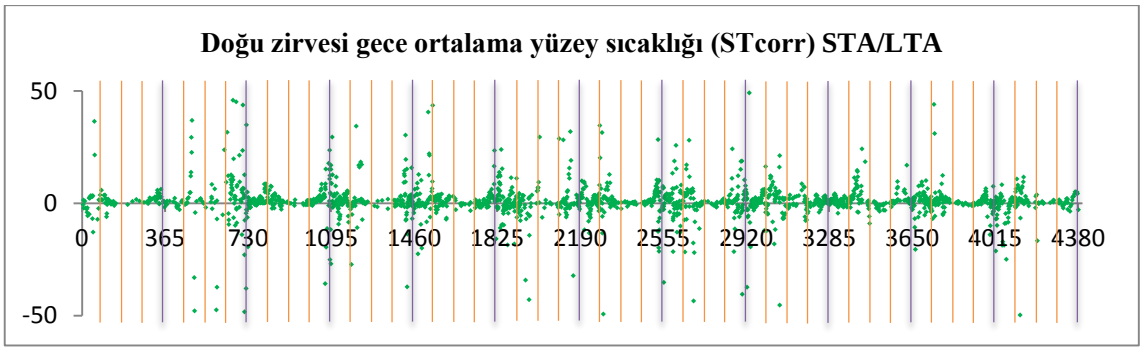


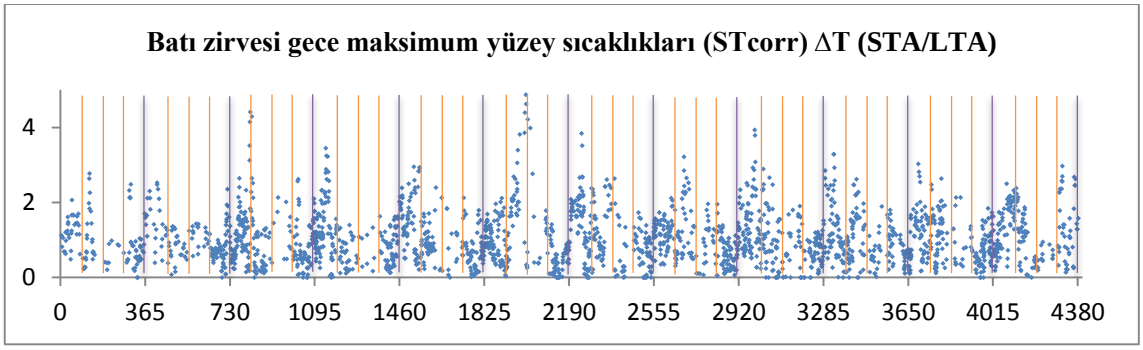


Gün (12 yıllık)

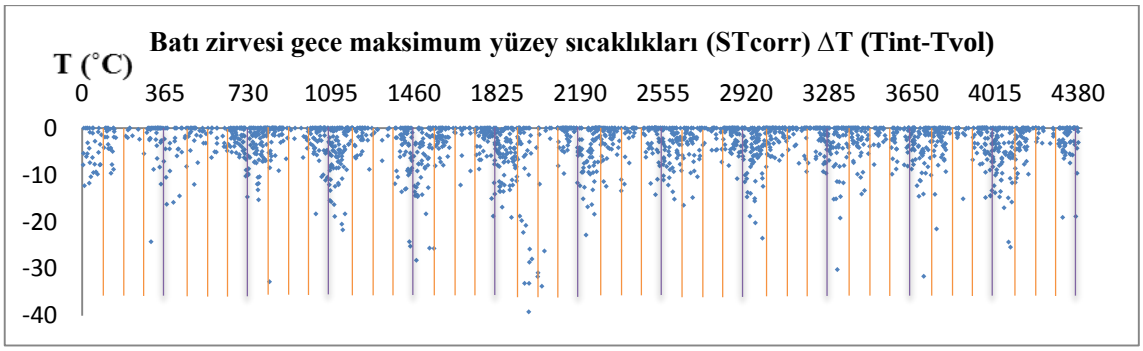


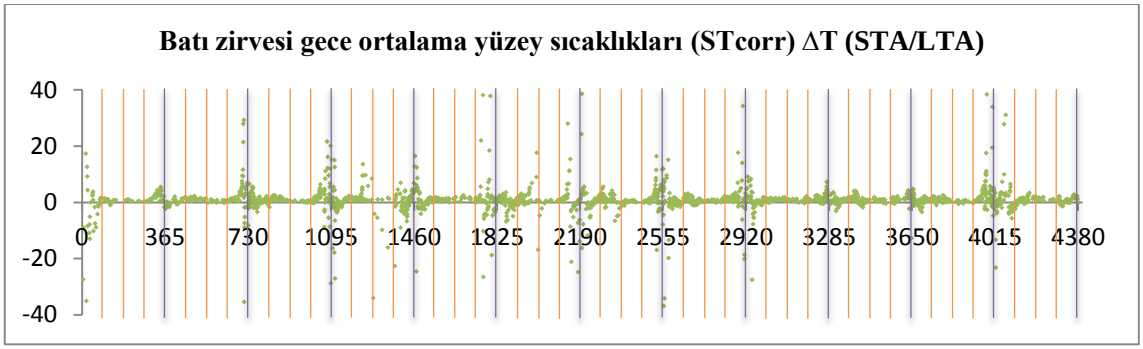


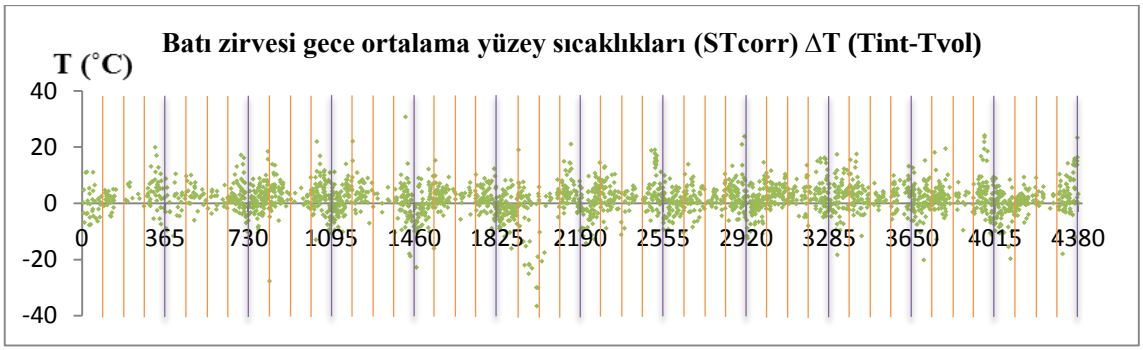


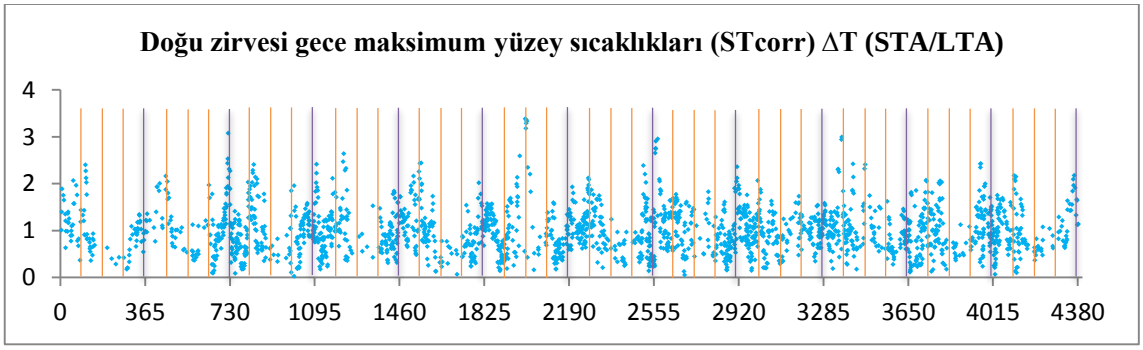


Gün (12 yıllık)

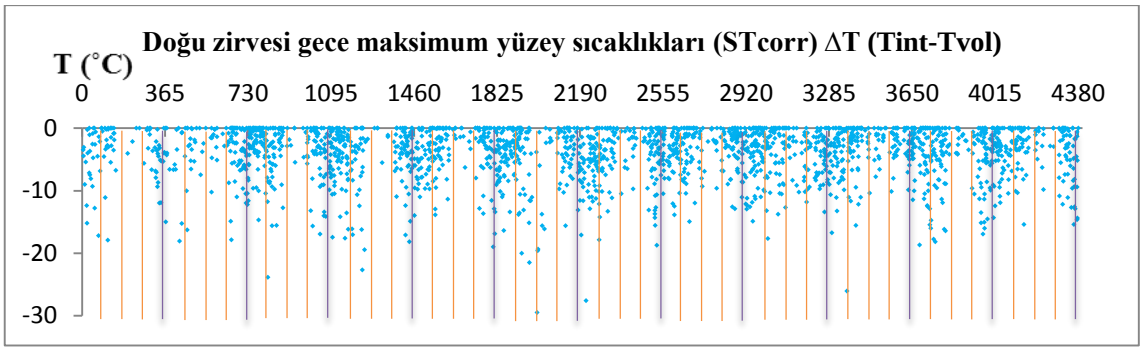


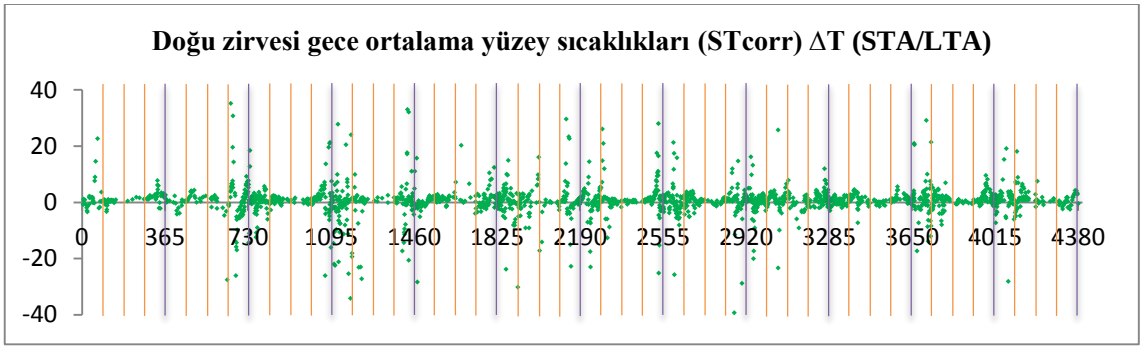


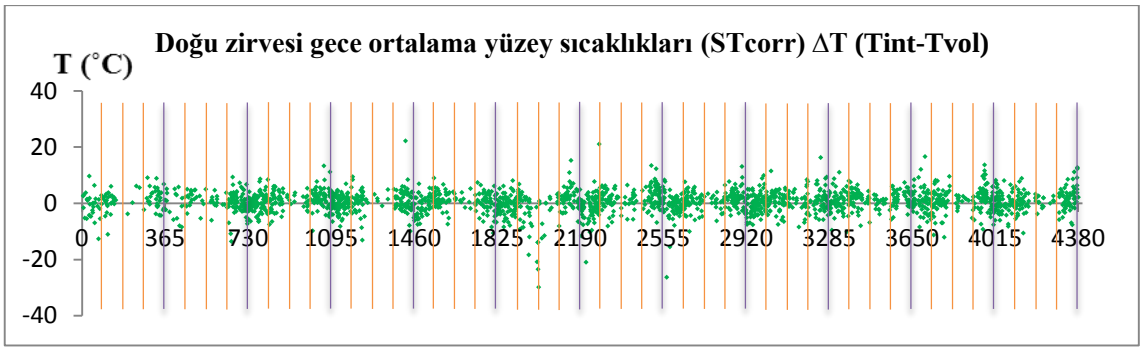




Gün (12 yıllık)

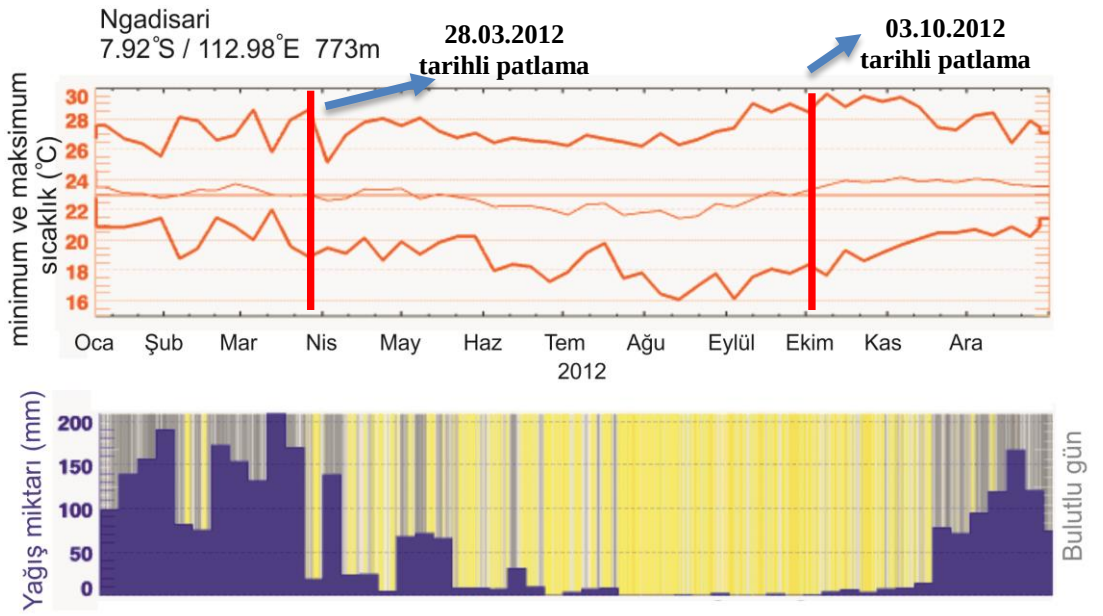


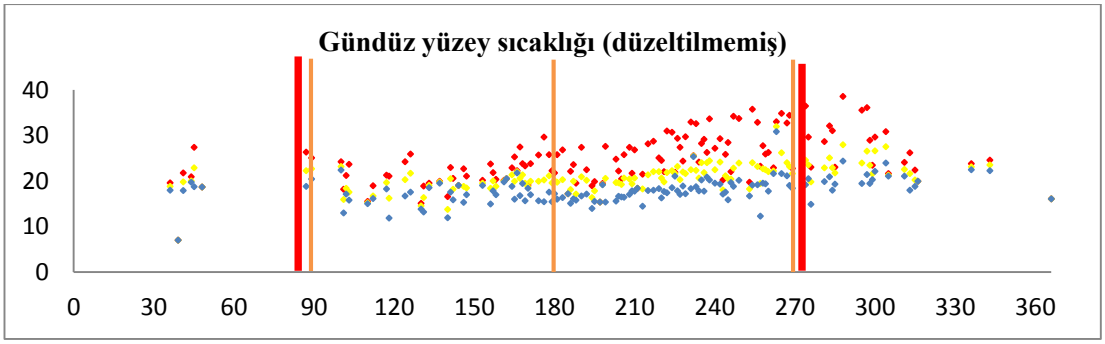


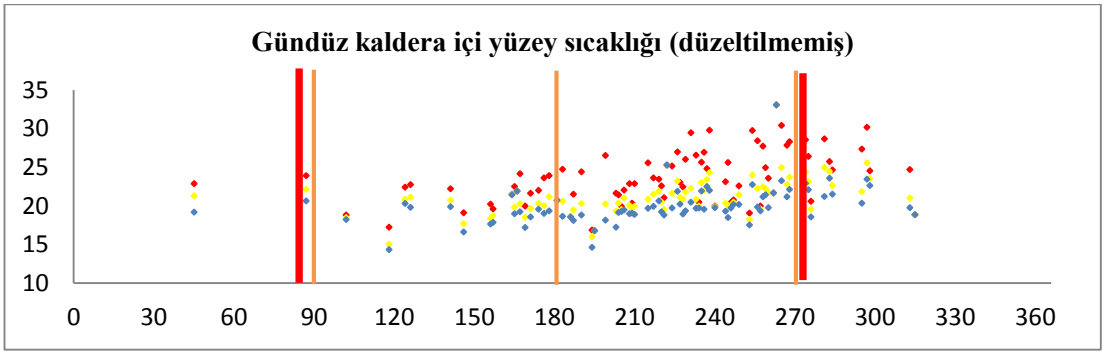


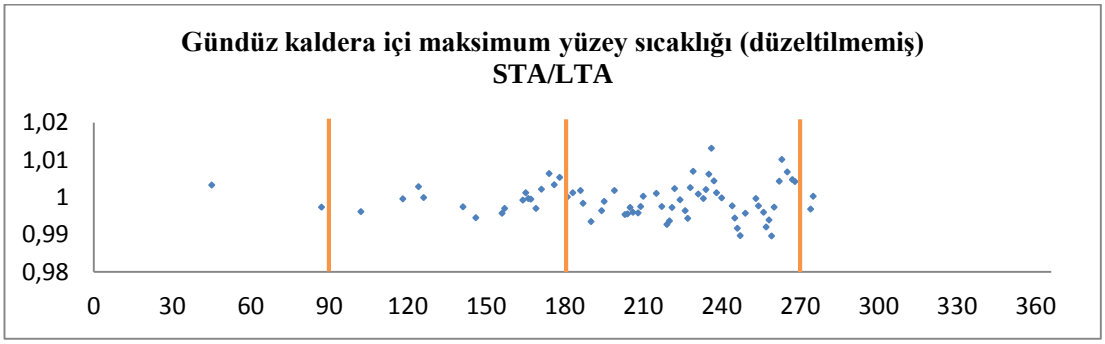
Gün (12 yıllık)

