

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**RADAR VE MULTİSPEKTRAL UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE MISIR
VEJETASYON DÖNEMİ GELİŞİMİNİN İZLENMESİ**

İbrahim ARSLAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2022

ANTALYA

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ**



**RADAR VE MULTİSPEKTRAL UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE MISIR
VEJETASYON DÖNEMİ GELİŞİMİNİN İZLENMESİ**

İbrahim ARSLAN

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ

ANABİLİM DALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

OCAK 2022

ANTALYA

T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RADAR VE MULTİSPEKTRAL UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE MISIR
VEJETASYON DÖNEMİ GELİŞİMİNİN İZLENMESİ

İbrahim ARSLAN
UZAKTAN ALGILAMA VE COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİ
ANABİLİM DALI
YÜKSEK LİSANS TEZİ

Bu tez 17/01/2022 tarihinde jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mehmet TOPAKCI (Danışman)

Prof. Dr. Namık Kemal SÖNMEZ

Doç. Dr. Mustafa Tolga ESETLİLİ

ÖZET

RADAR VE MULTİSPEKTRAL UYDU GÖRÜNTÜLERİ İLE MISIR VEJETASYON DÖNEMİ GELİŞİMİNİN İZLENMESİ

İbrahim ARSLAN

Yüksek Lisans Tezi, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. Mehmet TOPAKCI

II. Danışman: Doç. Dr. Nusret DEMİR

Ocak 2022; 161 sayfa

İklim ve nüfustaki değişiklikler gıda güvenliği için kritik unsurlardır. İklim değişikliği nedeniyle, tarımın su kaynaklarındaki azalıştan büyük ölçüde etkilenmesi beklenmektedir. Öte yandan dünya nüfusu da hızla artmaya devam etmektedir. Nüfusun sürekli olarak arttığı bir dünyada, çevresel kaynakların daha iyi yönetilmesi ve yeterli düzeyde ürün üretiminin sürdürülmesi gerekmektedir. Bu hususta tarımsal faaliyetlerin izlenmesi büyük önem arz etmektedir.

Tarımsal hedefler yetiştirme periyodu boyunca dinamik bir özellik göstermektedir. Dolayısıyla tarımsal alanlarda toprağın ve ürünün durumu yetiştirme periyodu boyunca günden güne değişmektedir. Toprak ve ürün durumuna ilişkin bilgileri elde etmeye yönelik geleneksel yer bazlı izleme faaliyetleri ise oldukça zaman alıcı ve maliyetlidir. Uzaktan algılama tekniği, zamanı ve maliyetleri azaltarak tarımsal alanların yetiştirme periyodu boyunca izlenmesine olanak tanır.

Bu çalışmada, Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) ve multispektral uydu görüntüleri kullanılarak mısır vejetasyon dönemi gelişiminin izlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, ücretsiz olarak temin edilebilen ve yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüğe sahip Sentinel-1 SAR uydu görüntüleri ile Sentinel-2 multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Akdeniz Üniversitesi / Ziraat Fakültesi, Aksu Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde gerçekleştirilen çalışmada silajlık mısır bitkisi izlenmiştir. Mısır bitkisinin ekiminden hasadına kadar olan süreçte, Sentinel-1 uydu görüntülerinden elde edilen geri saçılma değerleri ile interferometrik uyumluluk değerleri ve Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) değerleri ile diğer biyofiziksel değişkenlere (LAI, fCover ve CW) ilişkin değerler incelenmiştir. Ayrıca, Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılarak bitki boyları da hesaplanmıştır.

NDVI, LAI, fCover ve CW değerlerinin; genel olarak bitki boyları belirli bir seviyeye ulaşınca kadar düşük seyrettiği, sonrasında bitki büyüdükçe arttığı, daha sonra doyumluğa ulaşarak yaklaşık olarak aynı seviyelerde seyrettiği, hasat işlemi gerçekleştirilmeden önce biraz düşüş gösterdiği, hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra ise sert bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir.

Geri saçılma değerlerinin; genel olarak ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra düşüş gösterdiği, bitki büyüdükçe arttığı, daha sonra doygunluğa ulaşarak yaklaşık olarak aynı seviyelerde seyrettiği, hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra ise yeşil kalıntıların da kurumasıyla birlikte azaldığı gözlenmiştir.

İnterferometrik uyumluluk değerlerinin; genel olarak ekim işlemi gerçekleştirilmeden önce yüksek geldiği, ekim işleminin gerçekleştirildiği zaman aralığında elde edilen uydu görüntü çiftlerinin interferometrik uyumluluk değerlerinin sert bir düşüş gösterdiği, bitkiler çimlenmeye başlamadan önce elde edilen uydu görüntü çiftlerinin interferometrik uyumluluk değerlerinin tekrar yükseldiği, bitki büyüdükçe interferometrik uyumluluk değerlerinin azaldığı ve hasat işlemi gerçekleştirilinceye kadar interferometrik uyumluluk değerlerinin düşük seyrettiği, hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra ise interferometrik uyumluluk değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

NDVI, LAI, fCover ve CW değerleri; ekim, çizel ile ara çapa, sıra arası çapalama ve sulama işlemleri gibi toprak işleme uygulamalarına duyarsız kalmıştır. Geri saçılma ve interferometrik uyumluluk değerleri ise ekim işlemlerine duyarlı bulunmuştur. Geri saçılma değerlerinin sulama işlemlerine de duyarlı olduğu gözlenmiştir. Ayrıca NDVI, LAI, fCover ve CW değerlerinin, çalışma alanının yakın çevresinde mevcut olan bulut örtüsünden ve/veya sisten etkilendiği tespit edilmiştir. Öte yandan, geri saçılma ve interferometrik uyumluluk değerlerinin de yağış olaylarından önemli ölçüde etkilendiği gözlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılarak ortalama bitki boyu yaklaşık 50 cm'lik bir hata ile hesaplanmıştır. Ancak, Sentinel-1 uydu görüntülerinden hesaplanan minimum ve maksimum bitki boyu değerleri arasındaki farkın ve standart sapmanın oldukça yüksek olması nedeniyle; Sentinel-1 uydu görüntülerinden hesaplanan ortalama bitki boyu değerinin, gerçek bitki boyu değerine tesadüfi olarak yakın geldiği tespit edilmiştir.

ANAHTAR KELİMELE: CW, fCover, Geri Saçılma, InSAR, İnterferometrik Uyumluluk, LAI, Mısır, Multispektral, NDVI, SAR

JÜRİ: Prof. Dr. Mehmet TOPAKCI

Prof. Dr. Namık Kemal SÖNMEZ

Doç. Dr. Mustafa Tolga ESETLİLİ

ABSTRACT

MONITORING THE DEVELOPMENT OF MAIZE VEGETATION PERIOD WITH RADAR AND MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES

İbrahim ARSLAN

MSc Thesis in Remote Sensing and Geographic Information Systems

Supervisor: Prof. Dr. Mehmet TOPAKCI

II. Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Nusret DEMİR

January 2022; 161 pages

Changes in climate and population are critical elements for food security. Agriculture is expected to be greatly affected by the decrease in water resources due to the climate change. On the other hand, the population of the world continues to increase rapidly. In a world in which the population continuously increases, managing the environmental resources better and maintaining sufficient levels of crop production are necessary. In this respect, monitoring agricultural activities is of great importance.

Agricultural targets show a dynamic feature throughout the growing season. Hence, the conditions of soil and crop in agricultural areas change from day to day throughout the growing season. Traditional ground-based monitoring activities to obtain soil and crop conditions information are highly time-consuming and costly. The remote sensing technique allows monitoring of agricultural areas throughout the growing season by reducing time and costs.

In this study, it is aimed to monitor the development of maize vegetation period by using Synthetic Aperture Radar (SAR) and multispectral satellite images. In accordance with this purpose, Sentinel-1 SAR satellite images and Sentinel-2 multispectral satellite images were used, which are freely available and have high spatial and temporal resolution. In the study carried out at Akdeniz University / Faculty of Agriculture, Aksu Research and Application Farm, the silage corn plant was observed. During the period from planting to harvesting of maize, backscatter values and interferometric coherence values obtained from Sentinel-1 satellite images, and Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) values and the values of other biophysical variables (LAI, fCover, and CW) obtained from Sentinel-2 satellite images were examined. In addition, plant heights were also calculated using Sentinel-1 satellite images.

It was observed that NDVI, LAI, fCover and CW values were generally low until the plant height reached a certain level, after that they increased as the plant grew, then reached saturation and remained at approximately the same levels, showed a slight decrease before harvest, and a sharp decrease after harvest.

It was observed that the backscatter values generally decreased after planting, increased as the plant grew, then reached saturation and remained at approximately the same levels, and decreased with drying green residues after harvest.

It was observed that interferometric coherence values were generally high before planting, the interferometric coherence values obtained from satellite image pairs during planting decreased sharply, the interferometric coherence values obtained from the satellite image pairs before the plants started to germinate increased again, the interferometric coherence values decreased and remained low as the plants grew up until the harvest, and the interferometric coherence values increased after harvest.

NDVI, LAI, fCover and CW values were remained insensitive to tillage practices such as planting, chisel, interrow hoeing and irrigation. Backscatter and interferometric coherence values were found to be sensitive to planting operations. It was observed that the backscatter values were also sensitive to irrigation operations. In addition, it has been determined that NDVI, LAI, fCover and CW values were affected by cloud cover and/or fog in the immediate surroundings of the study area. On the other hand, it was observed that the backscatter and interferometric coherence values were also significantly affected by precipitation events.

Within the scope of this study, the average plant height was calculated with an error of approximately 50 cm using Sentinel-1 satellite images. However, due to the high difference between the minimum and maximum plant height values calculated from Sentinel-1 satellite images and high standard deviation; it has been determined that the average plant height value calculated from Sentinel-1 satellite images was close to the actual plant height value accidentally.