EK-B.1a. Tengger Kalderası Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

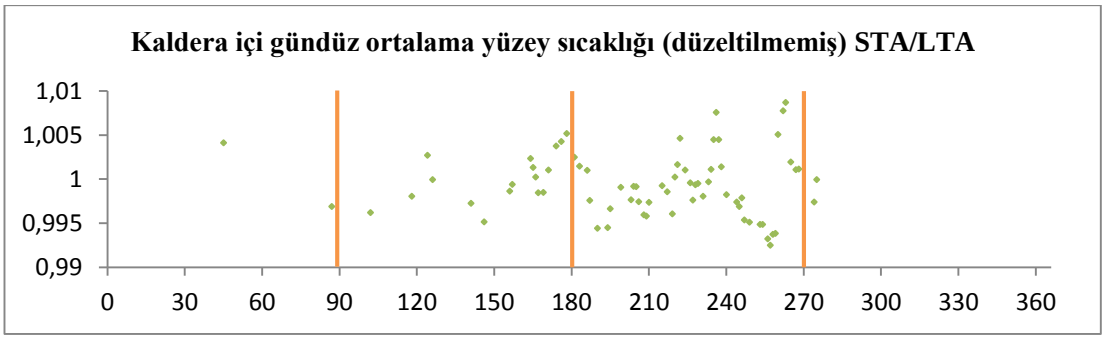


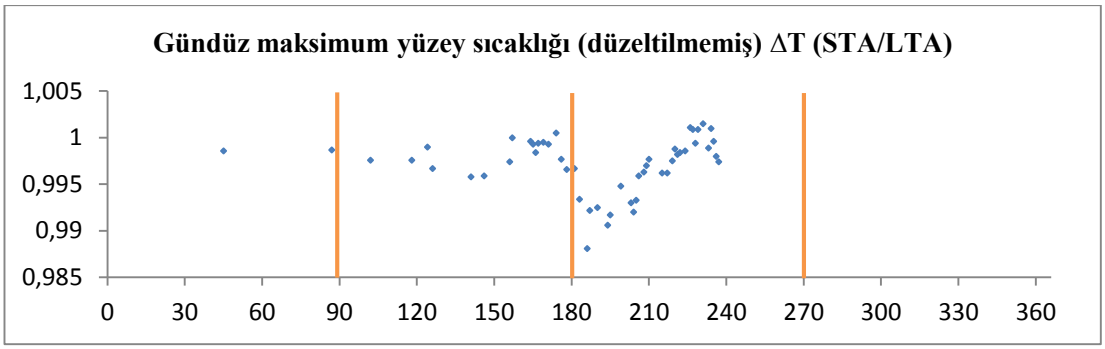


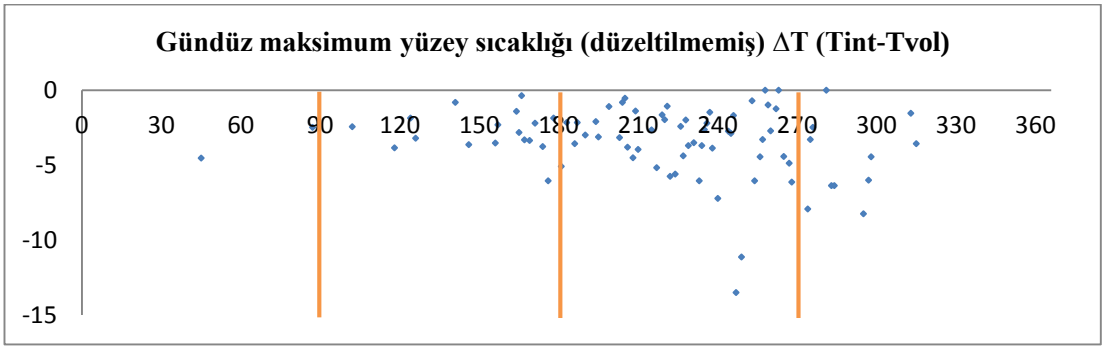


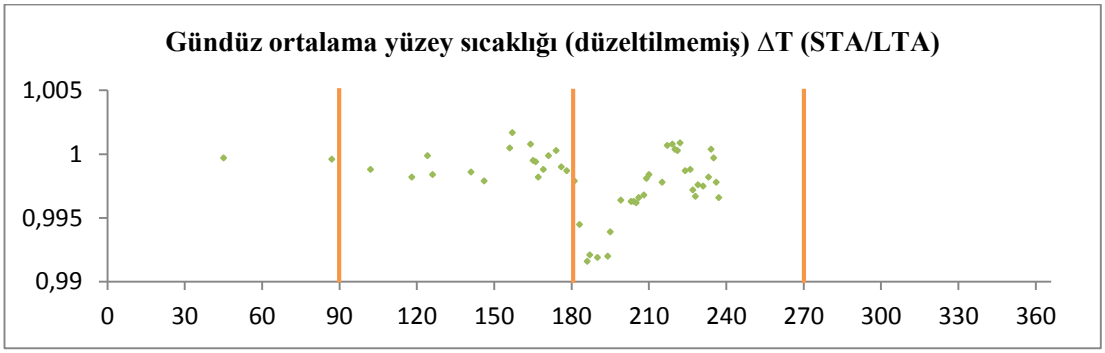


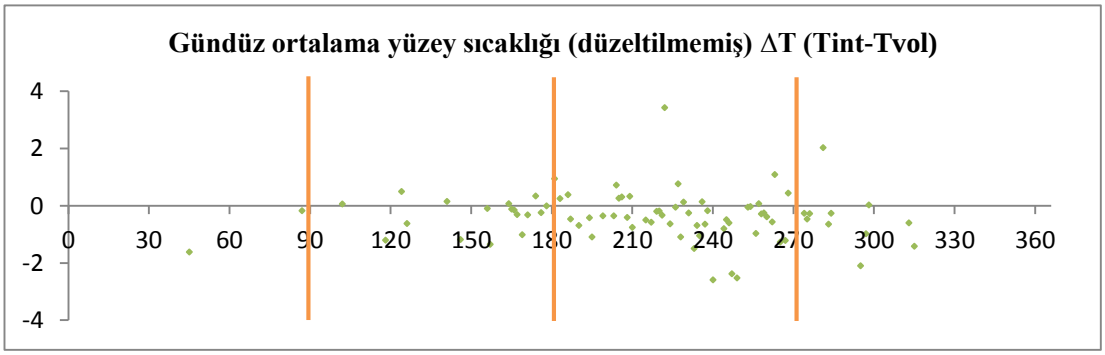
2012 (366 gün)


Kaldera içi gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) STA/LTA
1,01
1,005
1
0,995
0,99
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360


Gündüz maksimum yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
1,005
1
0,995
0,99
0,985
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

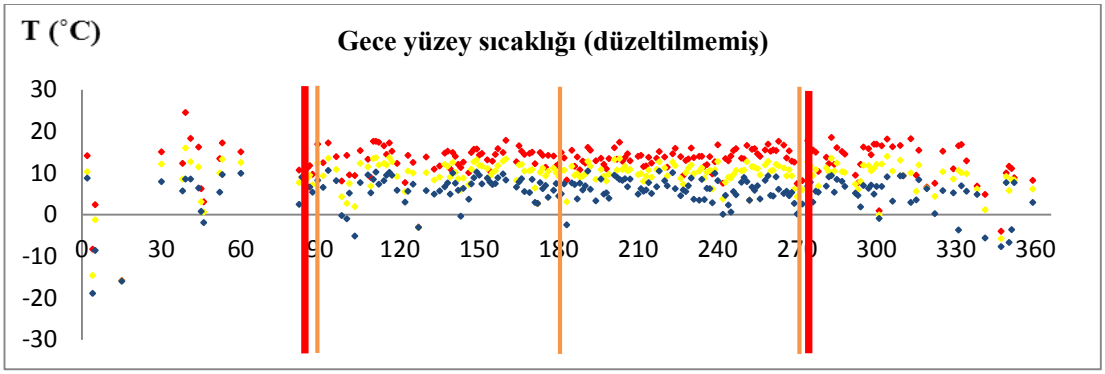

Gündüz maksimum yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
0
-5
-10
-15
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

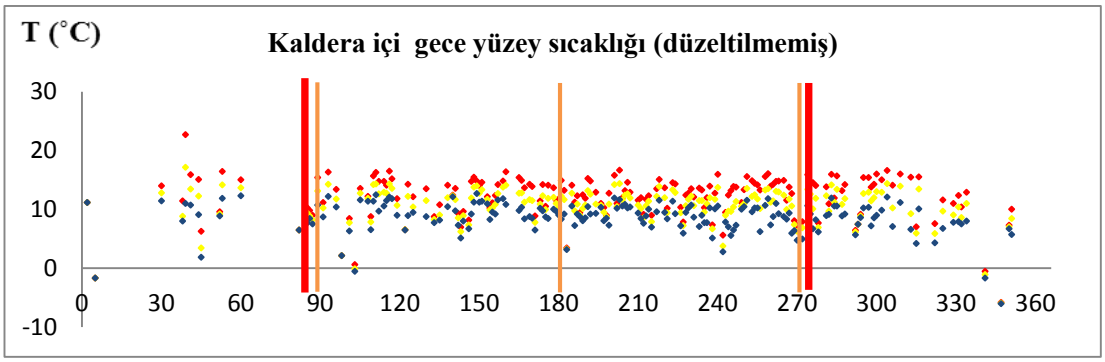

Gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
1,005
1
0,995
0,99
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

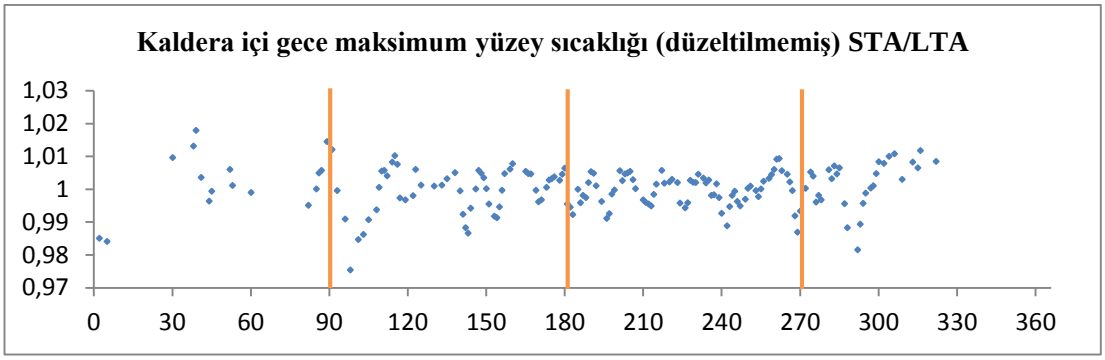

Gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
4
2
0
-2
-4
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

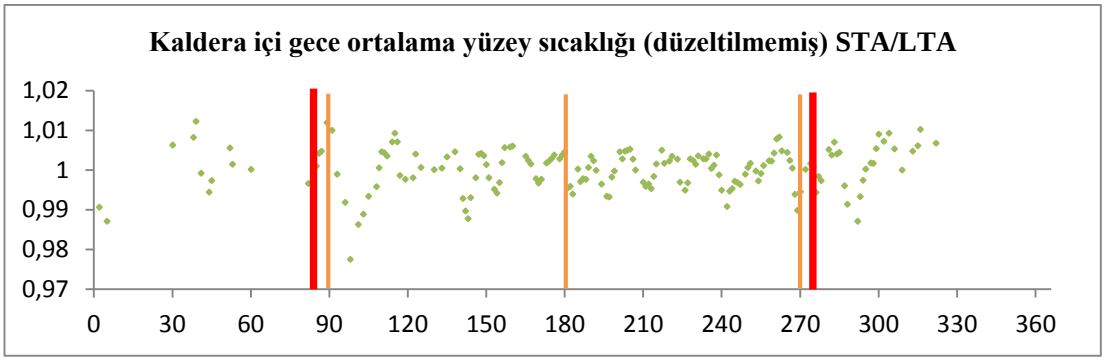
2012 (366 gün)

EK-B.1b. Tengger Kalderası Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

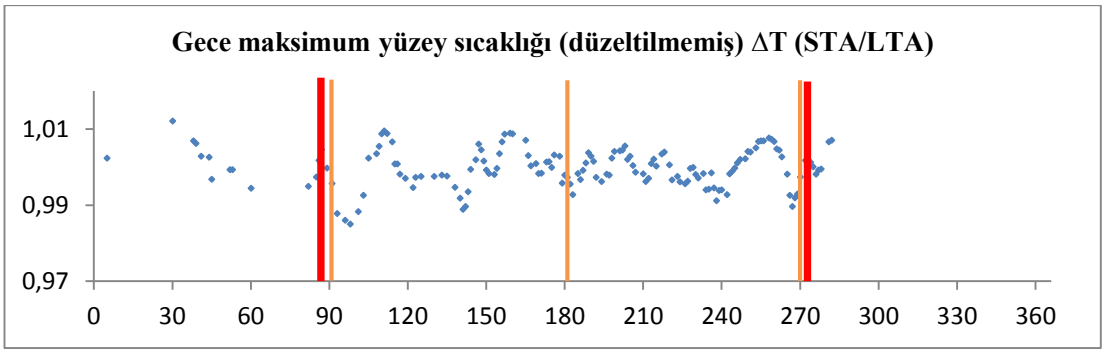


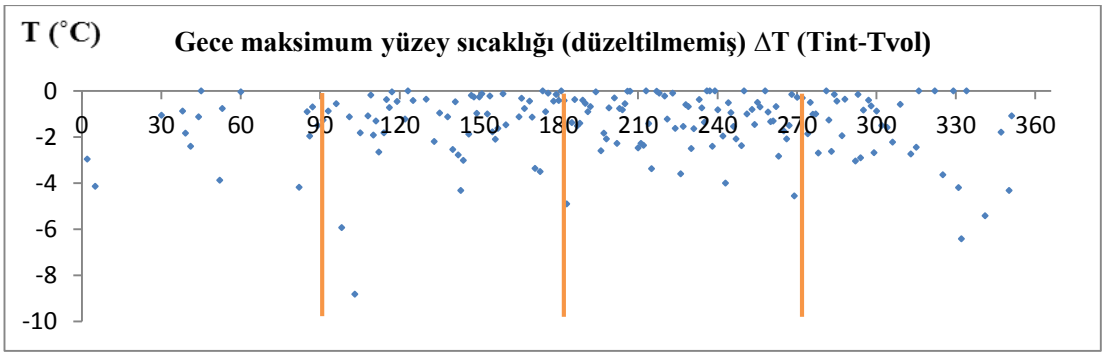


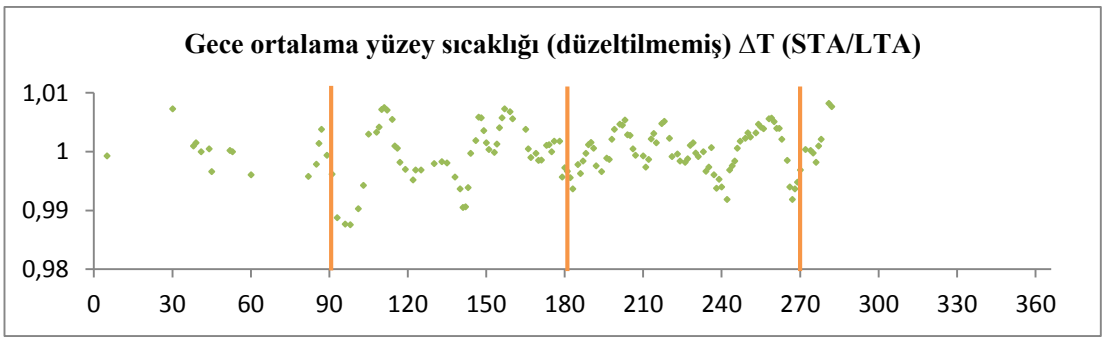


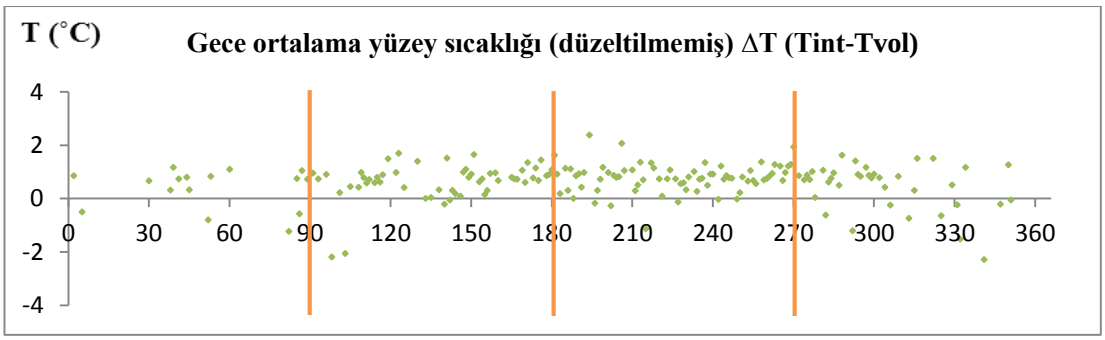


2012 (366 gün)


Gece maksimum yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
1,01
0,99
0,97
0
30
60
90
120
150
180
210
240
270
300
330
360

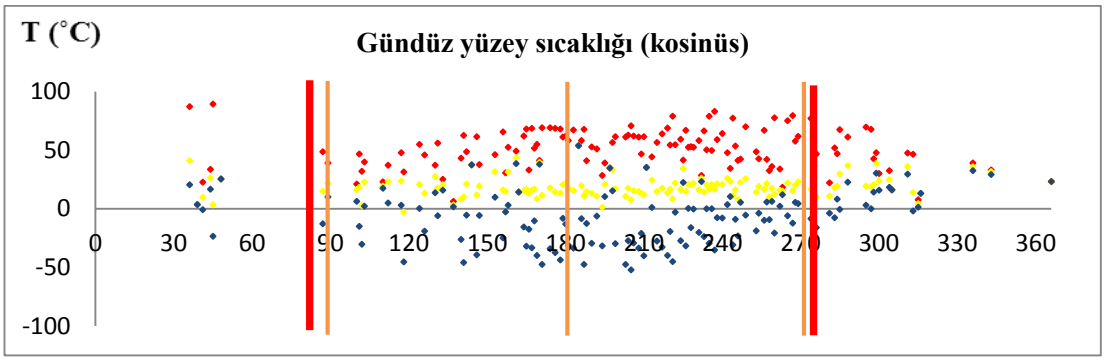

T (˚C)
Gece maksimum yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
0
-2
-4
-6
-8
-10
0
30
60
90
120
150
180
210
240
270
300
330
360

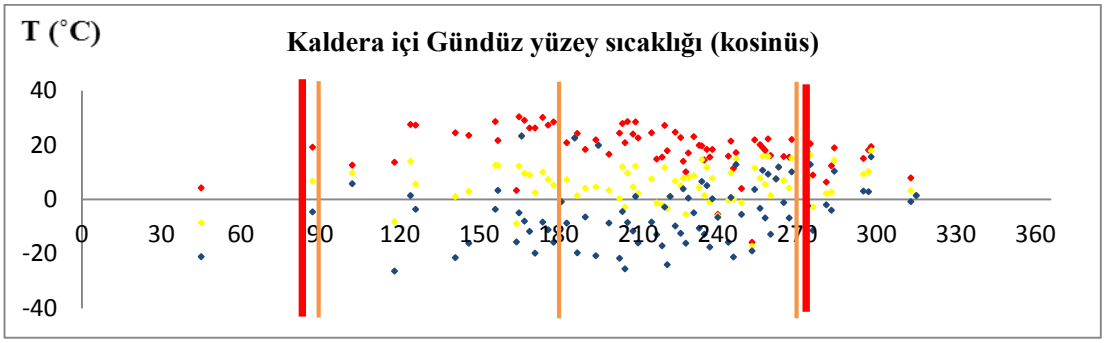

Gece ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
1,01
1
0,99
0,98
0
30
60
90
120
150
180
210
240
270
300
330
360

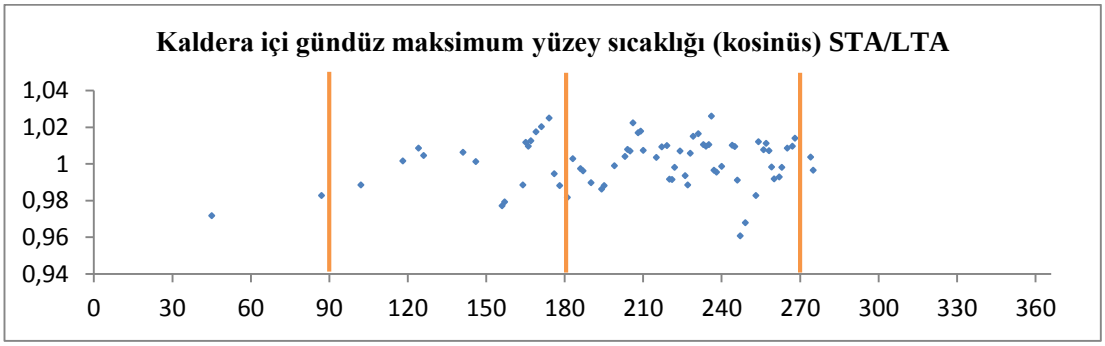

T (˚C)
Gece ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
4
2
0
-2
-4
0
30
60
90
120
150
180
210
240
270
300
330
360

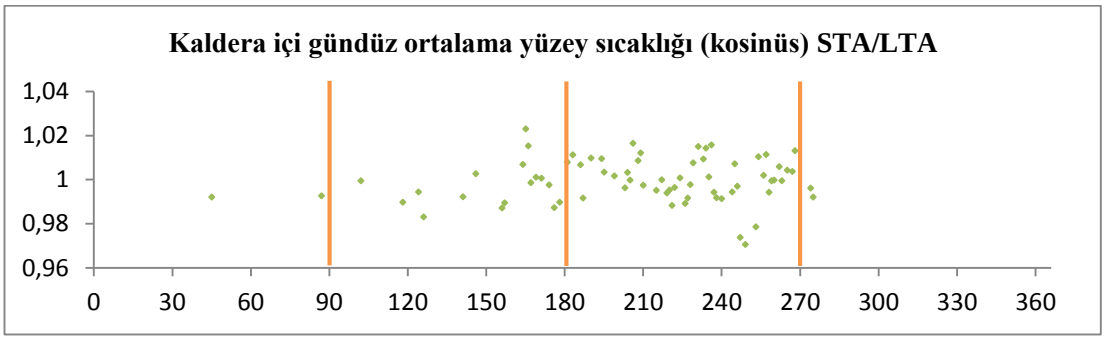
2012 (366 gün)

EK-B.1c. Tengger Kalderası Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (kosinüs düzeltmesi)

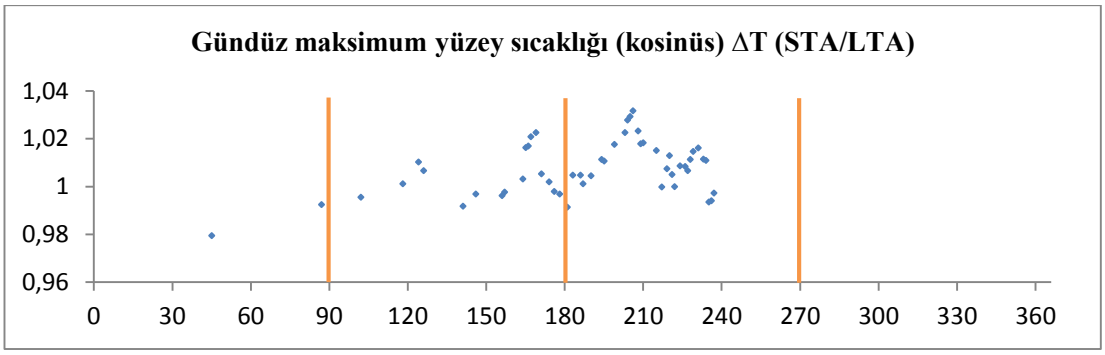


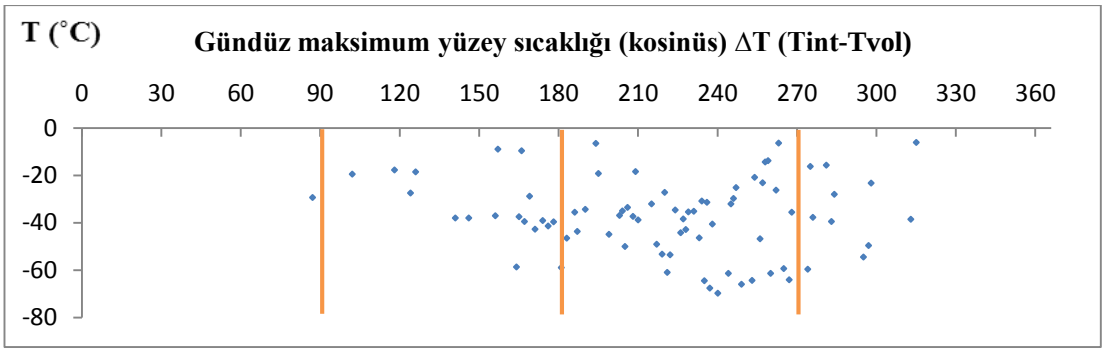


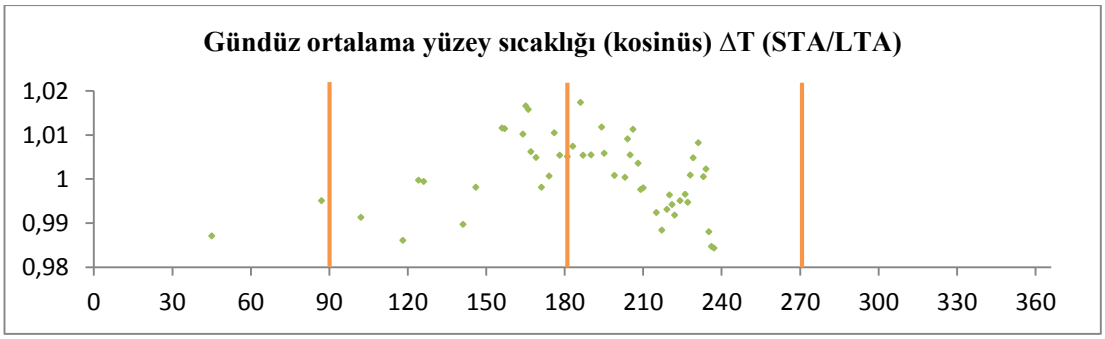


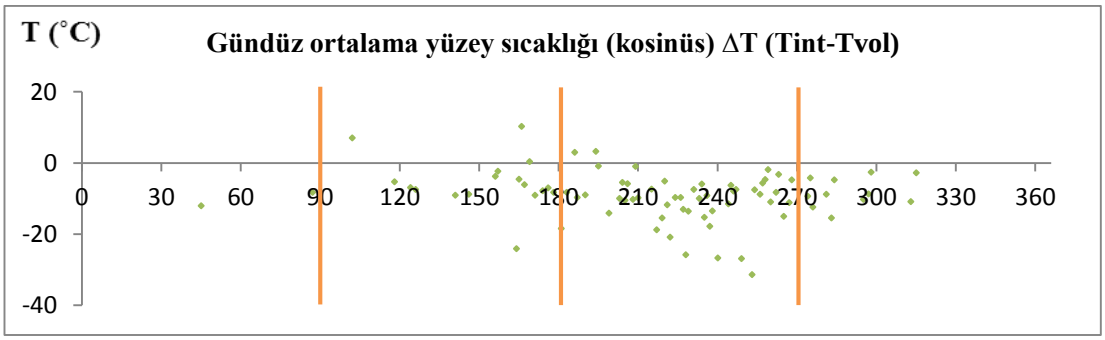


2012 (366 gün)


Gündüz maksimum yüzey sıcaklığı (kosinüs) ΔT (STA/LTA)
1,04
1,02
1
0,98
0,96
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

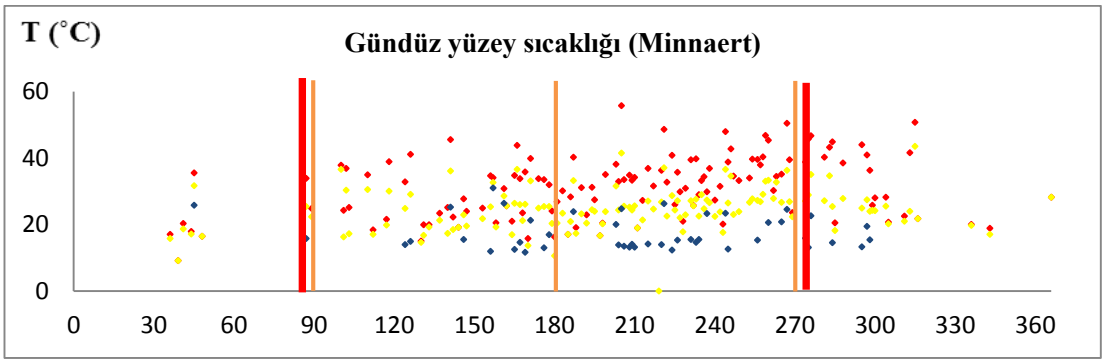

T (˚C)
Gündüz maksimum yüzey sıcaklığı (kosinüs) ΔT (Tint-Tvol)
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360
0
-20
-40
-60
-80

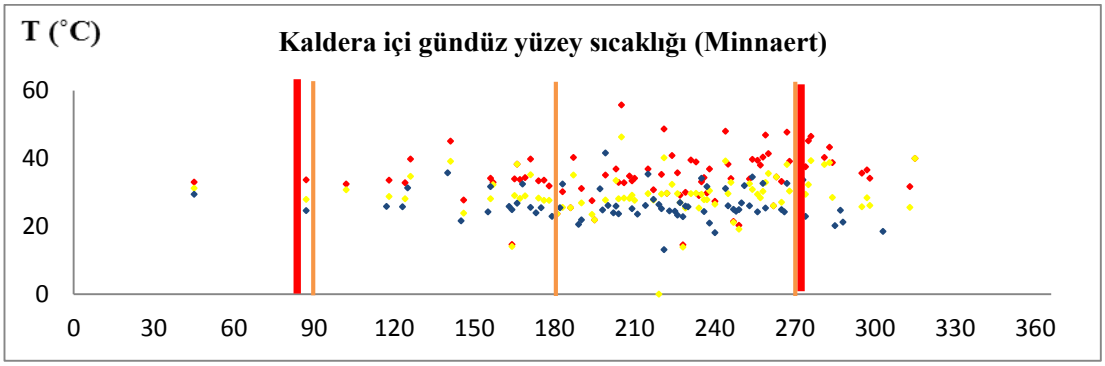

Gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (kosinüs) ΔT (STA/LTA)
1,02
1,01
1
0,99
0,98
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

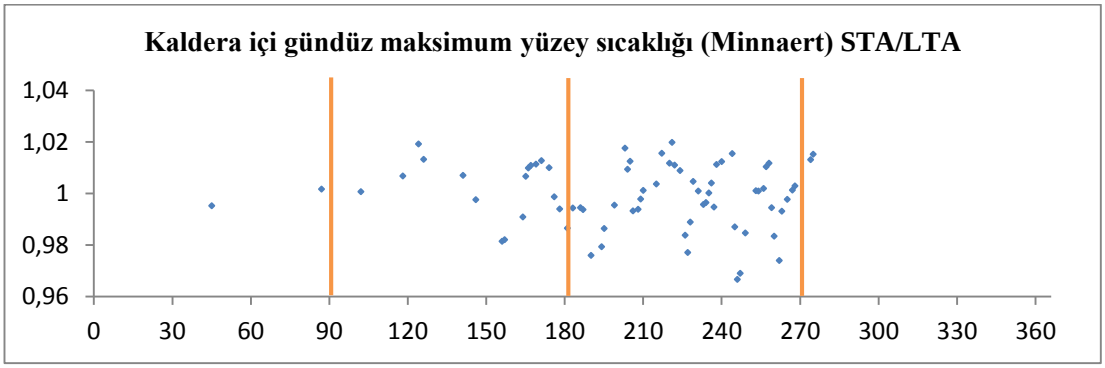

T (˚C)
Gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (kosinüs) ΔT (Tint-Tvol)
20
0
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360
-20
-40

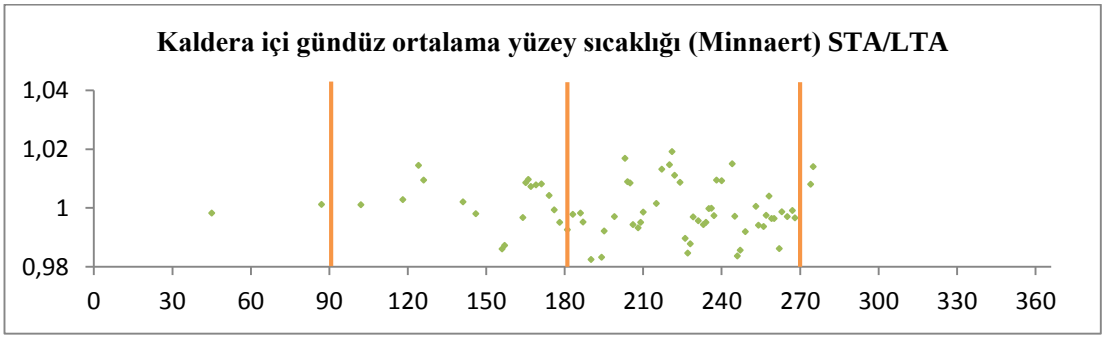
2012 (366 gün)

EK-B.1d. Tengger Kalderası Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (Minnaert düzeltmesi)

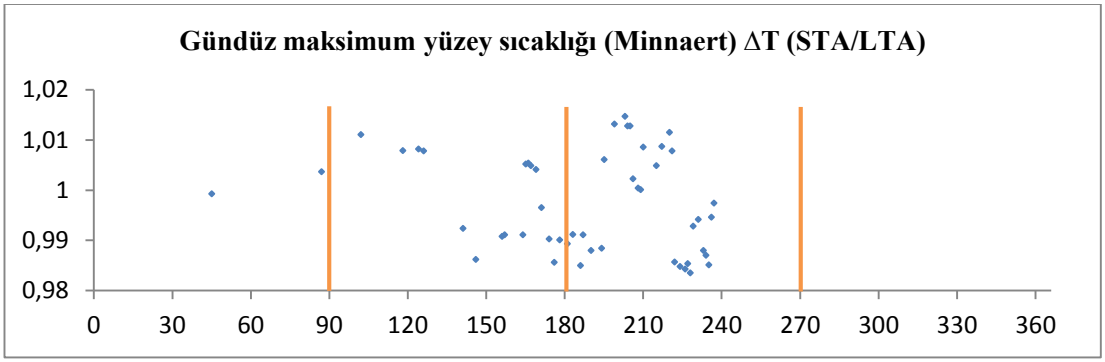


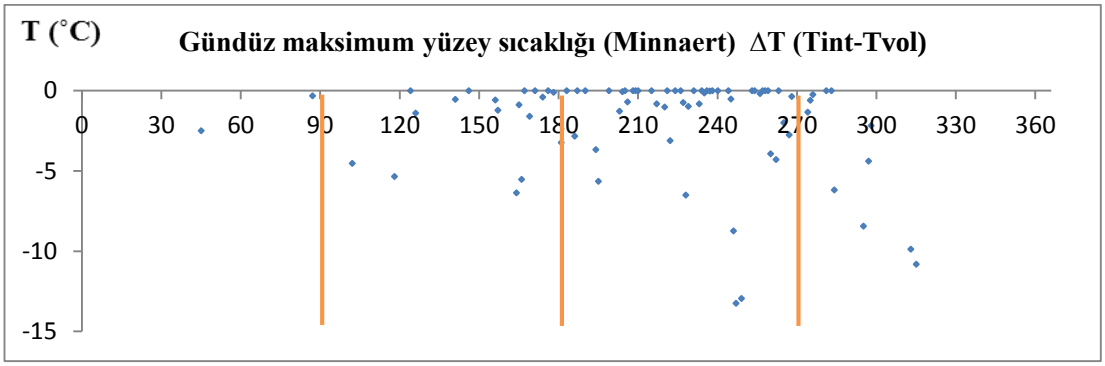


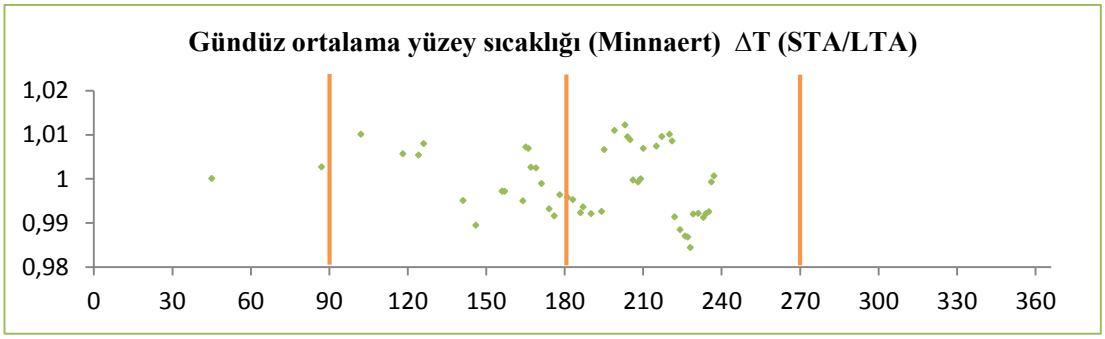


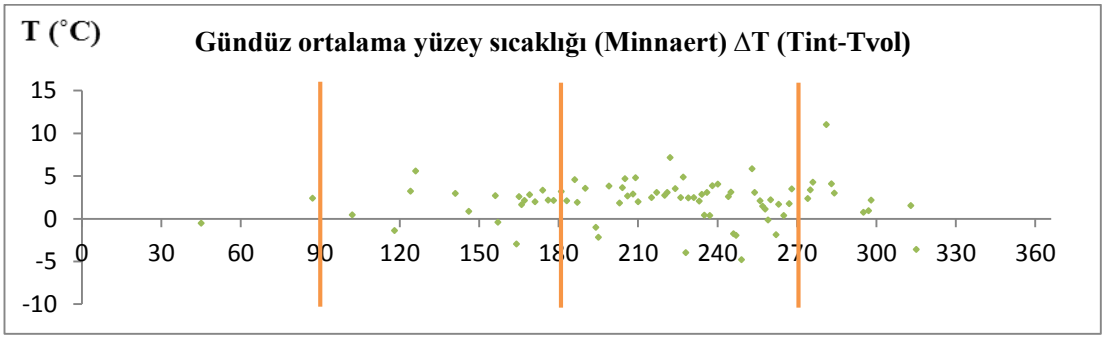


2012 (366 gün)