KEYWORDS: Backscatter, CW, fCover, InSAR, Interferometric Coherence, LAI, Maize, Multispectral, NDVI, SAR

COMMITTEE: Prof. Dr. Mehmet TOPAKCI

Prof. Dr. Namık Kemal SÖNMEZ

Assoc. Prof. Dr. Mustafa Tolga ESETLİ

ÖNSÖZ

Radar konusunda Türkçe kaynakların sınırlı olması nedeniyle, çalışma kapsamında yoğun bir kaynak taraması yapılmıştır. Bu nedenle bu tezin; bilgiye ulaşmanın bu kadar kolay olduğu internet çağında, tarımsal uygulamalarda SAR verilerinin kullanımı konusunda bilgi sahibi olmak isteyen ve Türkçe kaynak arayan araştırmacılara, Türkçe bir kaynak sağlaması açısından faydalı olacağına inanıyorum. Araştırmacıların bu tez içerisinde yalnızca mikrodalgaların mısır bitkisiyle etkileşimi konusunda değil, mikrodalgaların tarımsal hedeflerle nasıl etkileşime girdiği konusunda da bilgi sahibi olabileceklerini ümit ediyorum. Yoğun emek harcanarak hazırlanan bu tezin, benzer konularda çalışma yapan veya yapacak olan araştırmacılara katkıda bulunacağını düşünüyorum.

Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Anabilim Dalı'nda yüksek lisans yapma şansını bana tanıyan bölümümüzün tüm değerli öğretim üyelerine,

Yüksek lisans eğitimim boyunca beni her zaman destekleyen, bu süreçte çok değerli bilgiler öğrenmeme vesile olan, ilgisini ve hoşgörüsünü hiçbir zaman eksik etmeyen değerli danışmanım Sayın Prof. Dr. Mehmet TOPAKCI'ya,

Tez konusunun belirlenmesine katkıda bulunan, beni bu alana yönlendirerek çok değerli bilgiler öğrenmeme vesile olan, bilgiyi öğretmenin yanı sıra bilgiye nasıl ulaşılabileceğini de öğreten değerli II. danışmanım Sayın Doç. Dr. Nusret DEMİR'e,

Tezde kullandığımız meteorolojik verileri tarafımızla paylaşan Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğü'ne,

Ders aşaması boyunca hoşça vakit geçirdiğim tüm arkadaşlarıma,

Ekim işlemi gerçekleştirilirken yanımda bulunan ve değerli bilgiler aktaran değerli büyüğüm Zir. Yük. Müh. Emre ÖZDEMİR'e,

Arazide gerçekleştirilen işlemlere ilişkin bilgileri tarafıma aktaran, Akdeniz Üniversitesi / Ziraat Fakültesi, Aksu Araştırma ve Uygulama Çiftliği personeli değerli büyüğüm Sami CANBOLAT'a,

Bitki boyu ölçüm işlemlerinin gerçekleştirilebilmesi için araziye gitmeme yardımcı olan ve bu süreçte yanımda bulunan değerli arkadaşım Ecz. Hasan DOĞANTÜRK'e,

Yalnızca yüksek lisans eğitimim boyunca değil, hayatımın her anında maddi ve manevi olarak desteğini esirgemedi yanımda olan canım anneme, çok teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	iii
ÖNSÖZ	v
AKADEMİK BEYAN	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xiii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xix
1. GİRİŞ	1
1.1. Dünya’da ve Türkiye’de Mısır Bitkisinin Durumu	1
1.2. Tarımsal Faaliyetlerin İzlenmesinin Önemi	7
1.3. Çalışmanın Amacı	8
2. KAYNAK TARAMASI	9
2.1. Tarımsal Uygulamalarda Uzaktan Algılamanın Kullanımı.....	9
2.1.1. Tarımsal uygulamalarda optik uzaktan algılamanın kullanımı	9
2.2.1.1. Tarımsal hedeflerin spektral yansıma imzaları	9
2.2.1.2. Tarımsal uygulamalarda optik uzaktan algılamanın dezavantajları.....	11
2.1.2. Tarımsal uygulamalarda SAR uzaktan algılamanın kullanımı	11
2.2.2.1. Mikrodalgaların tarımsal hedeflerle etkileşimi	12
2.2.2.2. Tarımsal uygulamalarda SAR uzaktan algılamanın dezavantajları	20
2.1.3. Tarımsal uygulamalarda optik ve SAR verilerinin birlikte kullanımı	20
2.2. Tez Konusu ile İlgili Benzer Çalışmalar	21
3. MATERYAL VE METOT	39
3.1. Materyal.....	39
3.1.1. Çalışma alanı	39
3.1.2. Mısır bitkisinin yetiştirilme süreci.....	40
3.2. Kullanılan uydu görüntüleri.....	43
3.2.1.1. SAR (Sentinel-1) uydu görüntüleri	44
3.2.1.2. Multispektral (Sentinel-2) uydu görüntüleri	55
3.2.3. Bitki boyu ölçüm işlemleri	61
3.2.4. Meteorolojik veriler	63
3.2.5. Yazılımlar	64

3.3. Metot	65
3.3.1. Uydu görüntülerine eş zamanlı olarak arazide bitki boyu ölçümü	66
3.3.2. Uydu görüntülerinin işlenmesi	71
3.3.2.1. SAR (Sentinel-1) uydu görüntülerinin işlenmesi.....	71
3.3.2.2. Multispektral (Sentinel-2) uydu görüntülerinin işlenmesi.....	92
3.3.3. Uydu görüntülerinden elde edilen değerlerin analiz edilmesi	94
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	95
4.1. SAR (Sentinel-1) Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Değerler	95
4.1.1. Sentinel-1 uydu görüntülerinden elde edilen geri saçılma değerleri	97
4.1.2. Sentinel-1 uydu görüntülerinden elde edilen interferometrik uyumluluk değerleri	115
4.1.3. Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılarak hesaplanan bitki boyları.....	124
4.2. Multispektral (Sentinel-2) Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Değerler	126
4.2.1. Sentinel-2 uydu görüntülerinden elde edilen NDVI değerleri.....	128
4.2.2. Sentinel-2 uydu görüntülerinden elde edilen LAI değerleri	130
4.2.3. Sentinel-2 uydu görüntülerinden elde edilen fCover değerleri.....	132
4.2.4. Sentinel-2 uydu görüntülerinden elde edilen CW değerleri	134
5. SONUÇLAR	137
6. KAYNAKLAR	141
ÖZGEÇMİŞ	

AKADEMİK BEYAN

Yüksek Lisans Tezi olarak sunduğum “Radar ve Multispektral Uydu Görüntüleri ile Mısır Vejetasyon Dönemi Gelişiminin İzlenmesi” adlı bu çalışmanın, akademik kurallar ve etik değerlere uygun olarak yazıldığını belirtir, bu tez çalışmasında bana ait olmayan tüm bilgilerin kaynağını gösterdiğimi beyan ederim.

17/01/2022

İbrahim ARSLAN

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

dB	: Desibel
GHz	: Gigahertz
nm	: Nanometre
β^0	: Beta Sıfır
γ^0	: Gama Sıfır
γ	: İnterferometrik uyumluluk değeri
γ_{VV}	: VV polarizasyonuna ilişkin interferometrik uyumluluk değeri
γ_{VH}	: VH polarizasyonuna ilişkin interferometrik uyumluluk değeri
σ^0	: Sigma Sıfır
σ^0_{HH}	: HH polarizasyonuna ilişkin Sigma Sıfır geri saçılma katsayısı
σ^0_{HV}	: HV polarizasyonuna ilişkin Sigma Sıfır geri saçılma katsayısı
σ^0_{VH}	: VH polarizasyonuna ilişkin Sigma Sıfır geri saçılma katsayısı
σ^0_{VV}	: VV polarizasyonuna ilişkin Sigma Sıfır geri saçılma katsayısı

Kısaltmalar

Alçalan-65	: Alçalan yörünge yönünde, görece 65 numaralı yörünge
ASF	: Alaska Uydu Tesisi
AÜZFD	: Akdeniz Üniversitesi Ziraat Fakültesi Dekanlığı
az	: Azimut
BOA	: Atmosfer Altı
BÜGEM	: Bitkisel Üretim Genel Müdürlüğü
CSM	: Ürün Yüzey Modeli
CW	: Kanopi Su İçeriği
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli

DN	: Dijital Sayı/Dijital Piksel Değeri
DSM	: Sayısal Yüzey Modeli
DTM	: Sayısal Arazi Modeli
DInSAR	: Diferansiyel İnterferometrik SAR
DT	: Karar Ağacı
ECMWF	: Avrupa Orta Menzilli Hava Tahminleri Merkezi
EMS	: Elektromanyetik Spektrum
EO	: Dünya Gözlemi
ESA	: Avrupa Uzay Ajansı
EUMETSAT	: Avrupa Meteorolojik Uydulardan Yararlanma Örgütü
EW	: Ekstra Geniş Şerit
EVI	: Geliştirilmiş Bitki Örtüsü İndeksi
FAO	: Gıda ve Tarım Örgütü
fCover	: Bitki Örtüsü Oranı
FVC	: Fraksiyonel Bitki Örtüsü
GAI	: Yeşil Alan İndeksi
GLA	: Yeşil Yaprak Algoritması
GNDVI	: Yeşil Bant Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi
GNSS	: Küresel Navigasyon Uydu Sistemi
GRD	: Yer Menzili Saptanmış
H	: Yatay
HH	: Yatay polarize sinyal iletimi, yatay polarize sinyal alımı
HV	: Yatay polarize sinyal iletimi, dikey polarize sinyal alımı
ICPAC	: IGAD (Intergovernmental Authority on Development) Climate Prediction and Applications Centre
IGC	: Uluslararası Hububat Konseyi