Gündüz maksimum yüzey sıcaklığı (Minnaert) ΔT (STA/LTA)
1,02
1,01
1
0,99
0,98
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360


T (˚C)
Gündüz maksimum yüzey sıcaklığı (Minnaert) ΔT (Tint-Tvol)
0
-5
-10
-15
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

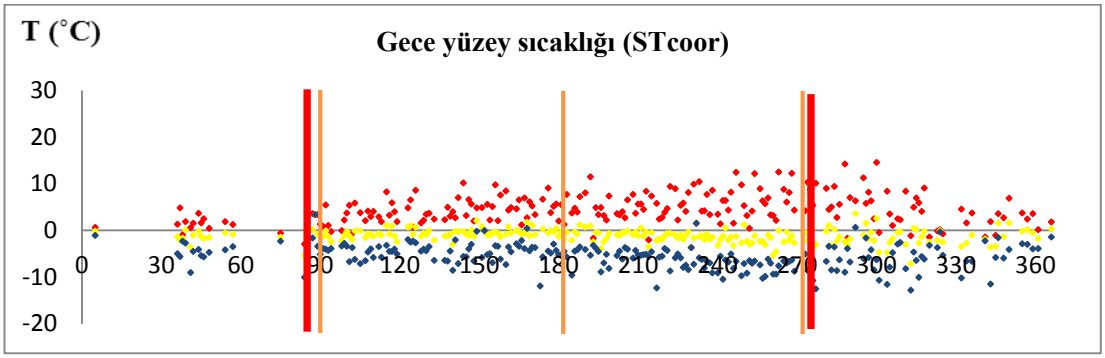

Gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (Minnaert) ΔT (STA/LTA)
1,02
1,01
1
0,99
0,98
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

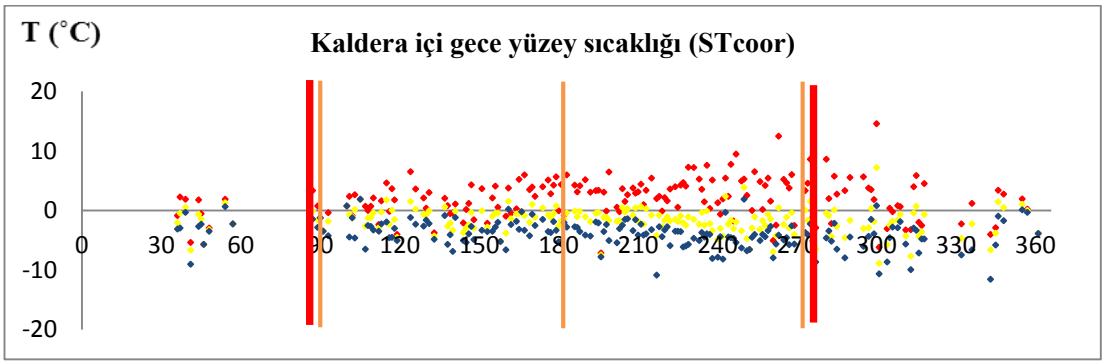

T (˚C)
Gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (Minnaert) ΔT (Tint-Tvol)
15
10
5
0
-5
-10
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

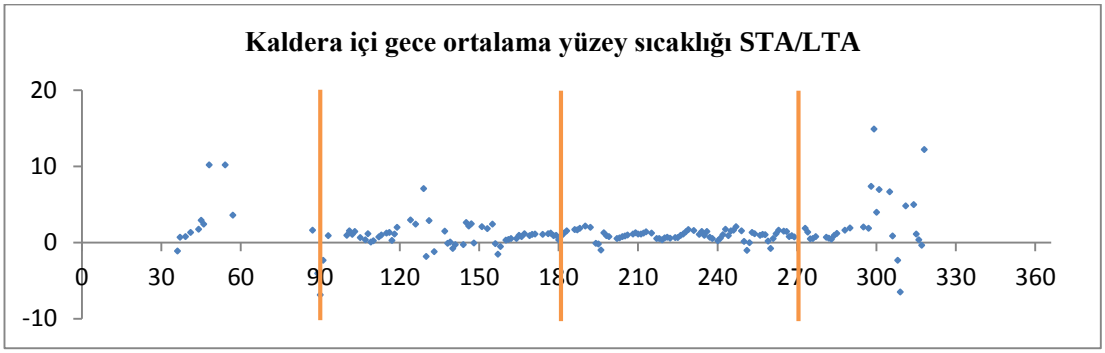
2012 (366 gün)

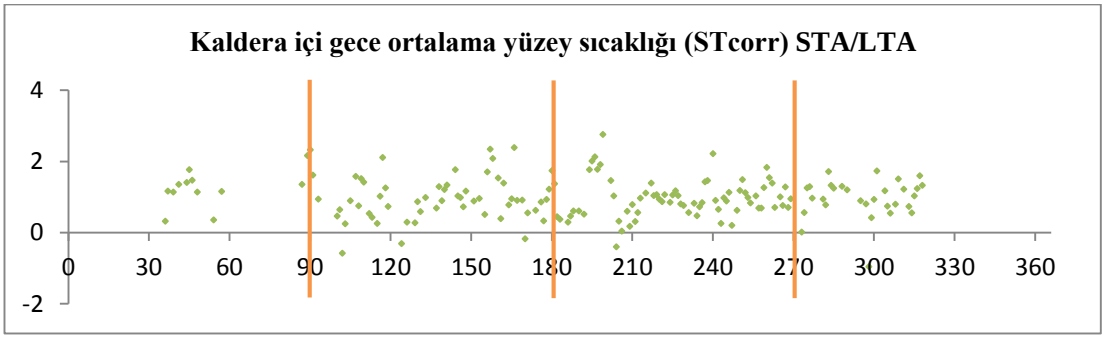
EK-B.1e. Tengger Kalderası Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

(STcorr düzeltmesi)

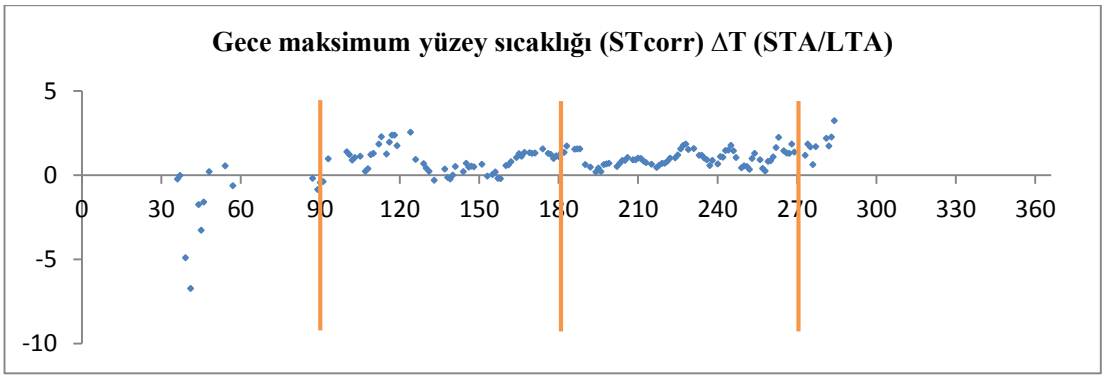


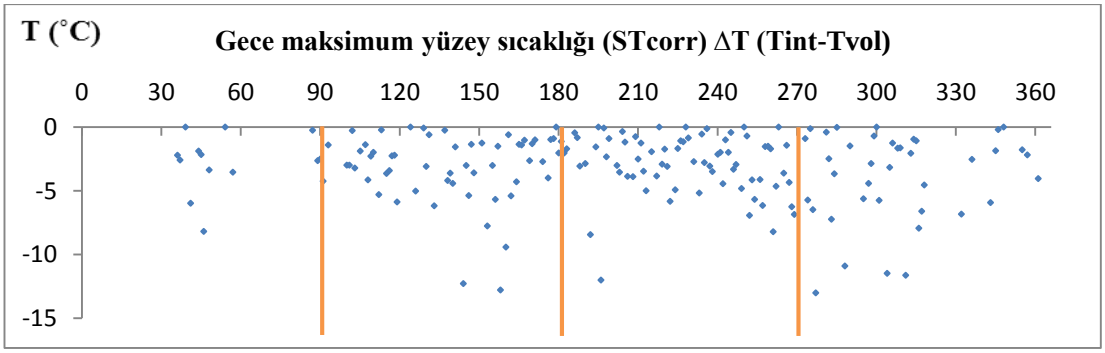


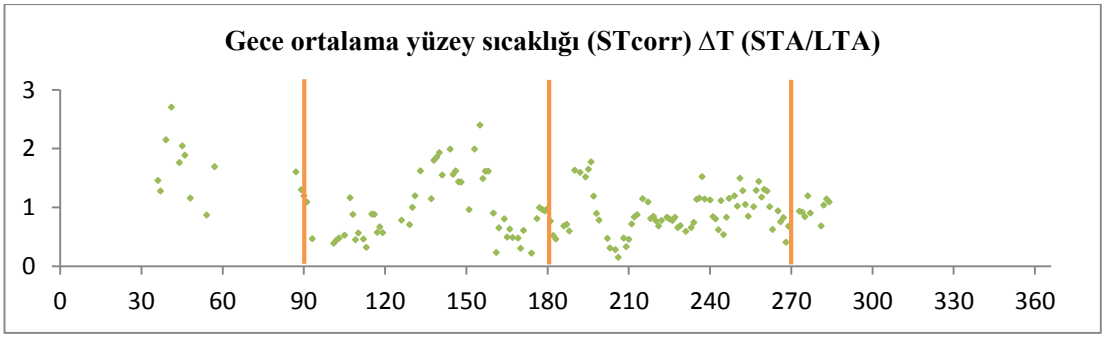


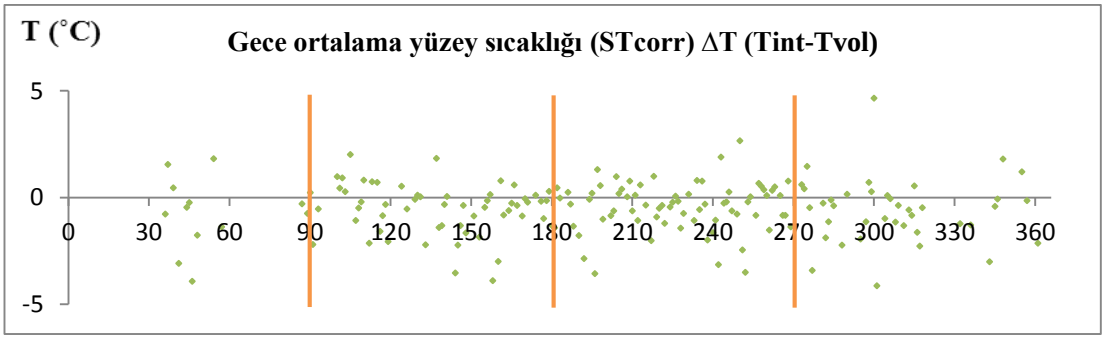


2012 (366 gün)


Gece maksimum yüzey sıcaklığı (STcorr) ΔT (STA/LTA)
5
0
-5
-10
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

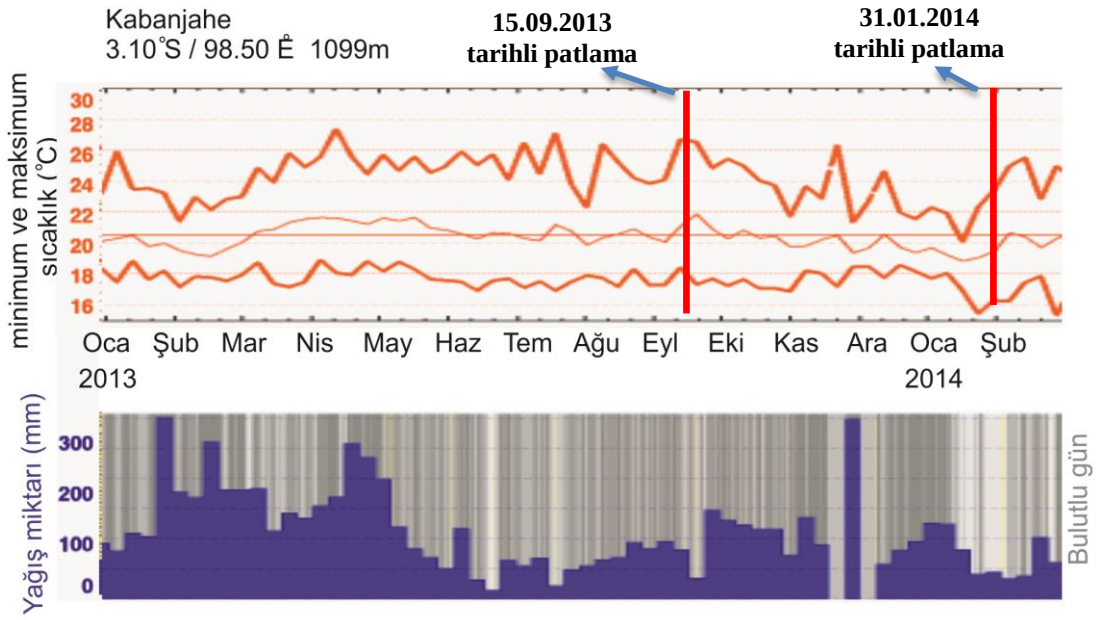

T (˚C)
Gece maksimum yüzey sıcaklığı (STcorr) ΔT (Tint-Tvol)
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360
0
-5
-10
-15

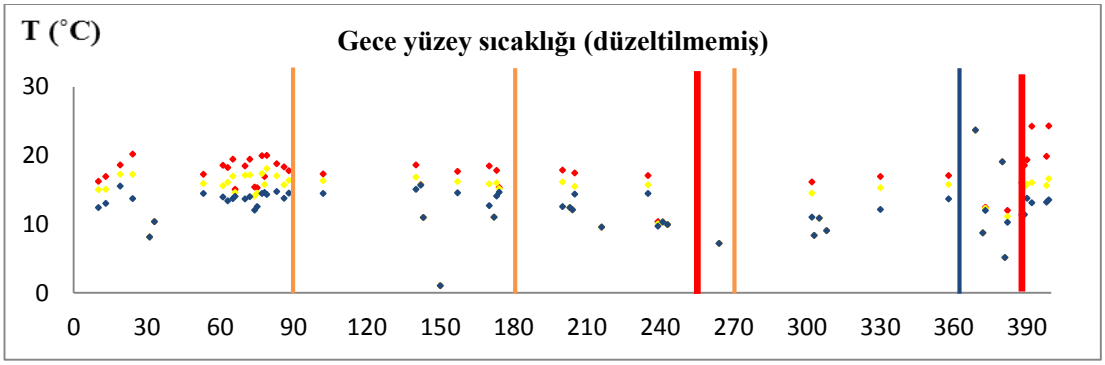

Gece ortalama yüzey sıcaklığı (STcorr) ΔT (STA/LTA)
3
2
1
0
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

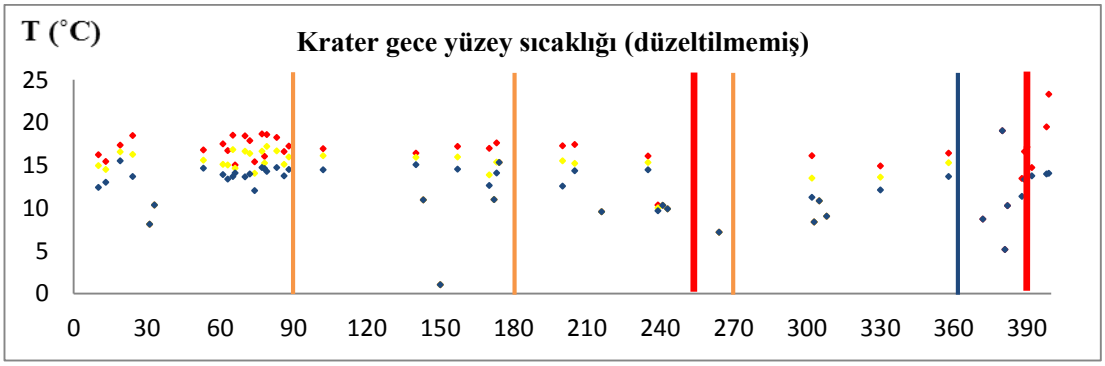

T (˚C)
Gece ortalama yüzey sıcaklığı (STcorr) ΔT (Tint-Tvol)
5
0
-5
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

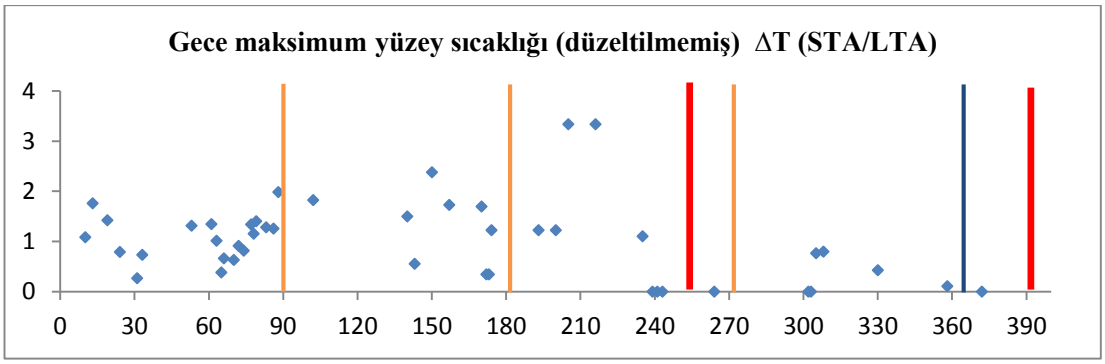
2012 (366 gün)

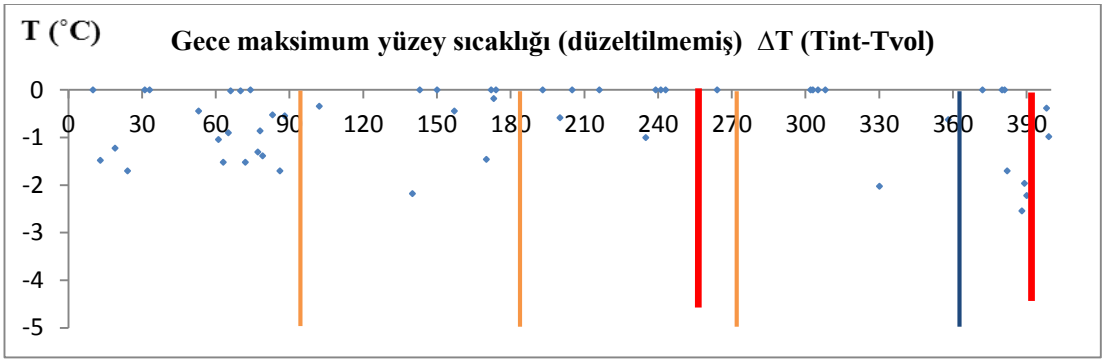
EK-B.2. Sinabung Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

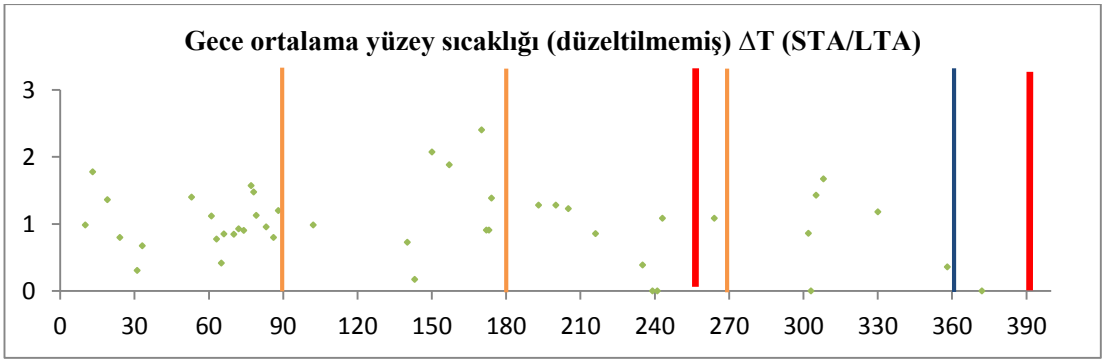


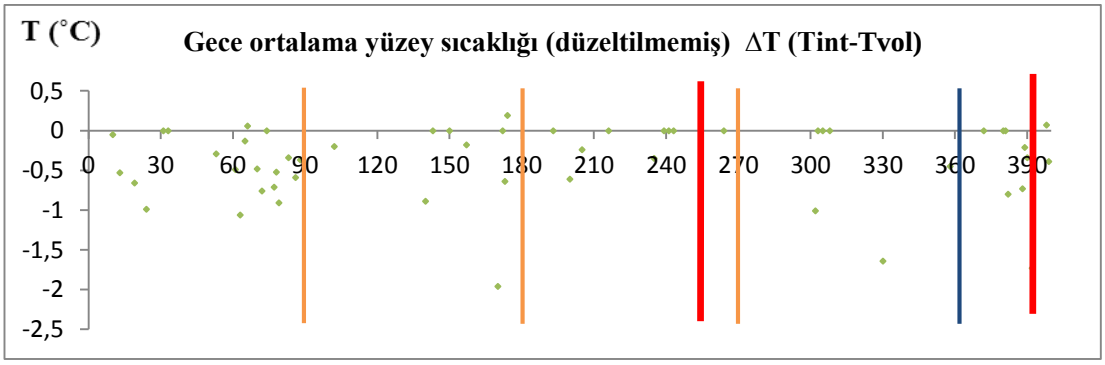




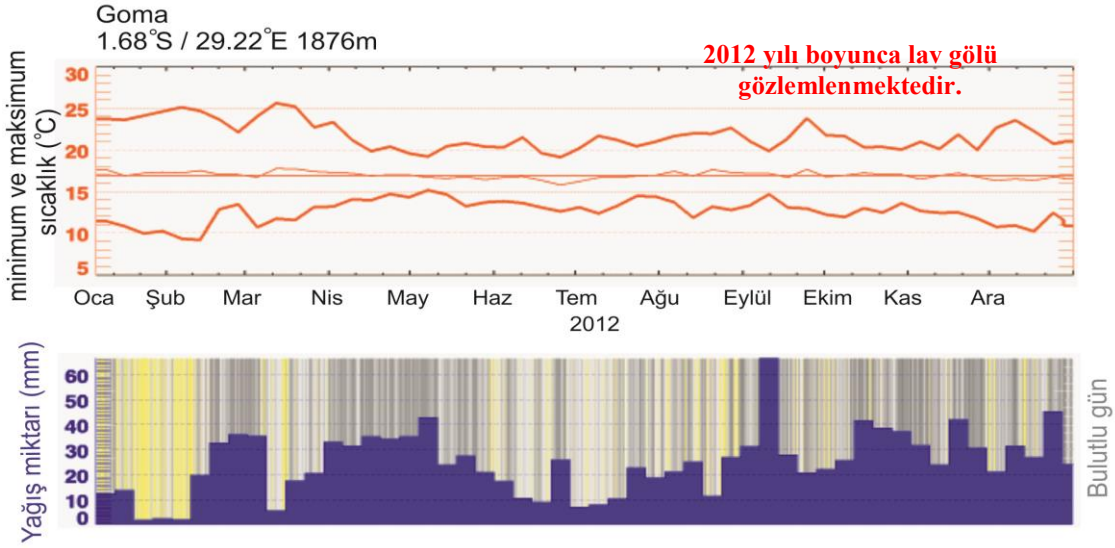

Gece maksimum yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
4
3
2
1
0
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360 390

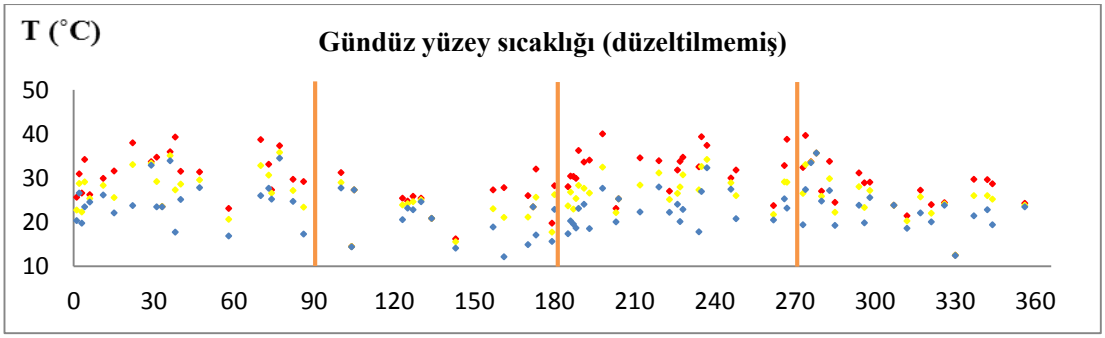

T (˚C)
Gece maksimum yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
0
-1
-2
-3
-4
-5
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360 390


Gece ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
3
2
1
0
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360 390

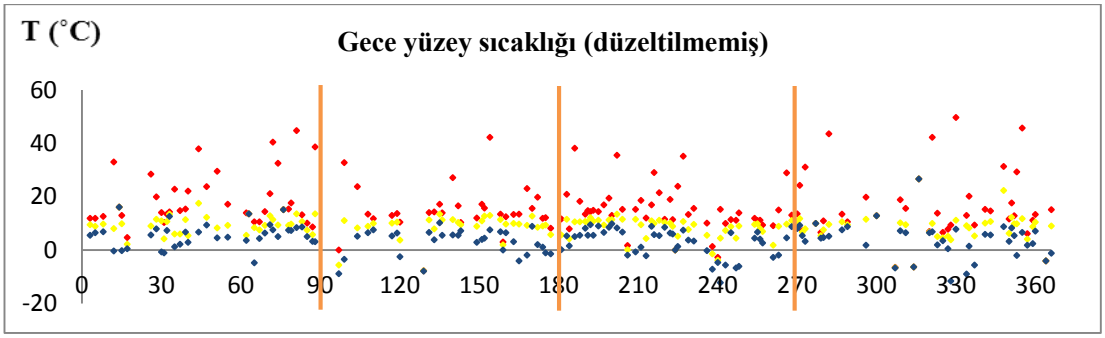

T (˚C)
Gece ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
0,5
0
-0,5
-1
-1,5
-2
-2,5
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360 390

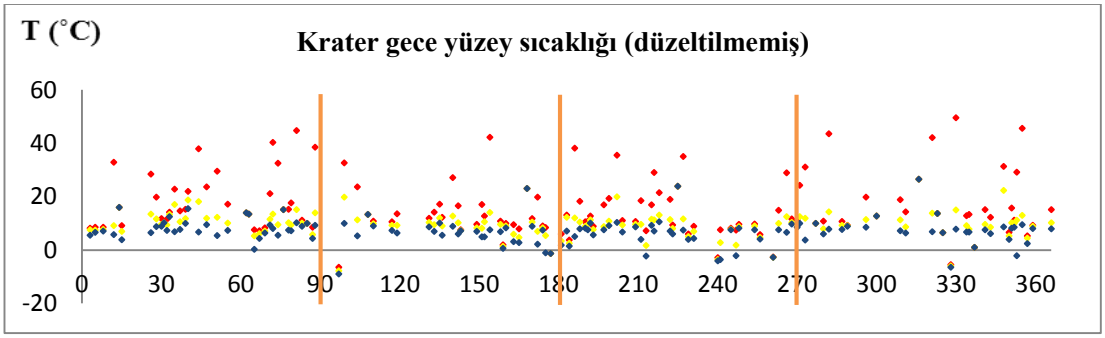
EK-B.3a. Nyiragongo Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafiği



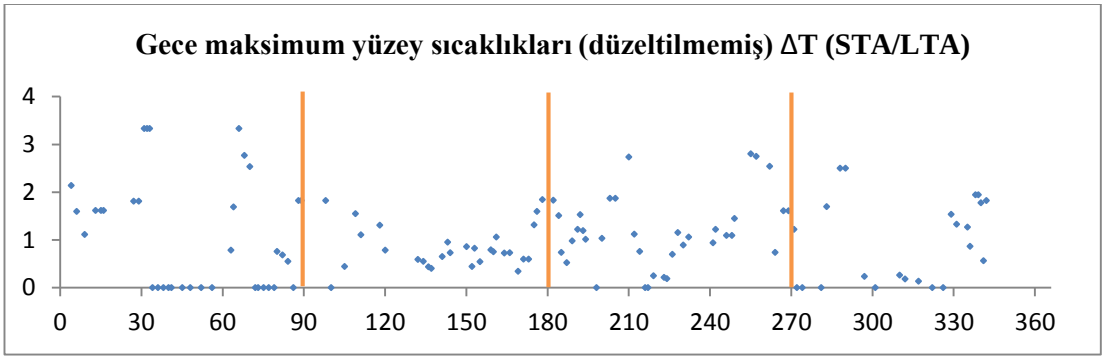


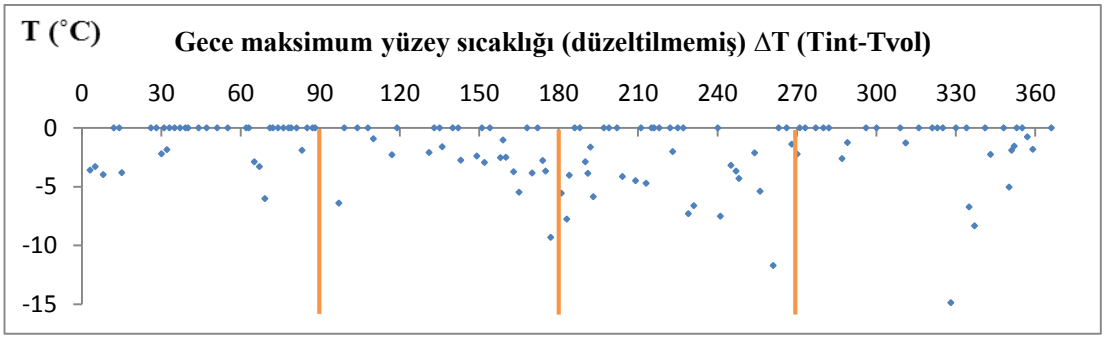
EK-B.3b. Nyiragongo Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

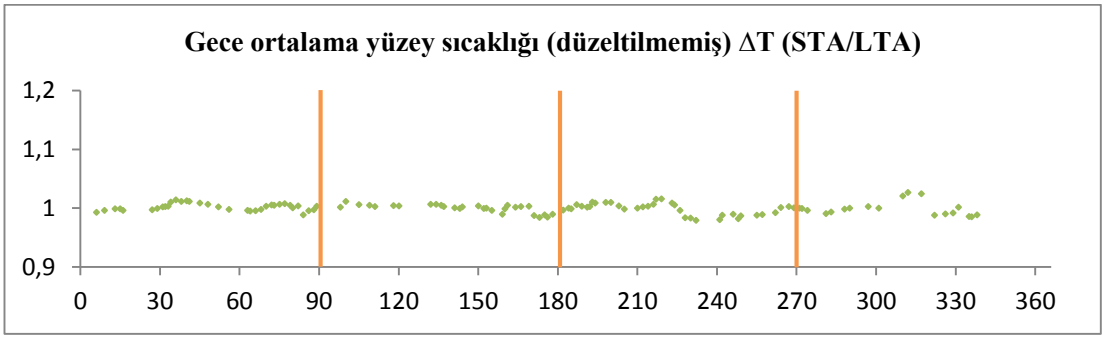


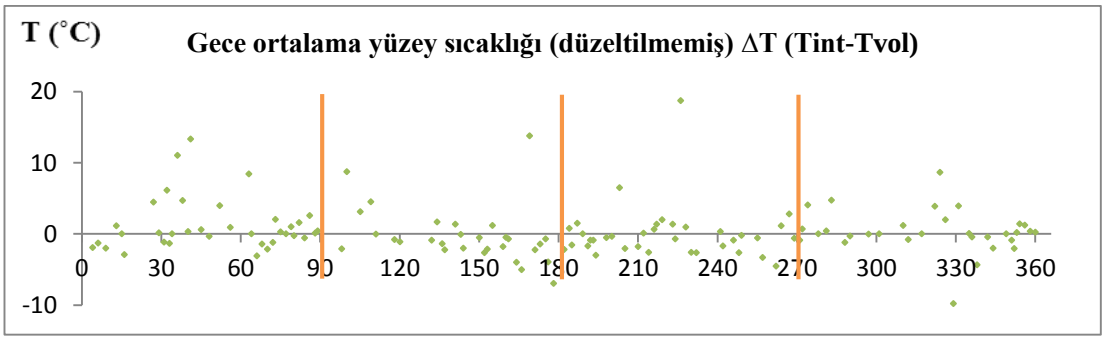


2012 (366 gün)


Gece maksimum yüzey sıcaklıkları (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
4
3
2
1
0
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

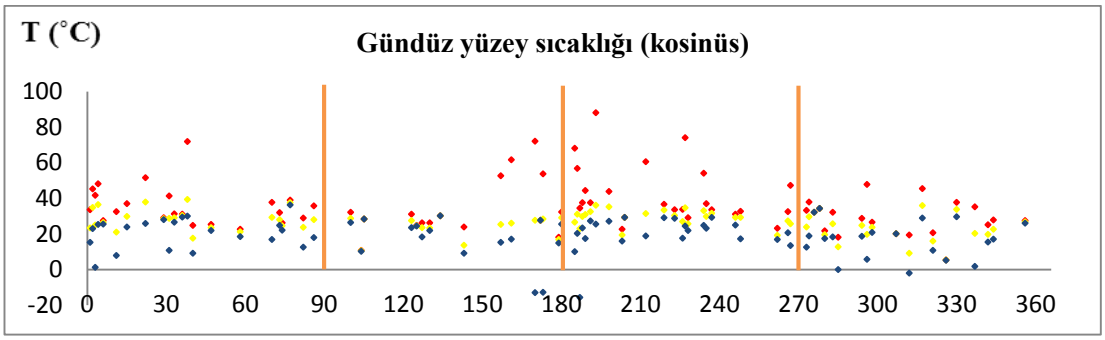

T (˚C)
Gece maksimum yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360
0
-5
-10
-15


Gece ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
1,2
1,1
1
0,9
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

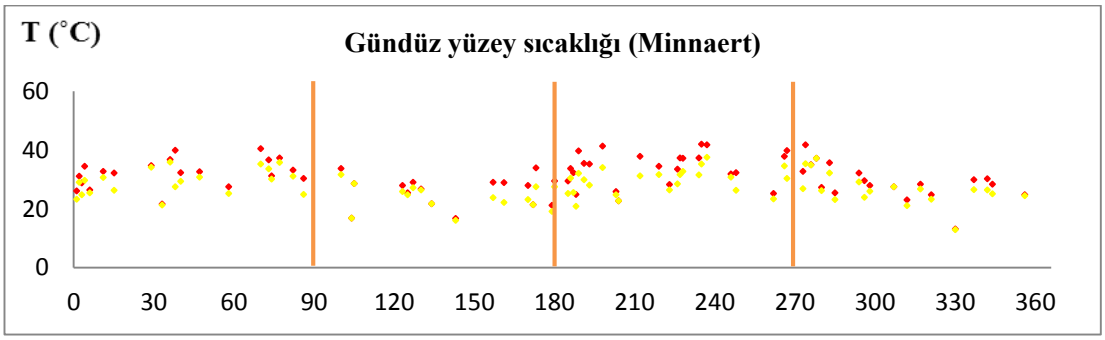

T (˚C)
Gece ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
20
10
0
-10
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

2012 (366 gün)

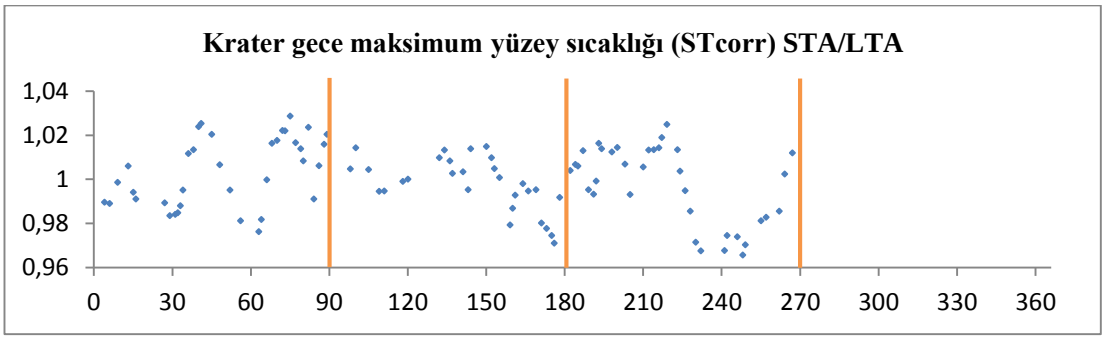
EK-B.3c. Nyiragongo Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafiği (kosinüs düzeltmesi)