InSAR	: İnterferometrik SAR
IW	: İnterferometrik Geniş Şerit
IW1	: 1. Alt Şerit
IW2	: 2. Alt Şerit
IW3	: 3. Alt Şerit
KTÜ	: Karadeniz Teknik Üniversitesi
LAI	: Yaprak Alan İndeksi
MGM	: Meteoroloji Genel Müdürlüğü
MODIS	: Orta Çözünürlüklü Görüntüleme Spektroradyometresi
MSI	: Multispektral Sensör
NASA	: Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi
NDVI	: Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi
NDWI	: Normalize Edilmiş Fark Su İndeksi
OCN	: Okyanus
OLI	: Operasyonel Arazi Görüntüleyici
PolSAR	: Polarimetrik SAR
PSRI	: Bitki Yaşlanmasının Yansıma İndeksi
RAW	: Ham
RF	: Rastgele Orman
rg	: Yer Menzili
RVI	: Radar Bitki İndeksi
SAM	: Spektral Açılı Haritalama
SAR	: Sentetik Açıklıklı Radar
SAVI	: Toprak Ayarlı Bitki Örtüsü İndeksi
SEOS	: Science Education through Earth Observation for High Schools
SLC	: Tek Bakışlı Karmaşık

SM	: Şerit Harita
SNAP	: Sentinel Uygulama Platformu
SR	: Basit Oran İndeksi/Oransal Bitki Örtüsü İndeksi
SRTM 1sec HGT	: Shuttle Radar Topography Mission 1 Arc-Second Height
STEP	: Bilimsel Araç Kutusu Kullanma Platformu
SVM	: Destek Vektör Makineleri
TEPGE	: Tarımsal Ekonomi ve Politika Geliştirme Enstitüsü
TIRS	: Termal Kızılötesi Sensör
TİGEM	: Tarım İşletmeleri Genel Müdürlüğü
TM	: Tematik Haritalayıcı
TMMOB	: Türk Mühendis ve Mimmar Odaları Birliği
TOA	: Atmosfer Üstü
USDA	: Amerika Birleşik Devletleri Tarım Bakanlığı
UTC	: Eş Güdümlü Evrensel Zaman
UTM	: Evrensel Enlem Merkatörü
V	: Dikey
VH	: Dikey polarize sinyal iletimi, yatay polarize sinyal alımı
VV	: Dikey polarize sinyal iletimi, dikey polarize sinyal alımı
WGS84	: Dünya Jeodezik Sistemi 1984
WI	: Woebbecke İndeksi
WV	: Dalga
Yükselen-58	: Yükselen yörünge yönünde, görece 58 numaralı yörünge
Yükselen-160	: Yükselen yörünge yönünde, görece 160 numaralı yörünge
ZMO	: Ziraat Mühendisleri Odası

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1. Dünyada mısır yetiştirilen alanlar (USDA 2021a)	1
Şekil 1.2. Mısır ekim alanında ve üretiminde önemli ülkeler (TEPGE 2021b).....	2
Şekil 1.3. Mısır ihracatında ve ithalatında en büyük paya sahip ülkeler (TEPGE 2021b).....	3
Şekil 1.4. Türkiye’de mısır yetiştirilen iller (BÜGEM 2020a).....	4
Şekil 1.5. Türkiye’de en geniş mısır ekim alanına sahip iller (TEPGE 2021a).....	4
Şekil 1.6. Türkiye’de mısır üretiminde en büyük paya sahip iller (TEPGE 2021a).....	5
Şekil 1.7. Türkiye’de mısır takvimi (USDA (2021b)’den değiştirilerek alınmıştır)	5
Şekil 1.8. Türkiye’nin mısır ithalatında ve ihracatında en büyük paya sahip ülkeler (TEPGE 2021a).....	7
Şekil 2.1. Bitkilerin spektral yansıma imzası (SEOS 2021a)	10
Şekil 2.2. Yeşil bitki örtüsünün spektral yansıma imzası ile kuru bitki örtüsünün spektral yansıma imzası arasındaki fark (Brosinsky vd. 2019).....	10
Şekil 2.3. Farklı dalga boylarındaki radar sinyalinin bitki örtüsüne nüfuz etme kabiliyeti (Saatchi 2019)	14
Şekil 2.4. Polarizasyon (Saatchi 2019)	15
Şekil 2.5. Saçılma mekanizmaları ve bu mekanizmaların gözleendiği polarizasyonlar (Meyer 2019).....	15
Şekil 2.6. Tarımsal alanlarda gözlenen saçılma mekanizmaları (McNairn ve Jiao 2018)	17
Şekil 2.7. Radarın bakış yönüne göre ekim (sıra) yönünün etkileri (Riedel ve Eckardt 2017)	20
Şekil 3.1. Çalışma alanı	39
Şekil 3.2. Antalya iline ait meteorolojik verilere ilişkin resmî istatistikler (MGM 2020)	40
Şekil 3.3. 6 sıralı pnömatik hassas ekim makinesi ile mısır tohumlarının ekim işlemi ..	41
Şekil 3.4. Mısır tohumlarının ekim (sıra) yönü ve ekim aralıkları	41
Şekil 3.5. Mısır bitkisinin büyüme aşamaları (Silajlık mısır, R6 aşamasından önce bitki hâlâ yeşilken hasat edilmektedir) (DEKALB Asgrow Deltapine 2020; BAYER Crop Science Canada 2021)	42

Şekil 3.6. Sentinel uyduları (ESA 2014a).....	43
Şekil 3.7. Sentinel-1 uydusu (ESA 2014b)	45
Şekil 3.8. 180° yörünge faz farkı ile aynı yörünge düzlemini paylaşan ve aynı özelliklere sahip Sentinel-1A ve Sentinel-1B uydularının oluşturduğu Sentinel-1 sistemleri (ESA 2016b, c, d)	45
Şekil 3.9. Yükselen ve alçalan yörünge yönü (TRE ALTAMIRA 2021).....	46
Şekil 3.10. Sentinel-1 uydusunun görüntüleme modları (ESA 2016j, k, l)	47
Şekil 3.11. Sentinel-1 uydusunun IW modunda kullandığı TOPSAR tekniği (ESA 2016f, g, h, j, k, l).....	50
Şekil 3.12. Sentinel-1 uydusunun TOPSAR tekniğini kullanarak IW modunda görüntü elde etmesi (ESA 2014c)	50
Şekil 3.13. Sentinel-1 uydusunun IW modunda elde ettiği bir görüntü örneği; a) Seviye-1 SLC ürün örneği; b) Seviye-1 GRD ürün örneği (ESA 2016f, g, h).....	51
Şekil 3.14. Sentinel-1A ve Sentinel-1B uydu görüntülerinin ayak izleri (kapsama alanları); a) Yükselen yörünge yönünde, görece 58 numaralı yörüngeden elde edilen Sentinel-1A uydu görüntülerinin ayak izi; b) Yükselen yörünge yönünde, görece 58 numaralı yörüngeden elde edilen Sentinel-1B uydu görüntülerinin ayak izi; c) Yükselen yörünge yönünde, görece 160 numaralı yörüngeden elde edilen Sentinel-1A uydu görüntülerinin ayak izi; d) Yükselen yörünge yönünde, görece 160 numaralı yörüngeden elde edilen Sentinel-1B uydu görüntülerinin ayak izi; e) Alçalan yörünge yönünde, görece 65 numaralı yörüngeden elde edilen Sentinel-1A uydusu görüntülerinin ayak izi; f) Alçalan yörünge yönünde, görece 65 numaralı yörüngeden elde edilen Sentinel-1B uydu görüntülerinin ayak izi.....	54
Şekil 3.15. Sentinel-2 uydusu (ESA 2015, 2017d)	55
Şekil 3.16. Sentinel-2 uydusunun spektral bantları (NİK Sistem 2021).....	55
Şekil 3.17. 180° yörünge faz farkı ile aynı yörünge düzlemini paylaşan ve aynı özelliklere sahip Sentinel-2A ve Sentinel-2B uydularının oluşturduğu Sentinel-2 sistemleri (ESA 2017n).....	56
Şekil 3.18. Sentinel-2 uydusunun elde ettiği bir görüntü örneği; a) Seviye-1C ürün örneği; b) Seviye-2A ürün örneği (ESA 2017j, k, l).....	59
Şekil 3.19. Sentinel-2A ve Sentinel-2B uydu görüntülerinin ayak izi (kapsama alanı)	61
Şekil 3.20. Magellan eXplorist 610 marka el tipi GPS (Geomatics Group 2021).....	61
Şekil 3.21. Meteorolojik veriler; a) Günlük ortalama sıcaklık; b) Günlük ortalama nispi nem; c) Günlük ortalama rüzgâr hızı; d) Günlük toplam yağış	63

Şekil 3.22. İş akış şeması	65
Şekil 3.23. Çelik şerit metre ile bitki boyu ölçümü	66
Şekil 3.24. Bitki boyu ölçümünün yapıldığı noktalar	67
Şekil 3.25. Ortalama mısır boyları	71
Şekil 3.26. Geri saçılma değerlerinin hesaplanması için Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları	72
Şekil 3.27. SAR geri saçılması için normalleştirme alanları (Small 2011)	75
Şekil 3.28. SAR görüntülerinde benek (Salepci vd. 2017)	76
Şekil 3.29. SAR görüntülerindeki topoğrafik bozulmaların geometrisi (Cossu vd. 2007)	77
Şekil 3.30. Genlik ve faz görüntülerine ilişkin birer örnek; a) Genlik (yoğunluk) görüntüsü örneği; b) Faz görüntüsü örneği (Eineder ve Bamler 2017b; EO College 2019)	79
Şekil 3.31. InSAR tekniği (Eineder ve Bamler 2017b, c)	79
Şekil 3.32. İnterferometrik uyumluluk değerlerinin hesaplanması için Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları	82
Şekil 3.33. İnterferometrik uyumluluk görüntüsü örneği (EO College 2019)	84
Şekil 3.34. Topoğrafyaya duyarlılık (Grunfeld Brook 2019)	86
Şekil 3.35. Bitki boylarının hesaplanması için Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları	87
Şekil 3.36. İki karmaşık uydu görüntüsünün fazlarının birleştirilmesiyle oluşturulan interferogram örneği (Braun 2021b)	88
Şekil 3.37. Düz dünya fazı (Eineder ve Bamler 2017c)	89
Şekil 3.38. Faz çözümleme prensibi (Braun 2021a)	90
Şekil 3.39. Faz görüntüsünün SNAPHU'ya aktarılmasında kullanılan parametreler	91
Şekil 3.40. Sentinel-2 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları	92
Şekil 4.1. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV, VH ve VH/VV bant kombinasyonları kullanılarak oluşturulan renkli görüntüleri	95

Şekil 4.2. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV, VH ve VH/VV bant kombinasyonları kullanılarak oluşturulan renkli görüntüleri	96
Şekil 4.3. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV, VH ve VH/VV bant kombinasyonları kullanılarak oluşturulan renkli görüntüleri	97
Şekil 4.4. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV bandına ilişkin görüntüleri.....	98
Şekil 4.5. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VH bandına ilişkin görüntüleri.....	99
Şekil 4.6. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VH/VV bandına ilişkin görüntüleri.....	100
Şekil 4.7. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV bandına ilişkin görüntüleri.....	101
Şekil 4.8. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VH bandına ilişkin görüntüleri.....	102
Şekil 4.9. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VH/VV bandına ilişkin görüntüleri.....	103
Şekil 4.10. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV bandına ilişkin görüntüleri.....	104
Şekil 4.11. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VH bandına ilişkin görüntüleri.....	105
Şekil 4.12. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VH/VV bandına ilişkin görüntüleri.....	106
Şekil 4.13. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin çalışma alanına ilişkin medyan geri saçılma değerleri (σ_{VV}^0 , σ_{VH}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$).....	107
Şekil 4.14. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin çalışma alanına ilişkin medyan geri saçılma değerleri (σ_{VV}^0 , σ_{VH}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$).....	108
Şekil 4.15. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin çalışma alanına ilişkin medyan geri saçılma değerleri (σ_{VV}^0 , σ_{VH}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$).....	109
Şekil 4.16. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VV polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri	115

Şekil 4.17. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VH polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri	116
Şekil 4.18. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VV polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri	117
Şekil 4.19. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VH polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri	118
Şekil 4.20. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VV polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri	119
Şekil 4.21. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VH polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri	120
Şekil 4.22. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin çalışma alanına ilişkin medyan interferometrik uyumluluk değerleri (γ_{VV} ve γ_{VH})	121
Şekil 4.23. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin çalışma alanına ilişkin medyan interferometrik uyumluluk değerleri (γ_{VV} ve γ_{VH})	121
Şekil 4.24. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin çalışma alanına ilişkin medyan interferometrik uyumluluk değerleri (γ_{VV} ve γ_{VH})	122
Şekil 4.25. Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılarak üretilen DEM'ler; a) 02.08.2019 ve 08.08.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çifti kullanılarak üretilen DTM; b) 20.10.2019 ve 26.10.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çifti kullanılarak üretilen DSM	124
Şekil 4.26. DSM'den DTM'nin çıkarılmasıyla elde edilen bitki boyları	125
Şekil 4.27. Çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu görüntülerinin doğal renk kombinasyonları	126
Şekil 4.28. Çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu görüntülerinin yalancı renk kombinasyonları	127
Şekil 4.29. Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen NDVI görüntüleri	128
Şekil 4.30. Çalışma alanına ilişkin medyan NDVI değerleri	129
Şekil 4.31. Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen LAI görüntüleri	131

Şekil 4.32. Çalışma alanına ilişkin medyan LAI değerleri	132
Şekil 4.33. Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen fCover değerleri.....	133
Şekil 4.34. Çalışma alanına ilişkin medyan fCover değerleri.....	134
Şekil 4.35. Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen CW görüntüleri.....	135
Şekil 4.36. Çalışma alanına ilişkin medyan CW değerleri	136



ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1. Dünya çapında 2019-2020 pazarlama yılına ilişkin mısır verileri (IGC 2021).....	2
Çizelge 1.2. Türkiye'nin 2019-2020 pazarlama yılına ilişkin tahıl verileri (TÜİK 2021).....	3
Çizelge 1.3. Türkiye'nin 2019-2020 pazarlama yılına ilişkin mısır verileri (TÜİK 2021).....	6
Çizelge 2.1. Mikrodalga bantları (Meyer 2019)	13
Çizelge 3.1. Çalışma alanının köşe noktalarının coğrafi koordinatları.....	40
Çizelge 3.2. Mısır bitkisinin yetiştirilme sürecinde gerçekleştirilen işlemler	42
Çizelge 3.3. Sentinel uydularının temel özellikleri (Anonymous 4; ESA 2020).....	44
Çizelge 3.4. Sentinel-1 uydusunun özellikleri (ESA 2016i).....	46
Çizelge 3.5. Sentinel-1 uydusunun görüntüleme modlarına ilişkin bilgiler (ESA 2016b, c, d, j, k, l, m)	48
Çizelge 3.6. Sentinel-1 uydusunun görüntüleme modlarının özellikleri (ESA 2016f, g, h)	48
Çizelge 3.7. Sentinel-1 uydusunun ürün seviyelerine ilişkin bilgiler (ESA 2016b, c, d, f, g, h, j, k, l, n)	49
Çizelge 3.8. Seviye-1 SLC ürününün alt şeritlerine ilişkin geliş açısı ve çözünürlük bilgileri (ESA 2016j, k, l).....	51
Çizelge 3.9. Sentinel-1A ve Sentinel-1B uydu görüntüleri	52
Çizelge 3.10. Sentinel-2 uydusunun özellikleri (ESA 2017o).....	57
Çizelge 3.11. Sentinel-2 uydusunun mekânsal ve spektral çözünürlükleri (ESA 2017g, h, i, j, k, l)	58
Çizelge 3.12. Sentinel-2 uydusunun ürün seviyelerine ilişkin bilgiler (ESA 2017j, k, l, r, s, t)	59
Çizelge 3.13. Sentinel-2A ve Sentinel-2B uydu görüntüleri	60
Çizelge 3.14. Magellan eXplorist 610 marka el tipi GPS'in özellikleri (Geomatics Group 2021).....	62
Çizelge 3.15. Bitki boyu ölçümünün yapıldığı noktaların coğrafi koordinatları.....	67
Çizelge 3.16. Arazide ölçülen mısır boyları	69

Çizelge 3.17. Çalışma alanının bulunduğu alt şerit ve seri (burst) bilgileri	73
Çizelge 3.18. Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan çok bakış sayıları.....	76
Çizelge 3.19. Çalışma alanı dışında kalan alanların kesilmesinde kullanılan coğrafi koordinatlar	78
Çizelge 3.20. Uydu görüntü çiftlerinin interferometrik özellikleri.....	80
Çizelge 4.1. Çalışma alanına ilişkin Sentinel-1 uydu görüntülerinden hesaplanan bitki boyları	125



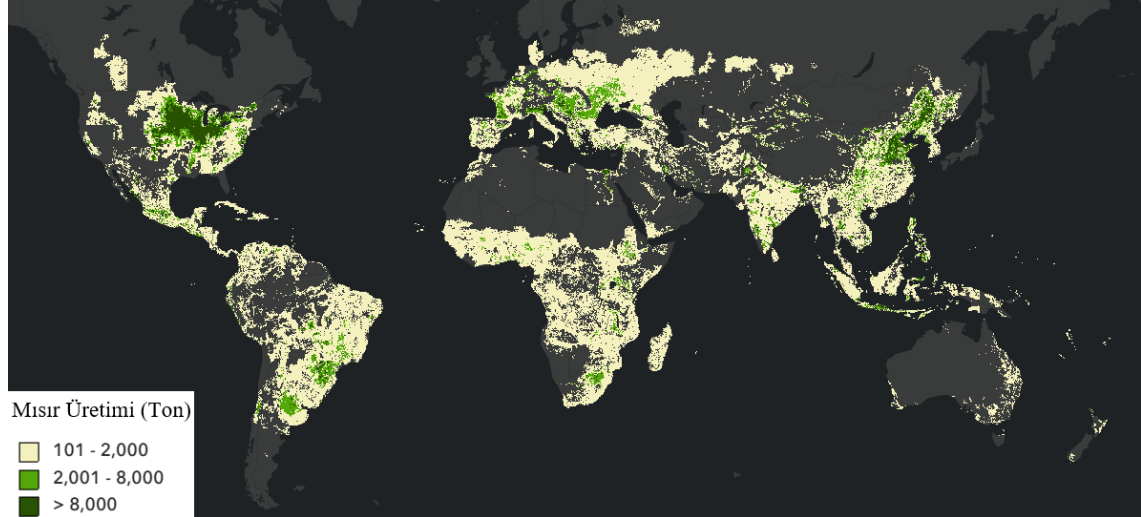
1. GİRİŞ

Tarımsal ürünler, karasal canlı türlerinin çoğu için önemli bir besin kaynağıdır (Kumaraperumal vd. 2017). Tarımsal ürünler, yalnızca insan gıdası ve hayvan yemi talebini karşılamakla kalmayıp, aynı zamanda biyoyakıt üretiminde ham madde olarak da kullanılmaktadır. Örneğin, etanol üretiminde ham madde olarak çoğunlukla şeker kamışı ve mısır kullanılmaktadır (FAO 2018).