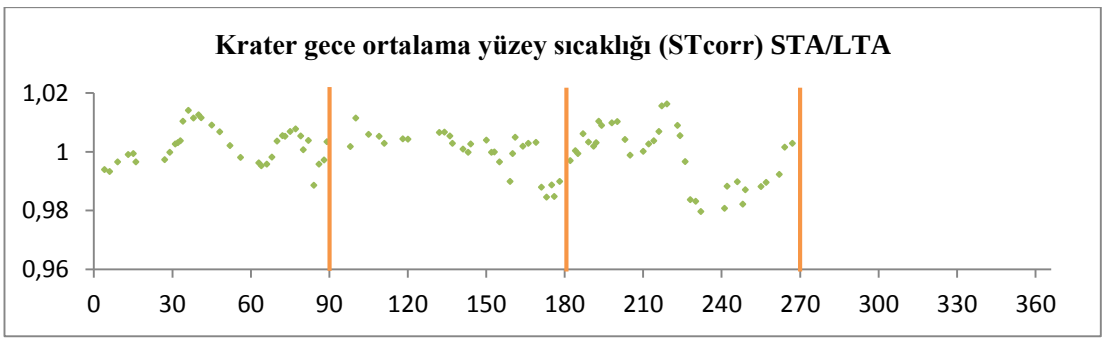


EK-B.3d. Nyiragongo Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafiği (Minnaert düzeltmesi)



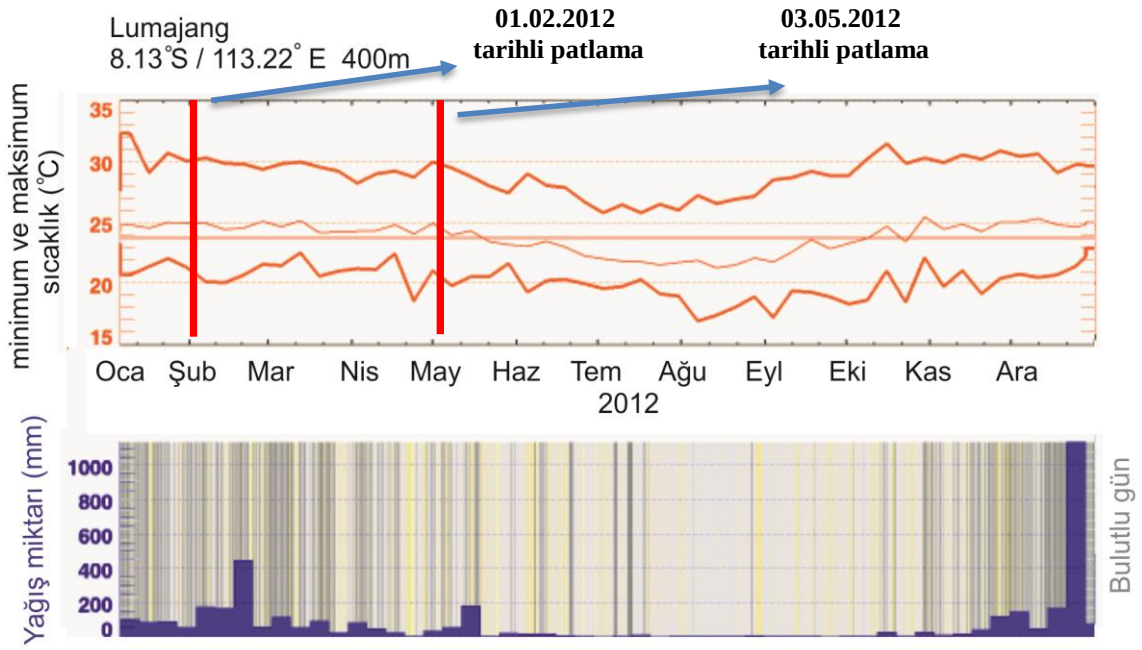
EK-B.3e. Nyiragongo Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (STcorr düzeltmesi)

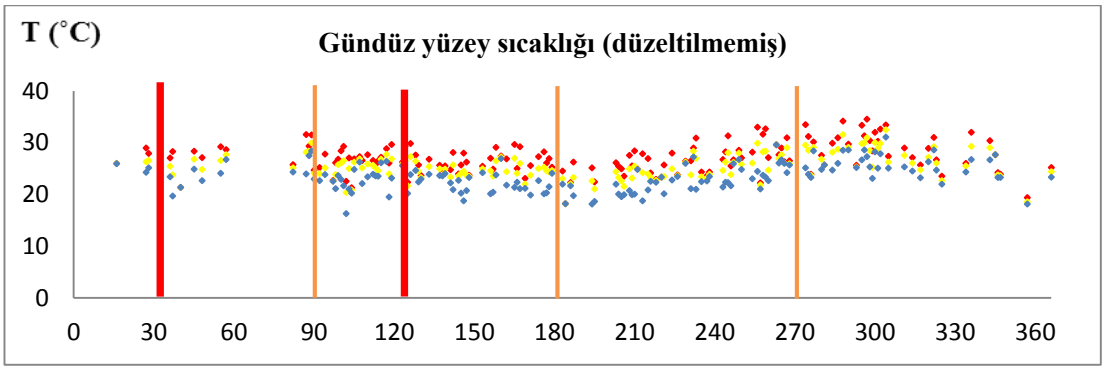


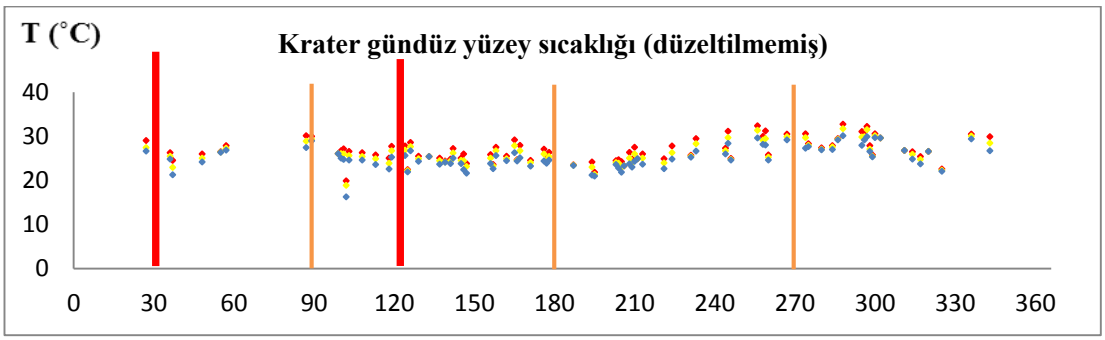


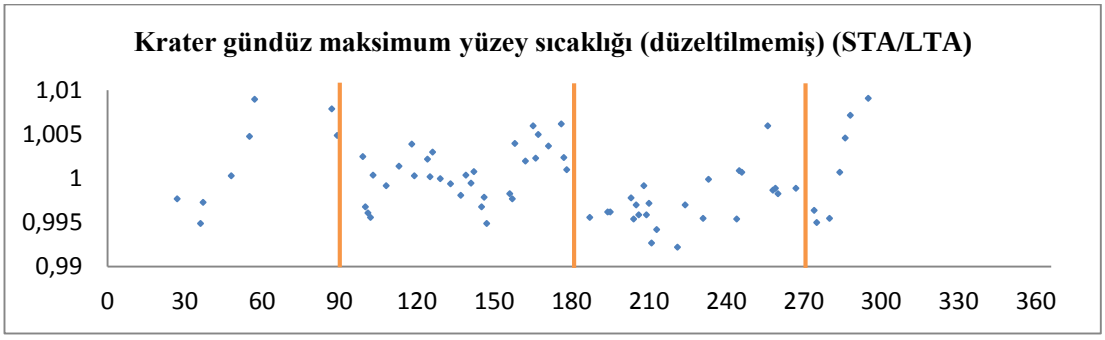
2012 (366 gün)

EK-B.4a. Semeru Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

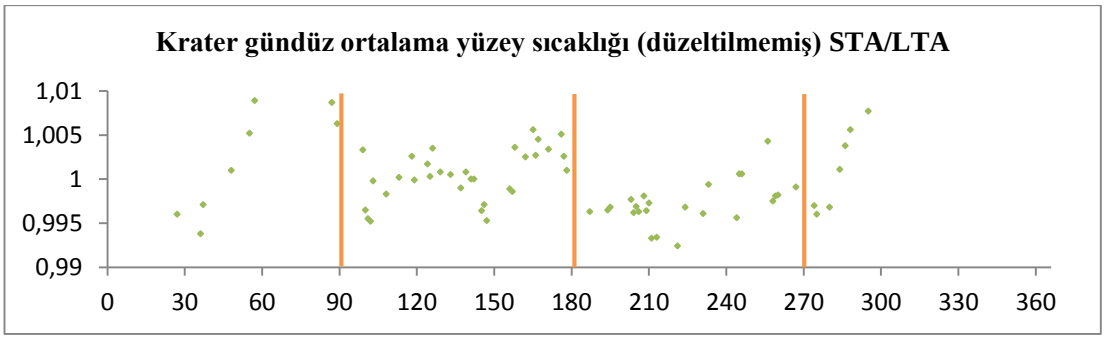


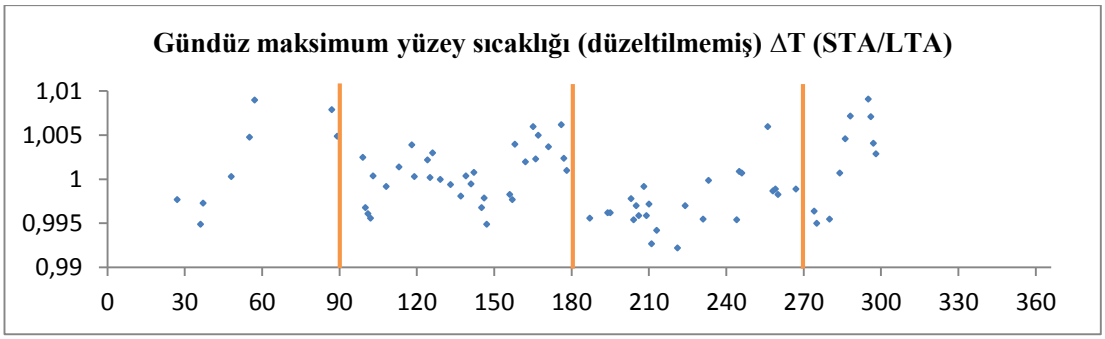


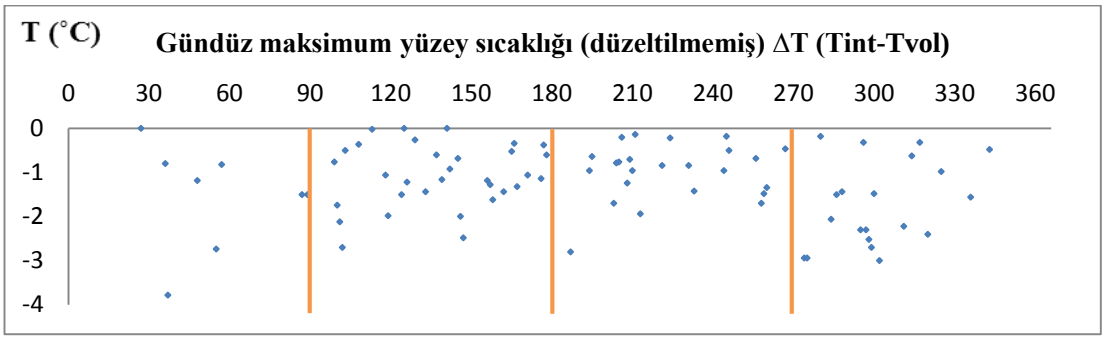


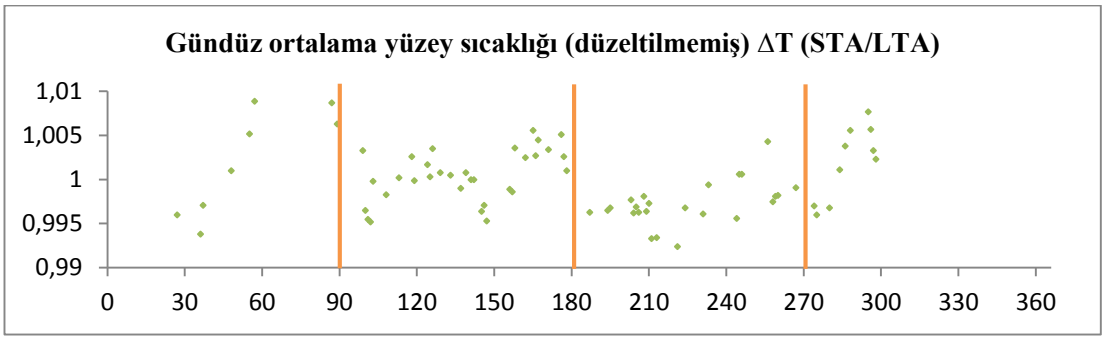


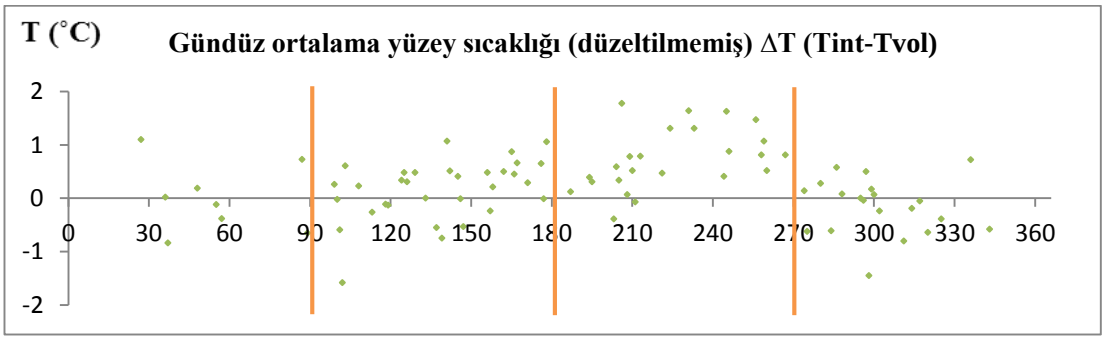
2012 (366 gün)


Krater gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) STA/LTA
1,01
1,005
1
0,995
0,99
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360


Gündüz maksimum yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
1,01
1,005
1
0,995
0,99
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

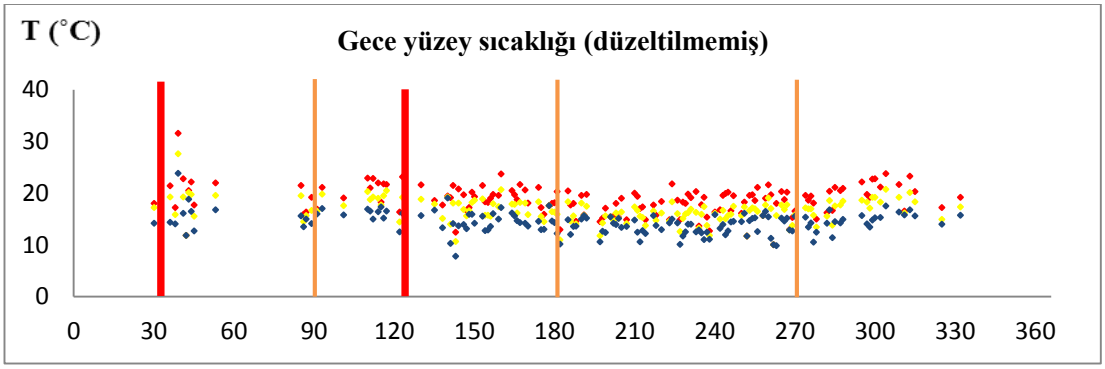

T (˚C)
Gündüz maksimum yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360
0
-1
-2
-3
-4

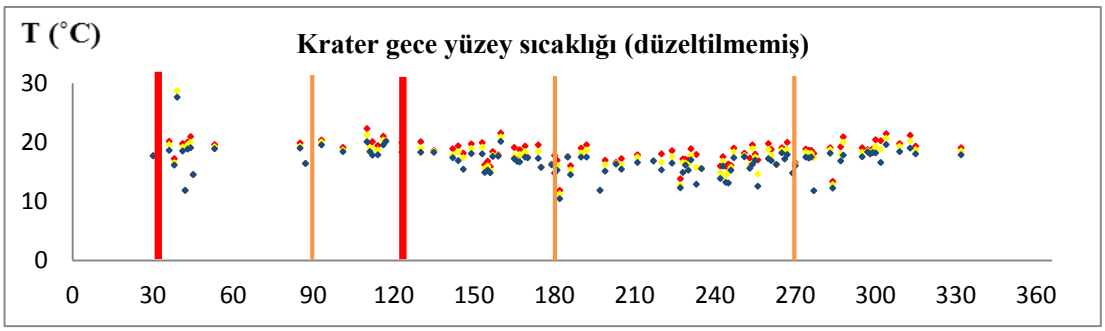

Gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
1,01
1,005
1
0,995
0,99
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

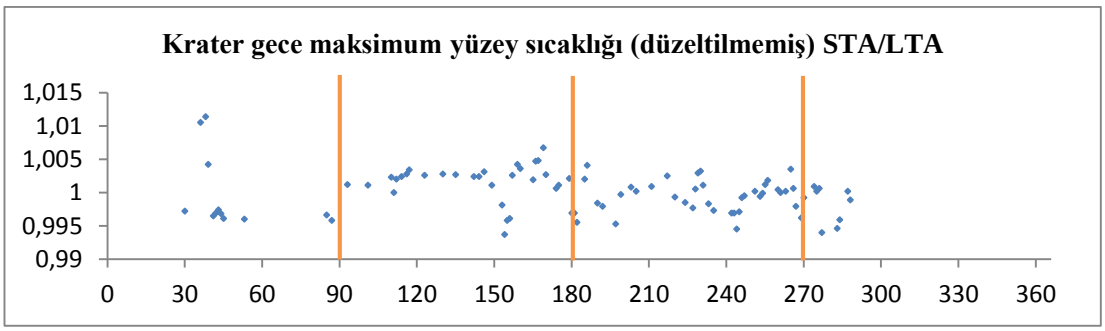

T (˚C)
Gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
2
1
0
-1
-2
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