1.1. Dünya’da ve Türkiye’de Mısır Bitkisinin Durumu

Mısır (*Zea mays* L.), binlerce yıldan beri tarımı yapılan birkaç ender bitkiden biridir (Babaoğlu 2005a, b). Mısırın ana vatanının Amerika Kıtası olduğu ve Amerika’nın keşfinden (1492) sonra tüm dünyaya yayıldığı bilinmektedir (Babaoğlu 2005a, b; Arslan 2017; Tüfekçi 2019). Mısırın ülkemize gelişi ise 1600’lü yıllara dayanmaktadır (Arslan 2017; Dünya Atlası 2019). Suriye yoluyla Mısır Limanı’na getirilen ve oradan da tüm Osmanlı topraklarına “Mısır buğdayı” adıyla dağıtılan mısır bitkisi, zaman içerisinde “mısır” adını almıştır (Dünya Atlası 2019).

Tek yıllık sıcak iklim tahılı olan mısır, günümüzde 58° Kuzey enlemleri ile 40° Güney enlemleri arasında kalan, deniz seviyesinden 4000 m yüksekliklere kadar olan ve bol güneş alan bölgelerde yetişebilmektedir (Babaoğlu 2005a, b; İşler 2011). Mısır; tropik, subtropik ve ılıman iklim kuşaklarında yetişebildiği için dünyanın hemen hemen tüm ülkelerinde mısır tarımı yapılabilmektedir (Babaoğlu 2005a, b; İşler 2011; Arslan 2017). Dünyada mısır yetiştirilen alanlar Şekil 1.1’de gösterilmiştir.



Şekil 1.1. Dünyada mısır yetiştirilen alanlar (USDA 2021a)

Mısır, 200 milyondan fazla insan için temel bir besin maddesidir (Nuss ve Tanumihardjo 2010) ve FAO’ya göre dünya çapında mısırın doğrudan gıda olarak kullanımı 150 milyon ton/yılı aşmaktadır (Serna-Saldivar ve Pérez-Carrillo 2019). Ayrıca mısır, dünyada hayvancılık yemi olarak kullanılan en önemli tahıl konumundadır (Loy ve Lundy 2019). Mısır, insan gıdası ve hayvan yemi olarak kullanılmasının yanı sıra, biyoyakıt ve diğer endüstriyel ürünlerin üretiminde ham madde olarak da

kullanılmaktadır (İşler 2011; Serna-Saldivar 2019; TMMOB ZMO 2020a, b). Tüm bu özellikleri nedeniyle mısır, dünyadaki en önemli ürünlerden biridir (Hütt vd. 2016; Tian vd. 2019) ve dünya çapında yaygın olarak ekilmektedir (Su vd. 2019) (Şekil 1.1). FAO'nun 2019 yılı verilerine göre, dünya çapında yaklaşık 197 milyon ha'lık alanda mısır tarımı yapılmaktadır (FAO 2019).

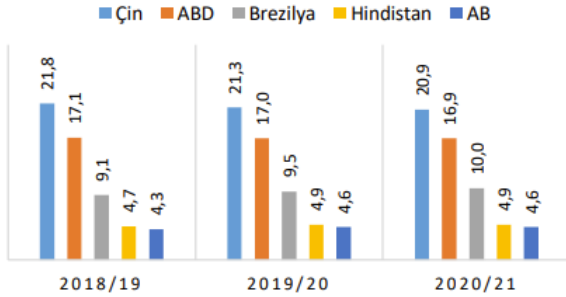
Mısır, dünya çapında en çok üretilen (Serna-Saldivar ve Pérez-Carrillo 2019; Xie vd. 2021) ve en çok talep edilen tahıl özelliğini taşımaktadır (Martinez ve Fernandez 2019). Mısırın dünya çapında yıllık üretimi ve tüketimi 1.1 milyar ton civarındadır (TEPGE 2021a, b) (Çizelge 1.1). Dünya çapında üretilen mısırın %70'inin ise biyoyakıt üretimi ve hayvan yemi için kullanıldığı tahmin edilmektedir (Serna-Saldivar 2019).

Çizelge 1.1. Dünya çapında 2019-2020 pazarlama yılına ilişkin mısır verileri (IGC 2021)

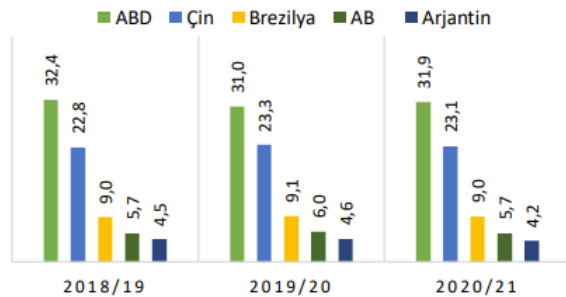
Üretim (Milyon Ton)	Gıda Kullanımı (Milyon Ton)	Yemlik Kullanım (Milyon Ton)	Endüstriyel Kullanım (Milyon Ton)	Diğer Kullanım (Milyon Ton)	Toplam Kullanım (Milyon Ton)	Stok Değişimi (Milyon Ton)	İthalat ve İhracat (Milyon Ton)
1126.5	130.1	692.2	293.4	39.5	1155.2	28.7	174.5

Mısır ekim alanında ve üretiminde en önemli ülkeler: ABD, Çin ve Brezilya'dır (Şekil 1.2). Mısır ihracatında en büyük paya sahip ülke ABD iken, mısır ithalatında en büyük paya sahip ülke ise Çin'dir (TEPGE 2021a, b) (Şekil 1.3).

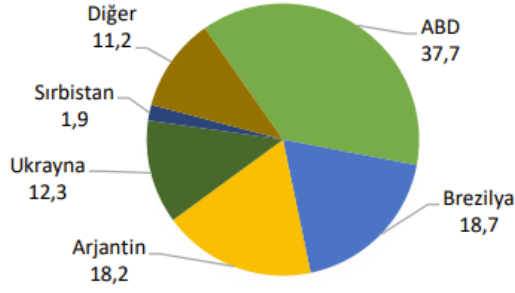
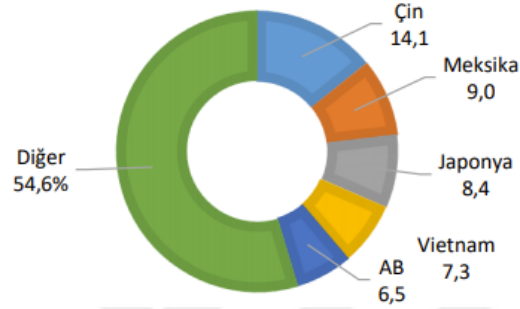
Mısır ekim alanında önemli ülkeler (%)



Mısır üretiminde önemli ülkeler (%)



Şekil 1.2. Mısır ekim alanında ve üretiminde önemli ülkeler (TEPGE 2021b)

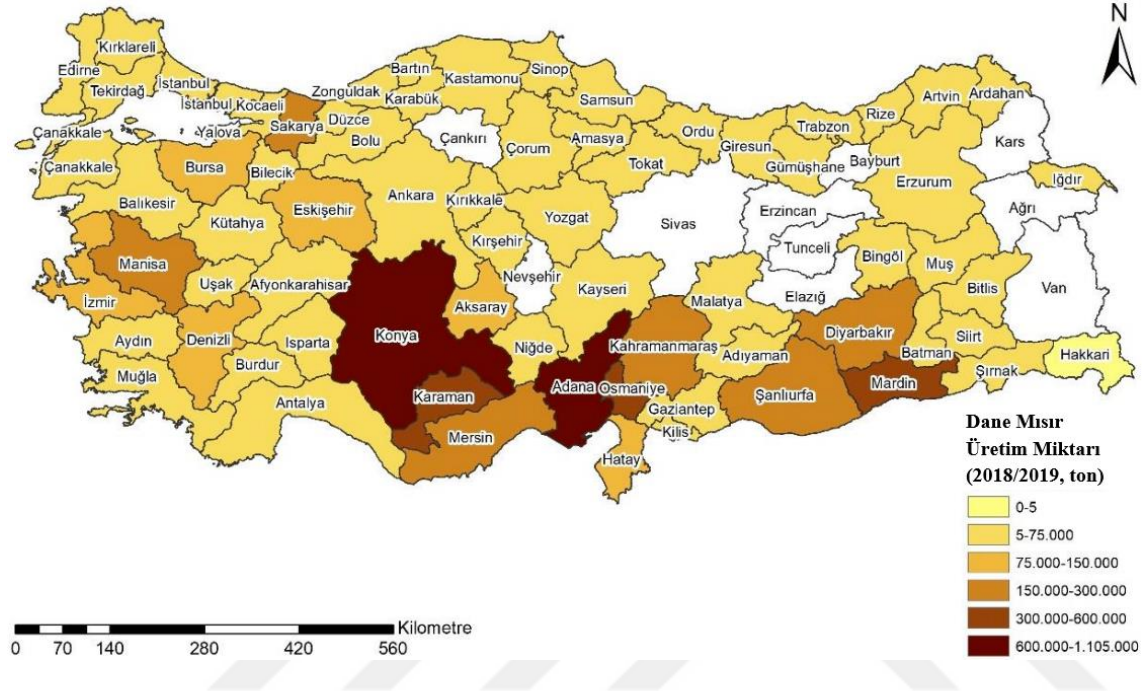
Ülkelere göre dünya mısır ihracatı (2020/21, %)**Ülkelere göre dünya mısır ithalatı (2020/21, %)****Şekil 1.3.** Mısır ihracatında ve ithalatında en büyük paya sahip ülkeler (TEPGE 2021b)

Mısır, ülkemizde buğday ve arpadan sonra en geniş ekim alanına sahip 3. tahıldır (TMMOB ZMO 2020a, b). 2019-2020 pazarlama yılına ilişkin TÜİK verileri incelendiğinde, üretimde de benzer bir durumun söz konusu olduğu görülmektedir (Çizelge 1.2).

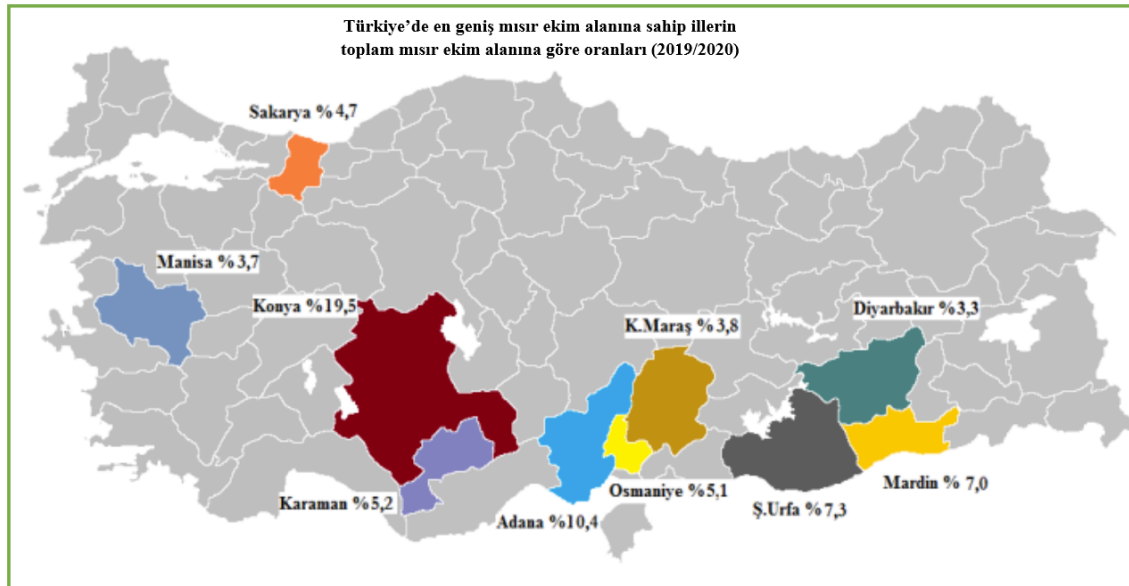
Çizelge 1.2. Türkiye'nin 2019-2020 pazarlama yılına ilişkin tahıl verileri (TÜİK 2021)

Tahıl Adı	Ekilen Alan (Hektar)	Üretim (Ton)
Buğday	6 846 327	19 000 000
Arpa	2 869 072	7 600 000
Mısır	638 829	6 000 000
Çavdar	112 164	310 000
Yulaf	109 823	265 000
Diğer Tahıllar	69 527	226 704
Toplam	10 645 742	33 401 704

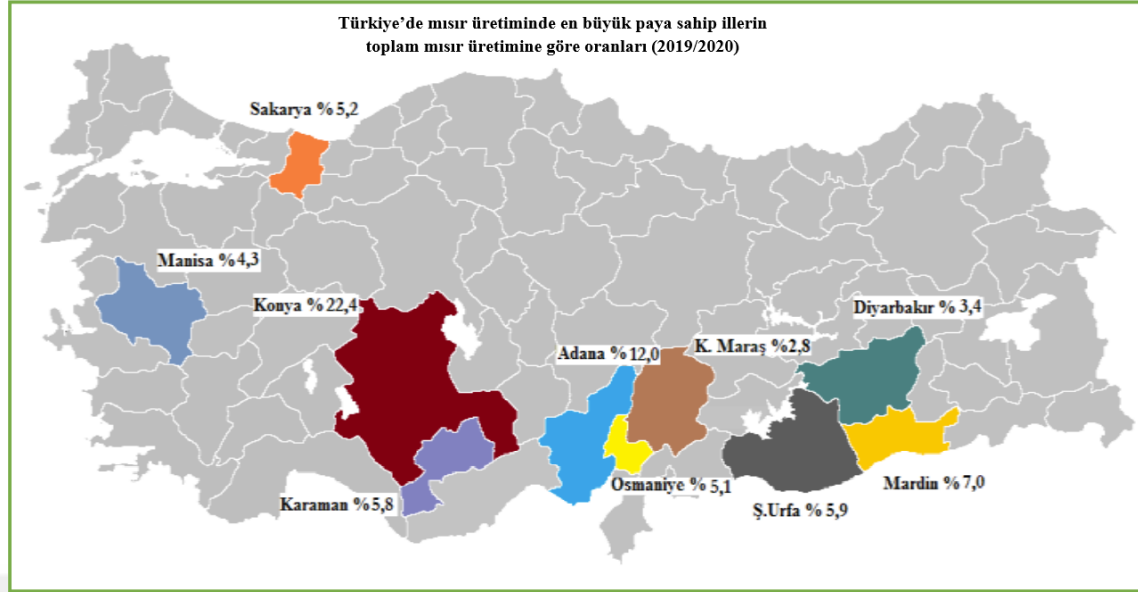
Ülkemizin neredeyse her yerinde mısır tarımı yapılmaktadır (Şekil 1.4). Ülkemizde mısır ekiminde ve üretiminde en önemli paya sahip bölgeler: Doğu Akdeniz, Güneydoğu Anadolu ve Orta-Batı Anadolu'dur (TEPGE 2021b). Ülkemizde en geniş mısır ekim alanına sahip iller: %19.5 ile Konya, %10.4 ile Adana ve %7.3 ile Şanlıurfa'dır (Şekil 1.5). Ülkemizde mısır üretiminde en büyük paya sahip iller: %22.4 ile Konya, %12 ile Adana ve %7 ile Mardin'dir (Şekil 1.6).



Şekil 1.4. Türkiye’de mısır yetiştirilen iller (BÜGEM 2020a)

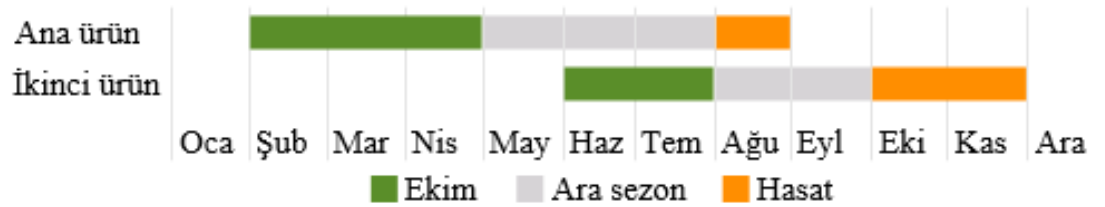


Şekil 1.5. Türkiye’de en geniş mısır ekim alanına sahip iller (TEPGE 2021a)



Şekil 1.6. Türkiye’de mısır üretiminde en büyük paya sahip iller (TEPGE 2021a)

Ülkemizde mısır, ana ürün ve ikinci ürün olarak 2 farklı dönemde ekilmektedir. Ana ürün olarak mısır ekimi öncelikle Çukurova’da Şubat ayının ortalarında başlayıp Mart ayının sonlarında tamamlanmakta, diğer illerimizde ise Nisan ayının başlarında başlamaktadır. İkinci ürün olarak mısır ekimi ise hububat hasadından sonra Haziran-Temmuz aylarında yapılmaktadır. Ana ürün Ağustos ayında, ikinci ürün ise Ekim-Kasım aylarında hasat edilerek piyasaya sunulmaktadır (Şekil 1.7). Mısır, ana ürün olarak en fazla Adana ve Konya’da; ikinci ürün olarak ise en fazla Şanlıurfa ve Mardin’de üretilmektedir (TMMOB ZMO 2020a, b).



Şekil 1.7. Türkiye’de mısır takvimi (USDA (2021b)’den değiştirilerek alınmıştır)

Ülkemizde at dişi mısır (*Zea mays indentata*), sert mısır (*Zea mays indurata*), cin mısır (patlak mısır) (*Zea mays everta*) ve şeker mısır (tatlı mısır) (*Zea mays saccharata*) türleri yetiştirilmektedir (TMMOB ZMO 2016). At dişi mısır, tane olarak ve silaj şeklinde hayvan yemi olarak kullanılmaktadır. Sert mısır daha çok Karadeniz Bölgesi’nde ekilmekte olup, yöresel yemeklerin ve mısır ekmeğinin yapımında kullanılmaktadır. Cin mısır patlatılarak çerez olarak tüketilmektedir. Şeker mısır ise taze bir biçimde haşlanarak tüketilebildiği gibi, konserve şeklinde veya dondurulmuş gıda olarak da tüketilebilmektedir (TMMOB ZMO 2020a, b).

Türkiye'nin 2019-2020 pazarlama yılına ilişkin mısır verileri Çizelge 1.3'te gösterilmiştir. Çizelge 1.3'teki bu bilgilere göre, ülkemizde piyasaya sunulan mısırın ≈ 1 'i endüstriyel ve tohumluk olarak, ≈ 14 'ü gıda olarak, ≈ 83 'ü ise yemlik olarak kullanılmaktadır.