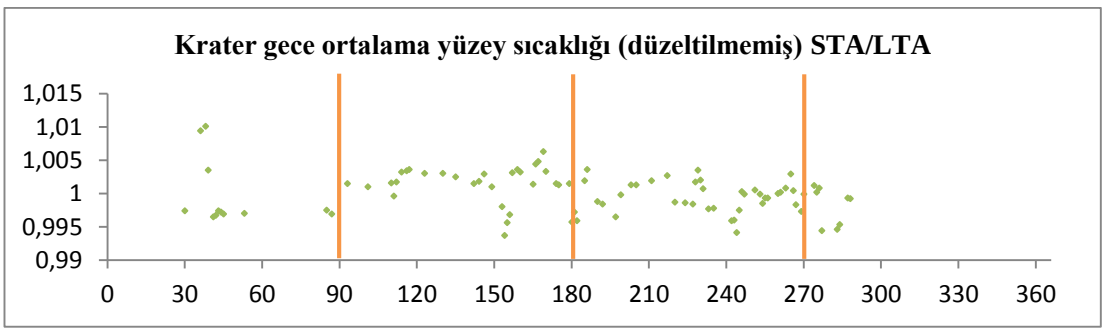
2012 (366 gün)

EK-B.4b. Semeru Volkanı Gece Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

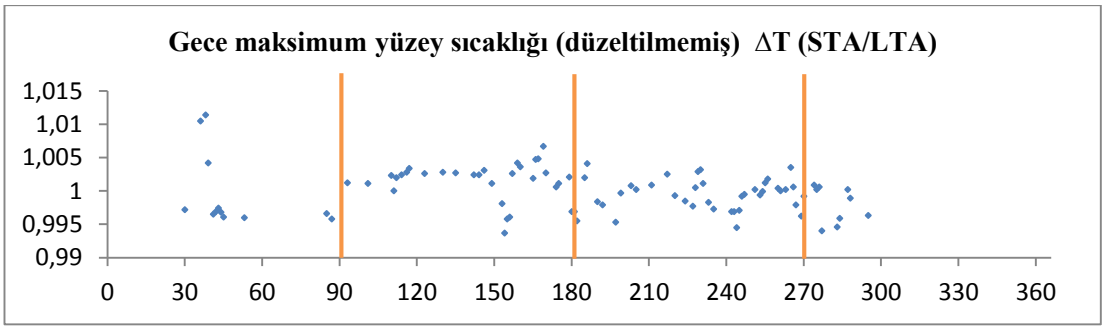


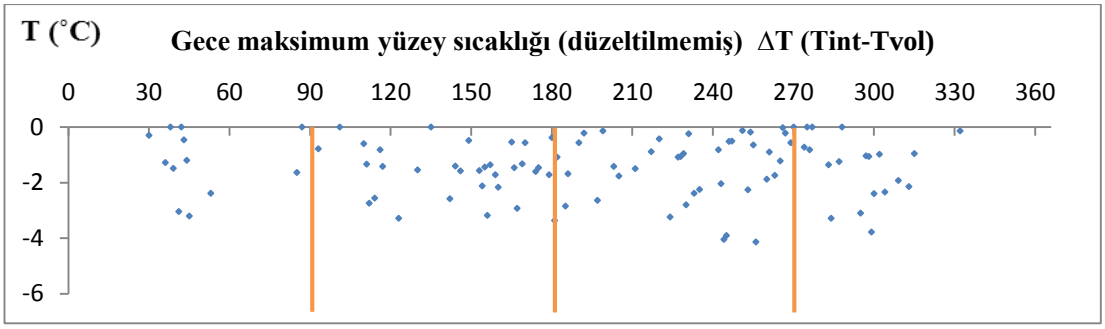


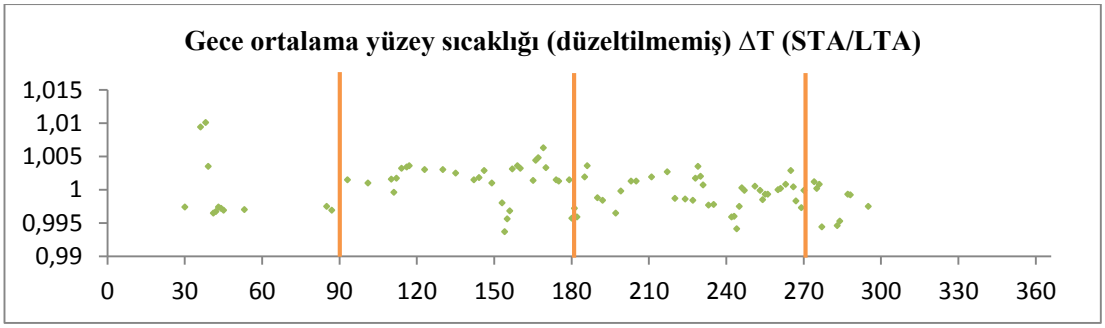


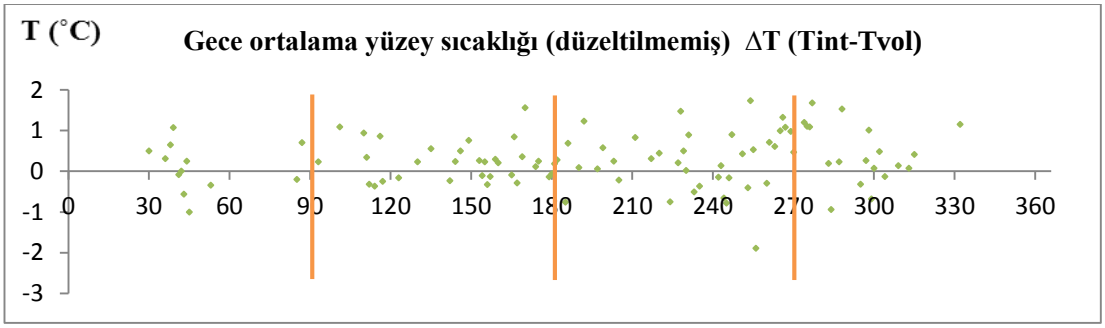


2012 (366 gün)


Gece maksimum yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
1,015
1,01
1,005
1
0,995
0,99
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

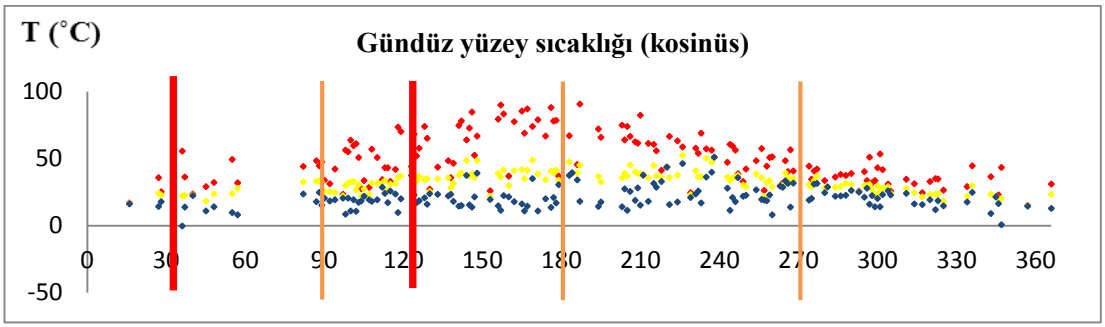

T (˚C)
Gece maksimum yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360
0
-2
-4
-6

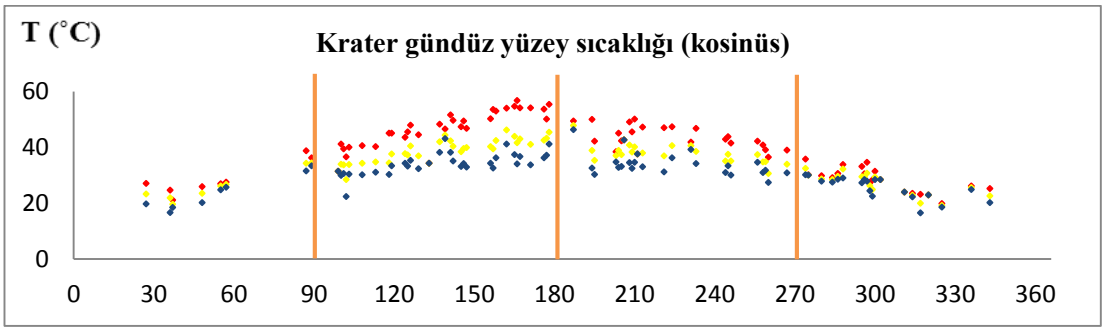

Gece ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (STA/LTA)
1,015
1,01
1,005
1
0,995
0,99
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

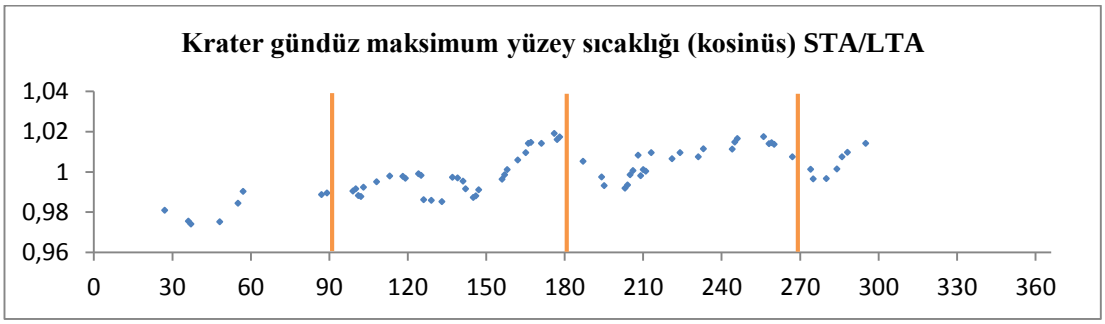

T (˚C)
Gece ortalama yüzey sıcaklığı (düzeltilmemiş) ΔT (Tint-Tvol)
2
1
0
-1
-2
-3
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

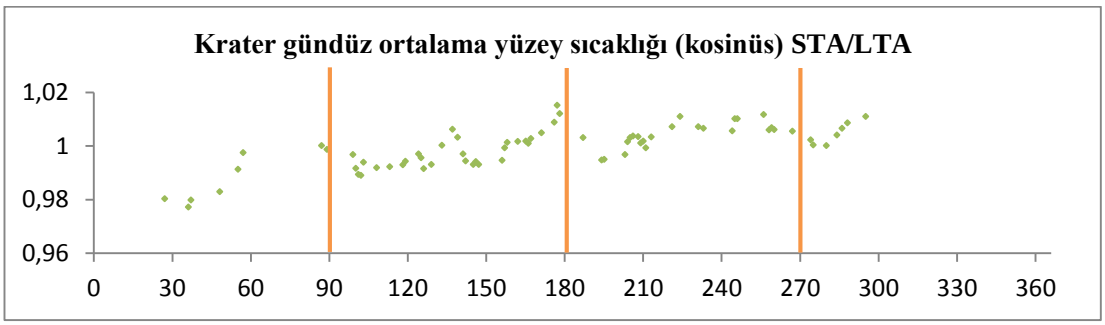
2012 (366 gün)

EK-B.4c. Semeru Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri (kosinüs düzeltmesi)

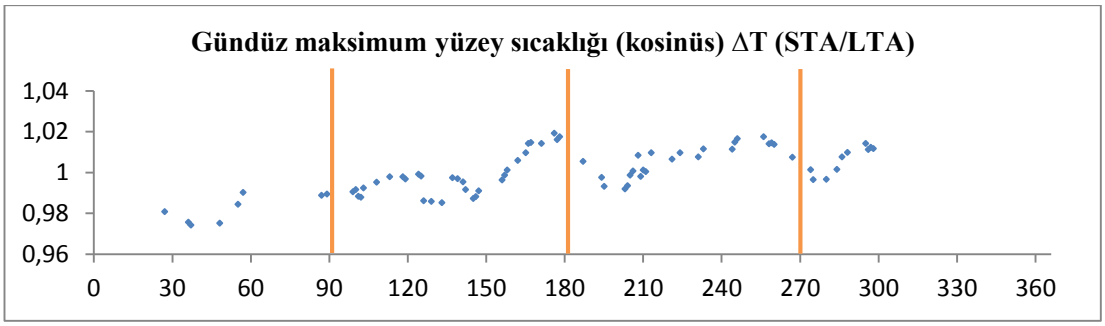


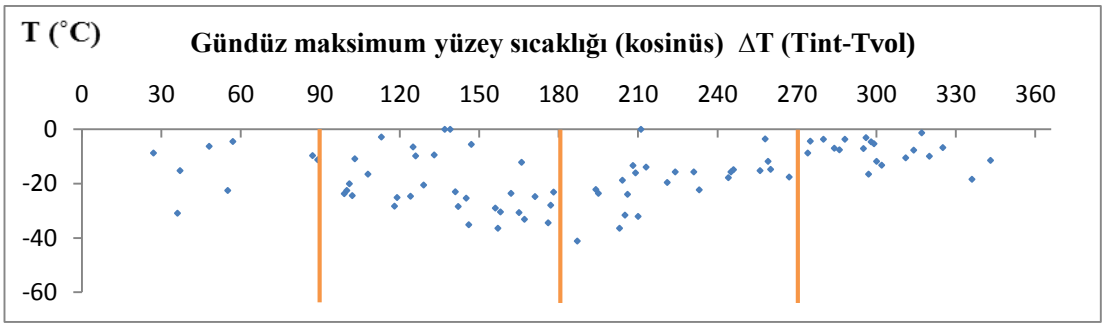


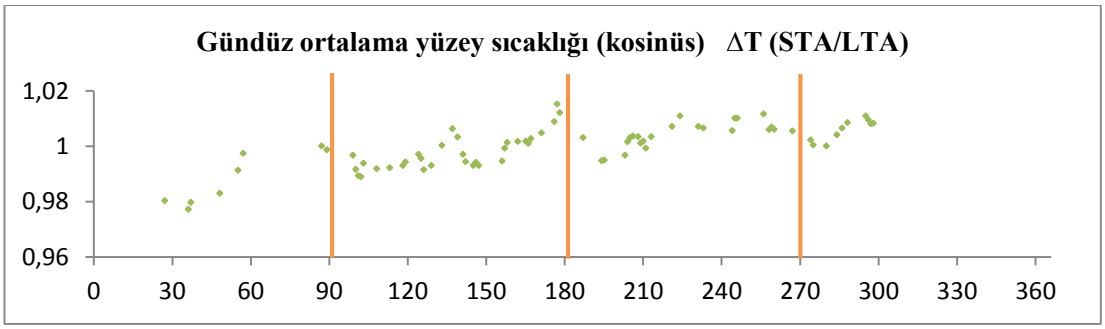


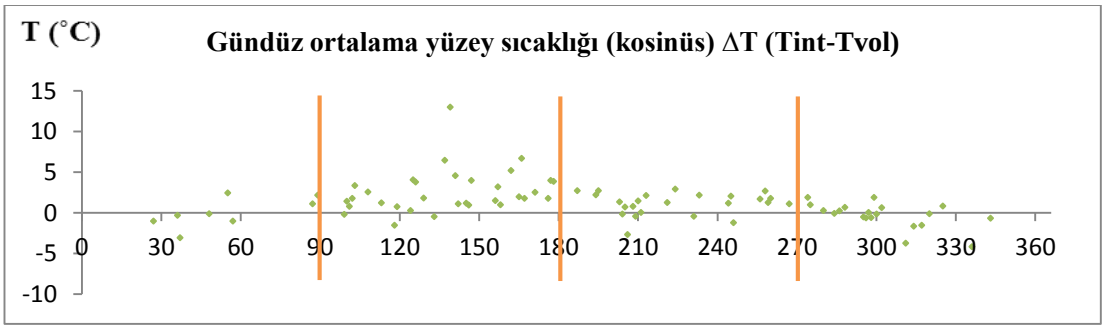


2012 (366 gün)


Gündüz maksimum yüzey sıcaklığı (kosinüs) ΔT (STA/LTA)
1,04
1,02
1
0,98
0,96
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360


T (˚C)
Gündüz maksimum yüzey sıcaklığı (kosinüs) ΔT (Tint-Tvol)
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360
0
-20
-40
-60

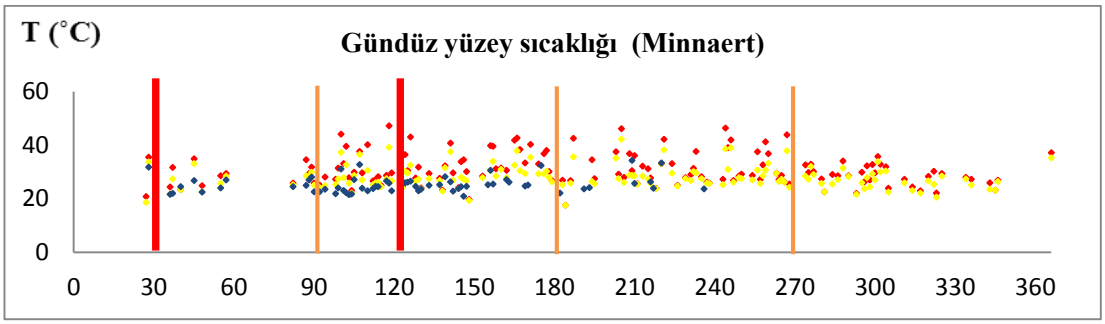

Gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (kosinüs) ΔT (STA/LTA)
1,02
1
0,98
0,96
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

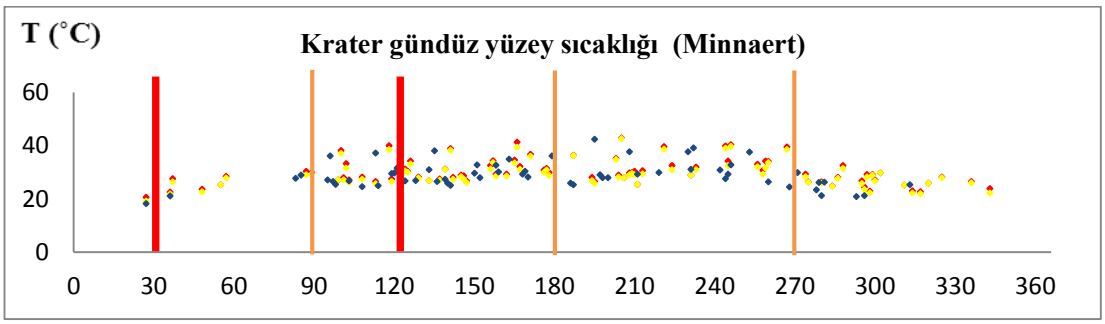

T (˚C)
Gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (kosinüs) ΔT (Tint-Tvol)
15
10
5
0
-5
-10
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