Çizelge 1.3. Türkiye'nin 2019-2020 pazarlama yılına ilişkin mısır verileri (TÜİK 2021)

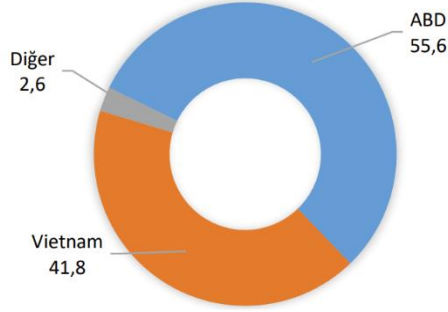
Ekilen Alan (Hektar)	Üretim (Ton)	Üretim Kayıpları (Ton)	Kullanılabilir Üretim (Ton)	İthalat (Ton)	Arz (Kullanım) (Ton)	Gıda Kullanımı (Ton)	Yemlik Kullanım (Ton)
638 829	6 000 000	180 000	5 820 000	2 720 105	8 540 105	1 087 401	6 375 500
Endüstriyel Kullanım (Ton)	Tohumluk Kullanım (Ton)	Kayıplar (Ton)	Yurt İçi Toplam Kullanım (Ton)	İhracat (Ton)	Stok Değişimi (Ton)	Kişi Başına Tüketim (kg)	Yeterlilik Derecesi (%)
52 218	15 971	174 600	7 705 690	720 291	114 124	13.1	75.5

Ülkemizde 2000'li yılların başında 2.3 milyon ton olan mısır üretimi; yüksek verimli melez çeşitlerinin üretime alınması, mısır yetiştirme tekniğindeki olumlu gelişmeler, dane ve silajlık mısırın destekleme kapsamına alınması ve mısır ekilişlerinin Akdeniz, Ege, Güneydoğu Anadolu ve İç Anadolu Bölgeleri'nde yaygınlaşması ile son yıllarda artmıştır (TMMOB ZMO 2020a, b). 2019 yılında 6 milyon ton olan mısır üretimi, bir önceki yıla göre %8.3 artarak 2020 yılında 6.5 milyon tona ulaşmış (TÜİK 2020; TEPGE 2021a, b) ve Cumhuriyet tarihinin rekor mısır üretimi gerçekleşmiştir (BÜGEM 2020b, 2021). Türkiye'nin mısır üretiminde dünyadaki yeri ise %0.32 ile %0.60 oranında değişmektedir (TMMOB ZMO 2020a, b).

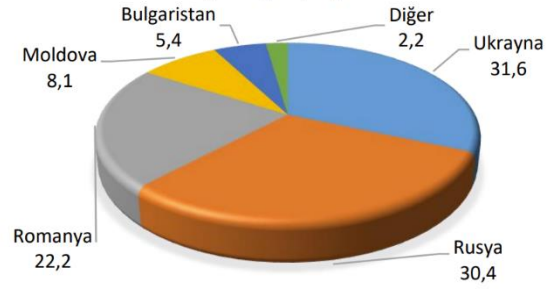
Ülkemizde son yıllarda silajlık mısır ekimi ve üretimi de artmıştır. 2019 yılında yaklaşık 507 bin hektarlık alana silajlık mısır ekimi yapılmış ve 25 milyon ton (silaj + hasıl) üretim sağlanmıştır. Bu artışta silajlık verimi yüksek çeşitlerin üretime alınması ve silajlık mısır üretiminin destekleme kapsamına alınmasının büyük katkısı bulunmaktadır. En fazla silajlık mısır üretimi yapan iller: %11 ile İzmir ve %7 ile Adana'dır (TMMOB ZMO 2020a, b).

Ülkemizdeki nüfus artış hızına, kanatlı sektöründeki büyümeye ve büyükbaş hayvan sayısındaki artışa bağlı olarak yurt içi gereksinimlerimiz giderek artmaktadır. Ancak, mısırdaki dünya ortalamasının çok üzerinde verimler elde edilmesine rağmen üretim tüketimi karşılayamamaktadır (TMMOB ZMO 2020a, b). Mısır üretiminin talebi karşılayamaması ise ithalatın artışına yol açmaktadır (TEPGE 2021a). Mısır ithalatımızda en önemli paya sahip ülkeler: Ukrayna, Rusya, Romanya, Moldova ve Bulgaristan gibi Karadeniz Havzası ülkeleridir ve bu ülkeler ithalatın neredeyse tamamını karşılamaktadırlar (TEPGE 2021a, b). Mısır ithalatımızda ve ihracatımızda en büyük paya sahip ülkeler Şekil 1.8'de gösterilmiştir.

Türkiye'nin mısır ihracatının ülkelere göre dağılımı (2019/20, %)



Türkiye'nin mısır ithalatının ülkelere göre dağılımı (2019/20, %)



Şekil 1.8. Türkiye'nin mısır ithalatında ve ihracatında en büyük paya sahip ülkeler (TEPGE 2021a)

1.2. Tarımsal Faaliyetlerin İzlenmesinin Önemi

İklim ve nüfustaki değişiklikler gıda güvenliği için kritik unsurlardır. İklim değişikliğinin tarımsal üretim üzerinde önemli etkilerinin olacağı tahmin edilmektedir ve birçok senaryo, tarımın su kaynaklarındaki azalıştan büyük ölçüde etkilenebileceğini ortaya koymaktadır (Battude vd. 2016). Dünya nüfusunun da 2050 yılına kadar yaklaşık 10 milyara çıkması beklenmektedir. 2050 yılında talebin karşılanması için ise 2012'ye kıyasla neredeyse %50 daha fazla gıda, yem ve biyoyakıt üretilmesi gerekecektir (FAO 2017). Nüfusun sürekli olarak arttığı bir dünyada, çevresel kaynakların daha iyi yönetilmesi ve yeterli düzeyde ürün üretiminin sürdürülmesi gerekmektedir (Battude vd. 2016). Bu nedenle tarımsal faaliyetlerin takibi büyük önem arz etmektedir (Ajadi vd. 2020).

Mısır, ulusal gıda güvenliği için büyük önem taşımaktadır (Serna-Saldivar 2019; Su vd. 2019; She vd. 2020). Bu nedenle mısır büyümesinin izlenmesi çok önemlidir (Su vd. 2019). Bitki büyümesinin, ürün durumunun, toprak özelliklerinin ve toprak işleme faaliyetlerinin izlenmesi; arazi kullanımının değerlendirilmesine, hasatların tahmin edilmesine, mevsimsel değişikliklerin izlenmesine ve sürdürülebilir kalkınma politikasının uygulanmasına yardımcı olmaktadır (ESA 2017a, b, c).

Tarımsal faaliyetlerin izlenmesinde uzaktan algılamanın kullanımı:

Tarımsal hedefler yetiştirme periyodu boyunca dinamik bir özellik göstermektedir (McNairn ve Brisco 2004; Nasirzadehdizaji vd. 2021). Dolayısıyla tarımsal alanlarda toprağın ve ürünün durumu yetiştirme periyodu boyunca günden güne değişmektedir (McNairn ve Brisco 2004; Soria-Ruiz vd. 2007). Bu nedenle, tarımsal alanların tüm yetiştirme periyodu boyunca izlenilmesi gerekmektedir (McNairn ve Brisco 2004).

Ürün bilgilerini elde etmeye yönelik geleneksel yer bazlı izleme faaliyetleri oldukça zaman alıcı ve maliyetlidir (Meroni vd. 2021). Ayrıca bu yöntemden elde edilen veriler, arazinin mekânsal dağılımı hakkında bilgi vermeyeceği gibi, bu yöntemin yetiştirme periyodu boyunca uygulanabilirliği de oldukça zordur. Bu nedenle bu yöntem, büyük ölçekte nadiren uygulanmaktadır (Meroni vd. 2021). Uzaktan algılama tekniği ise zamanı ve maliyetleri azaltarak doğru bir şekilde büyük ölçekli karar vermeyi kolaylaştırmakta

ve özellikle büyük tarım alanlarında, tarladaki sorunların belirlenmesine yardımcı olmaktadır (Alvino vd. 2020).

Optik uzaktan algılama, bitki yapraklarının görünür ve kızılötesi bantlara duyarlılığından dolayı verim tahmini, biyokütle tahmini, biyofiziksel değişkenler ve ürün türü haritalama gibi değişkenleri elde etmek için en yaygın olarak kullanılan veri kaynaklarından biridir (Abdikan vd. 2018). Ancak bitki gelişimi dinamik bir süreçtir (Formaggio vd. 2001). Dolayısıyla bitki örtüsünün gelişiminin ve hasat tarihinin izlenmesi, sık uzaktan algılama gözlemleri gerektirmektedir (Holtgrave vd. 2020). Bitkilerin en aktif olarak büyüdüğü zaman ise dünyanın birçok yerinde bulutlu ve yağmurlu mevsime denk gelmektedir (Huang vd. 2015). Bu nedenle, yetiştirme periyodu boyunca yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlükte optik görüntü elde etmek oldukça zordur (Ajadi vd. 2021).

Optik sensörlerin aksine, SAR sensörleri tüm hava koşullarında, gece ve gündüz yüksek mekânsal çözünürlükte görüntü elde etme yeteneğine sahiptir (Hütt vd. 2016; Jagdhuber vd. 2017). Optik sensörlerde olduğu gibi olumsuz hava koşullarından kaynaklanan veri kayıpları olmadığı için SAR verilerinin zamansal çözünürlüğü de yüksektir (Holtgrave vd. 2020). Bu özellikleri nedeniyle SAR verileri, tarımsal alanların izlenmesi için önemli bir avantaja sahiptir (McNairn vd. 2000; Engdahl vd. 2001; Zhang vd. 2009; McNairn vd. 2014; Kumaraperumal vd. 2017; Li vd. 2019; Dingle Robertson vd. 2020a).

Öte yandan görünür, kızılötesi ve mikrodalga dalga boylarının toprak ve ürün özelliklerine duyarlılığı birbirlerinden çok farklı olduğu için optik ve SAR sensörlerinden elde edilen verilerin birbirlerini tamamlayıcı özellikleri bulunmaktadır (Formaggio vd. 2001; McNairn ve Brisco 2004; Soria-Ruiz vd. 2007; Jiao vd. 2010, 2011; Kemp ve Burns 2016). Bu nedenle optik ve SAR verilerinin birlikte kullanılması, ürünlerin izlenmesinde büyük bir yeteneğe sahiptir (Bahrami vd. 2021).