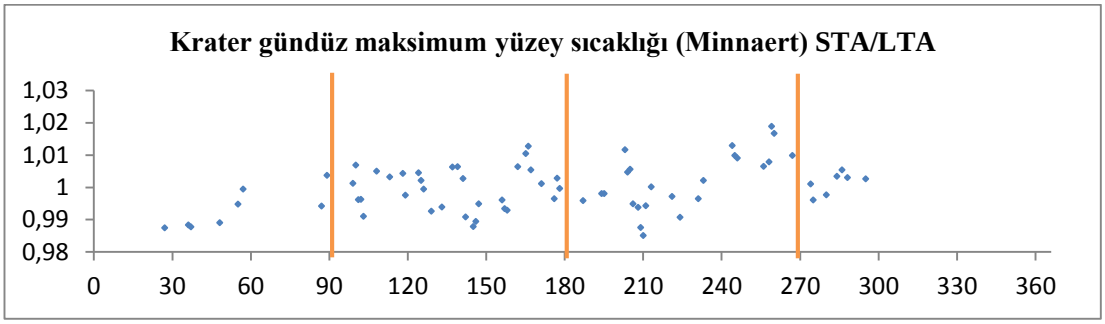
2012 (366 gün)

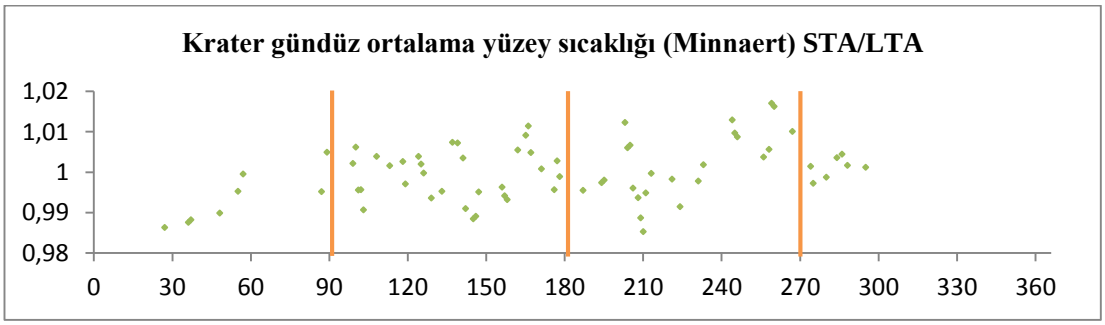
EK-B.4d. Semeru Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

(Minnaert düzeltmesi)

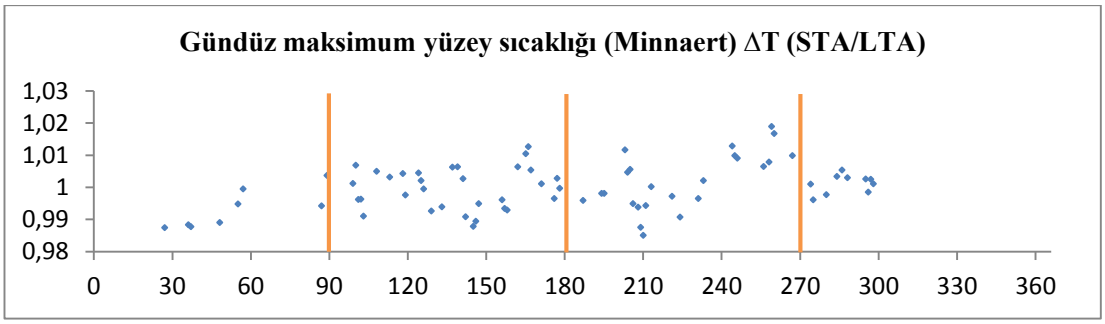


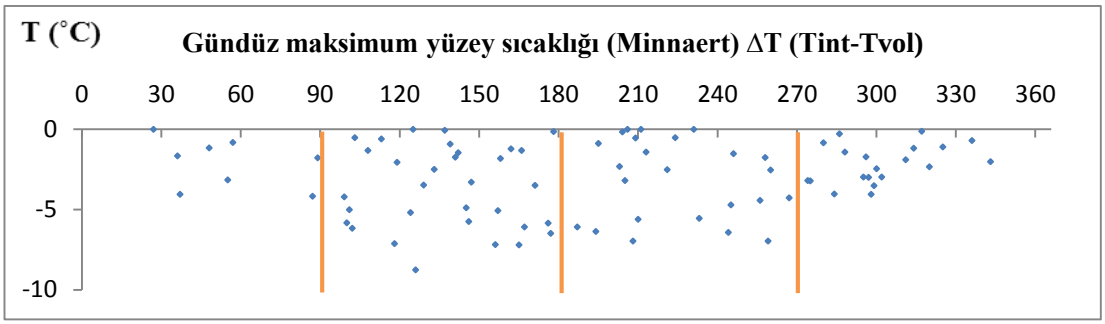


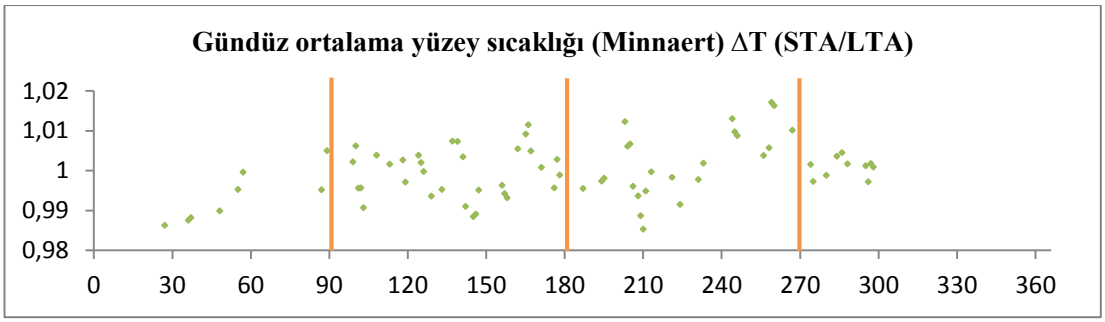


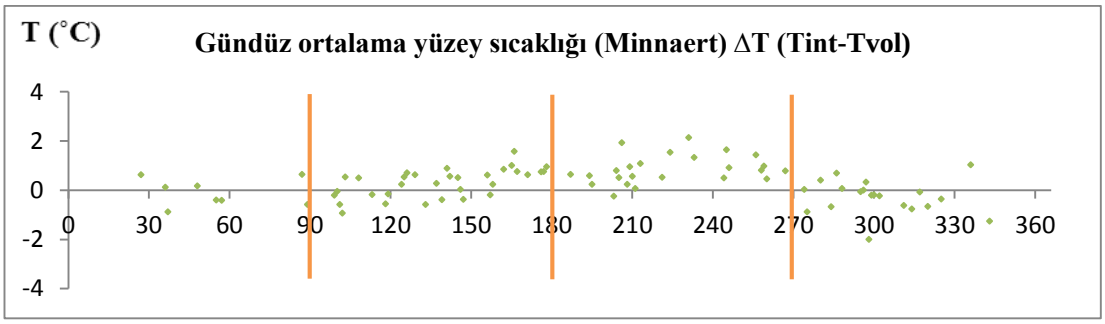


2012 (366 gün)


Gündüz maksimum yüzey sıcaklığı (Minnaert) ΔT (STA/LTA)
1,03
1,02
1,01
1
0,99
0,98
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360


T (˚C)
Gündüz maksimum yüzey sıcaklığı (Minnaert) ΔT (Tint-Tvol)
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360
0
-5
-10

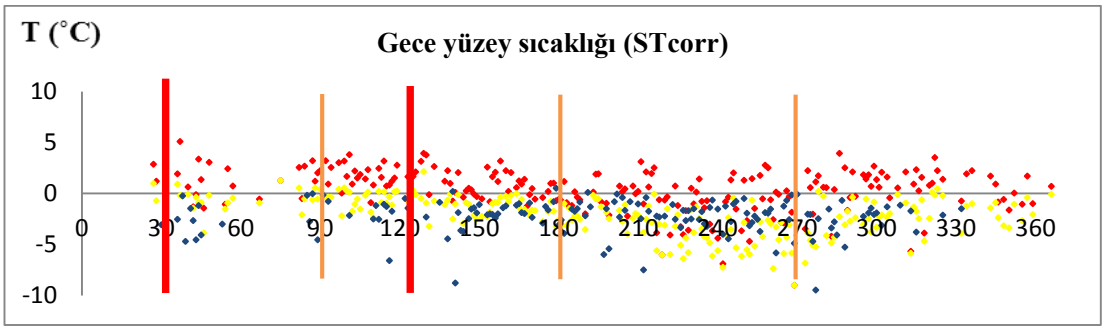

Gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (Minnaert) ΔT (STA/LTA)
1,02
1,01
1
0,99
0,98
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

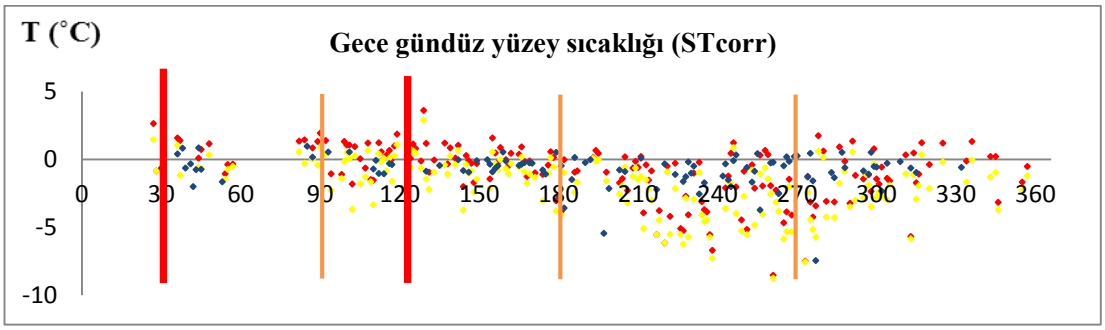

T (˚C)
Gündüz ortalama yüzey sıcaklığı (Minnaert) ΔT (Tint-Tvol)
4
2
0
-2
-4
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

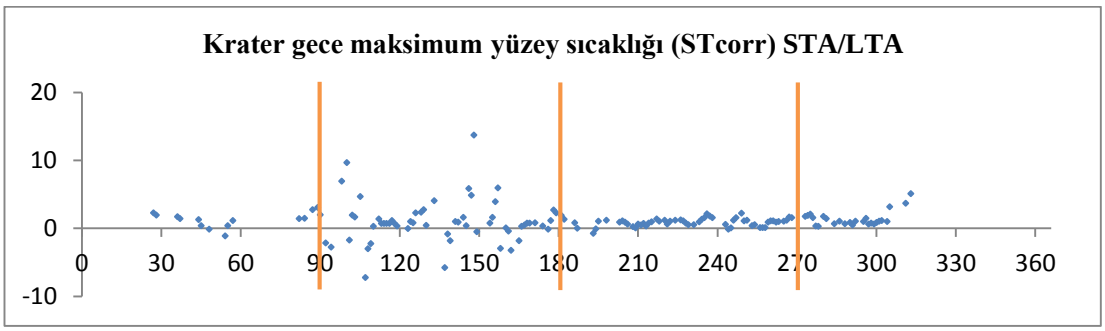
2012 (366 gün)

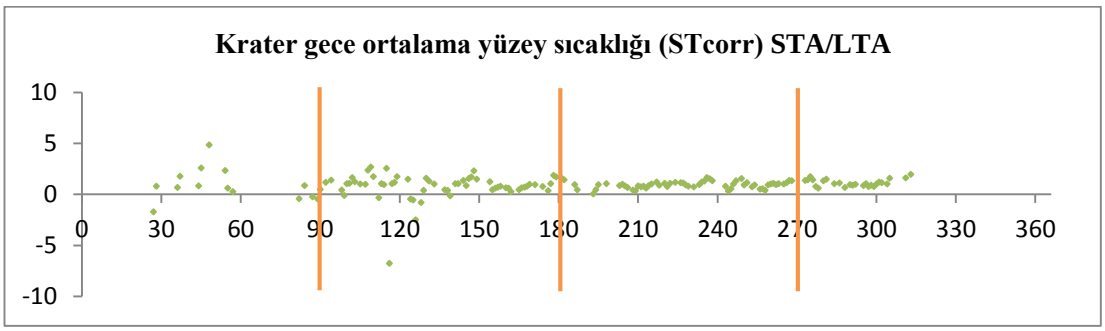
EK-B.4e. Semeru Volkanı Gündüz Yüzey Sıcaklığı Grafikleri

(STcorr düzeltmesi)

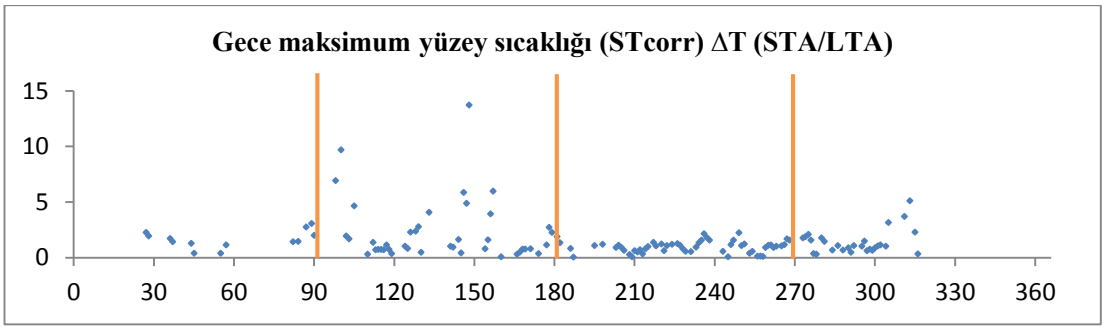


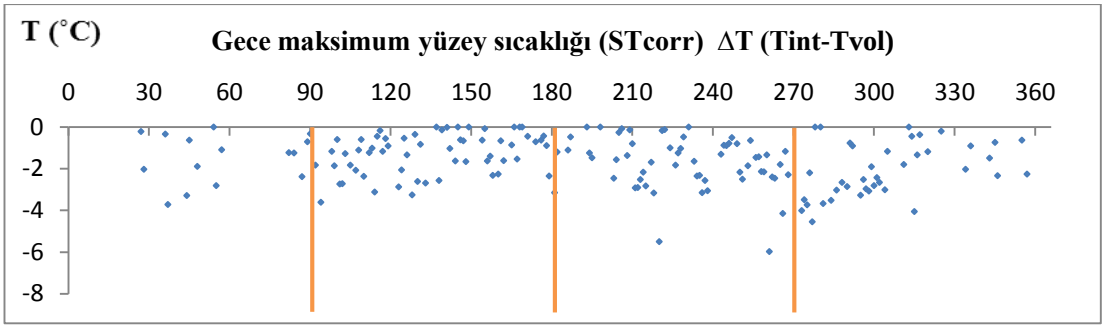


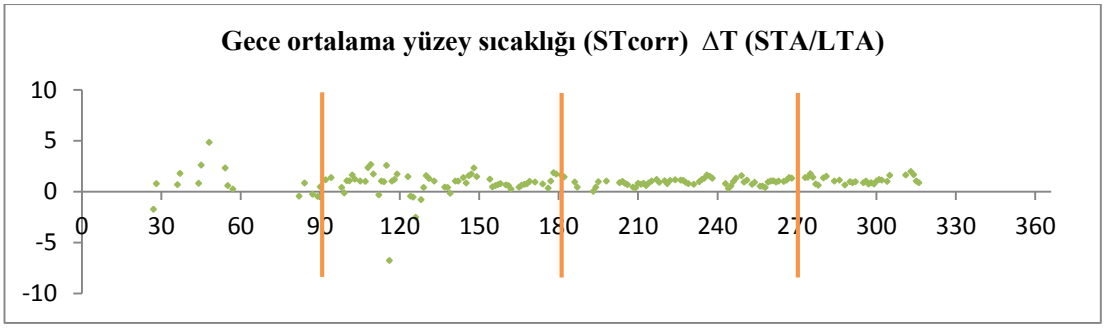


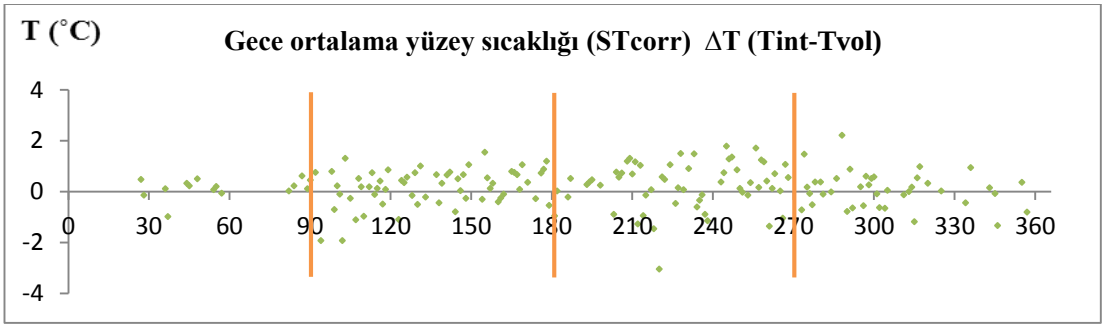


2012 (366 gün)


Gece maksimum yüzey sıcaklığı (STcorr) ΔT (STA/LTA)
15
10
5
0
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360


T (˚C)
Gece maksimum yüzey sıcaklığı (STcorr) ΔT (Tint-Tvol)
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360
0
-2
-4
-6
-8


Gece ortalama yüzey sıcaklığı (STcorr) ΔT (STA/LTA)
10
5
0
-5
-10
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360


T (˚C)
Gece ortalama yüzey sıcaklığı (STcorr) ΔT (Tint-Tvol)
4
2
0
-2
-4
0 30 60 90 120 150 180 210 240 270 300 330 360

2012 (366 gün)

EK-C: MOVAP kodu (Dijital Ek, CD)

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Caner Diker

Doğum Yeri : Altındağ

Medeni Hali : Bekar

E-posta : cdiker@hacettepe.edu.tr

Adresi : Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü 06800 Beytepe/ANKARA

Eğitim

Lise : Reha Alemdaroğlu Süper Lisesi, Ankara (2001- 2005)

Lisans : Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara (2006-2011)

Yüksek Lisans: Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara (2011-2014)

Doktora : Hacettepe Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Ankara (2014-……)

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce – IELTS, 5.5 (2007)

İş Deneyimi

2013 - …… : Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü Mineraloji – Petrografi Anabilim Dalı (Araştırma Görevlisi)

Deneyim Alanları

-

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

- TÜBİTAK – Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu tarafından 113Y032 numaralı Hızlı Destek Projesi, Proje No: 113Y032

Tezden Üretilmiş Yayınlar

-

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

- Diker, C., Ulusoy, İ., 2014. Monitoring Thermal Activity of Eastern Anatolian Volcanoes Using MODIS Images. EGU General Assembly, Vienna, Austria.
- Diker, C., Ulusoy, İ., 2014. Doğu Anadolu'daki Volkanların Günlük Termal Uydu Görüntüleri ile 12 Yıllık Termal Aktivitelerinin Gözlenmesi. 67. Türkiye Jeoloji Kurultayı (POSTER BİRİNCİLİĞİ ÖDÜLÜ), Ankara.