1.3. Çalışmanın Amacı

Bu çalışmada, Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) ve multispektral uydu görüntüleri kullanılarak mısır vejetasyon dönemi gelişiminin izlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, ücretsiz olarak temin edilebilen ve yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüğe sahip Sentinel-1 SAR uydu görüntüleri ile Sentinel-2 multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Akdeniz Üniversitesi / Ziraat Fakültesi, Aksu Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde gerçekleştirilen çalışmada silajlık mısır bitkisi izlenmiştir. Mısır bitkisinin ekiminden hasadına kadar olan süreçte, Sentinel-1 uydu görüntülerinden elde edilen geri saçılma değerleri ile interferometrik uyumluluk değerleri ve Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) değerleri ile diğer biyofiziksel değişkenlere (LAI, fCover ve CW) ilişkin değerler incelenmiştir. Ayrıca, Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılarak bitki boyları da hesaplanmıştır.

2. KAYNAK TARAMASI

2.1. Tarımsal Uygulamalarda Uzaktan Algılamanın Kullanımı

Tarım, uzaktan algılama uygulaması ve araştırması için en önemli alanlardan biridir (Liu vd. 2019). Uzaktan algılama, ilk kez balonlara yerleştirilen kameralarla olmak üzere 19. yüzyılın sonlarından bu yana tarımsal alanların belirlenmesi ve izlenmesi için kullanılmaktadır (Soria-Ruiz vd. 2019). Tarımsal uygulamalarda radarların kullanımı ise daha yakın geçmişe dayanmaktadır. Savaş sırasında keşfedilen radar teknolojisi 1970’li yıllarda askeri amaçlar dışında da kullanılabilir hâle gelmiş (Yomralıoğlu 2005) ve radar sensörlerinin tarımsal uygulamalardaki kullanımı bu yıllardan itibaren yaygınlaşmıştır (Soria-Ruiz vd. 2019).

Uzaktan algılama, ürün ve toprak durumundaki zamansal değişiklikleri izleyebilmek için etkili bir yöntemdir (Soria-Ruiz vd. 2009). Uzaktan algılama ile bitki büyümesine ve bitki durumuna ilişkin dinamik bilgiler büyük ölçekte (Veloso vd. 2017; Meroni vd. 2021), zamanında (Liu vd. 2019) ve doğru bir şekilde elde edilebilmektedir. Bitki büyümesinin ve bitki durumunun zamanında ve doğru bir şekilde izlenmesi, ürün verimini tahmin etmek ve tarımsal yönetimi desteklemek için önemli olduğu gibi (Ghazaryan vd. 2019), politika oluşturma da gerekliliklerindendir (Liu vd. 2019). Ürün ekim alanlarının tahmini, bitki büyümesinin izlenmesi ve verim tahmini gibi tarımsal uygulamalar, özellikle verilerin kolayca yorumlanabilir olması nedeniyle çoğunlukla optik görüntüler yardımıyla yapılmaktadır (Liu vd. 2019).

2.1.1. Tarımsal uygulamalarda optik uzaktan algılamanın kullanımı

Optik uzaktan algılamada, yerdeki hedeflerden görünür ve kızılötesi dalga boylarında yansıyan güneş radyasyonunu algılamak ve dünya yüzeyinin görüntülerini oluşturmak için görünür, yakın kızılötesi ve kısa dalga kızılötesi sensörleri kullanılır. Bu görünür ve kızılötesi dalga boylarında farklı malzemeler enerjiyi farklı şekilde yansıtır ve emer. Böylece hedefler, uzaktan algılanan görüntülerde yakalanan spektral yansıma imzaları ile ayırt edilebilir (Soria-Ruiz vd. 2019).

2.2.1.1. Tarımsal hedeflerin spektral yansıma imzaları

Bitkiler; klorofil, palizat parankiması, karotenoidler ve antosiyaninler gibi elektromanyetik enerjinin emiliminde etkili olan pigmentler içerir. Bu pigmentler, elektromanyetik spektrumun özellikle mavi ve kırmızı bölgelerindeki enerjinin emiliminde etkin rol oynar. Elektromanyetik enerjinin yeşil bölgesindeki enerjinin emilimi ise daha düşüktür. Sağlıklı bitkilerin insanlar tarafından yeşil olarak görülmesinin nedeni de budur. Öte yandan elektromanyetik enerjinin yakın kızılötesi bölgesindeki enerji ise bu pigmentlerden büyük ölçüde yansıtılır (SEOS 2021a). Bu benzersiz karakteristikler, bitki örtüsünün spektral yansıma imzası olarak bilinir (SEOS 2021a, b) (Şekil 2.1).

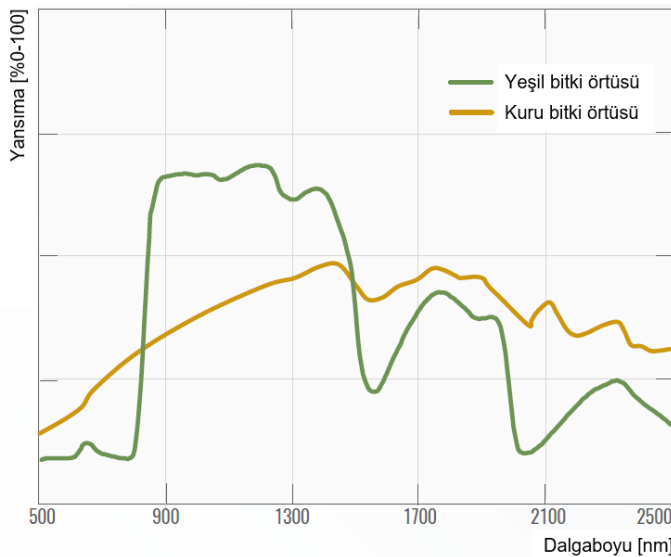
Bitki örtüsünün emilim ve yansıma özellikleri, farklı bitki türleri arasında bile büyük ölçüde benzerdir. Genel olarak, Şekil 2.1’de de görüldüğü gibi sağlıklı bitkiler için elektromanyetik spektrumun mavi ve kırmızı bölgelerindeki yansıma çok azdır; elektromanyetik spektrumun yeşil bölgesindeki yansıma biraz daha fazla iken, kızılötesi

bölgesindeki yansımaya ise çok daha fazladır (Brosinsky vd. 2019; Buddenbaum ve Hill 2020; SEOS 2021b).



Şekil 2.1. Bitkilerin spektral yansımaya imzası (SEOS 2021a)

Yetiştirme periyodu boyunca bitki örtüsünün su içeriğinde ve pigmentasyonunda meydana gelen değişiklikler spektral yansımaya etkiler (McNairn vd. 2009a). Bitkilerin klorofil pigmentleri bozuldukça, elektromanyetik spektrumun kırmızı bölgesindeki yansımaya artar ve kızılötesi bölgesindeki yansımaya azalır; bu bitkiler, insanlar tarafından sararmış olarak görülür. Bitkiler kurudukça, elektromanyetik spektrumun mavi bölgesindeki yansımaya da artar; buna eş zamanlı olarak elektromanyetik spektrumun kısa dalga kızılötesi bölgesindeki yansımada da artış gözlenir (Brosinsky vd. 2019). Yeşil bitki örtüsünün spektral yansımaya imzası ile kuru bitki örtüsünün spektral yansımaya imzası arasındaki fark Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.2. Yeşil bitki örtüsünün spektral yansımaya imzası ile kuru bitki örtüsünün spektral yansımaya imzası arasındaki fark (Brosinsky vd. 2019)

Bitki örtüsüz topraklarda da yansıma değeri birçok faktöre bağlı olarak değişir. Toprak yapısı, yansımanın düzgün veya dağınık olmasını sağlar. Toprak nemi ve organik madde de Emilimi artırarak toprağın yansıma değerini belirlemede etkili olur (SEOS 2021c). Teorik olarak toprak nemi arttıkça, artan su Emilimi nedeniyle elektromanyetik spektrumun kırmızı ve kızılötesi bölgelerindeki yansıma azalır. Toprağın yüzey pürüzlülüğü arttıkça da benzer bir durum gözlenir; toprağın yüzey pürüzlülüğü arttıkça, artan yüzey gölgeleri nedeniyle elektromanyetik spektrumun kırmızı ve kızılötesi bölgelerindeki yansıma azalır (Moran vd. 2002).

2.2.1.2. Tarımsal uygulamalarda optik uzaktan algılamanın dezavantajları

Optik sensörler pasif sistemlerdir. Bu nedenle güneş, optik sensörler tarafından kaydedilen elektromanyetik enerjinin kaynağıdır. Bulut örtüsünün ve sisin mevcudiyeti ise optik sensörlerin dünya yüzeyi hakkında bilgi elde etmesini engellemektedir (Brosinsky vd. 2019).

King vd. (2013) yaptıkları çalışmada, dünya çapındaki bulutluluk oranını hesaplamışlardır. Çalışmada Terra uydusunun MODIS sensöründen elde edilen 12 yıllık veri setleri ile Aqua uydusunun MODIS sensöründen elde edilen 9 yıllık veri setleri kullanılmıştır. Terra ve Aqua uydularından ayrı ayrı elde edilen küresel bulut oranında çok küçük farklar tespit edilmiş olup, küresel bulut oranı $\approx 67\%$ olarak hesaplanmıştır. Kara yüzeyleri üzerinde öğleden sonra daha fazla bulutun mevcut olduğu, okyanuslar üzerinde ise öğleden sonra daha az bulutun mevcut olduğu belirlenmiştir. Genel olarak kara yüzeyleri üzerindeki bulutluluk oranının kendine özgü bir mevsimsel döngü ile $\approx 55\%$ olduğu, okyanuslar üzerindeki bulutluluk oranının ise $\approx 72\%$ olduğu ve mevsimsel varyasyonların çok daha düşük olduğu tespit edilmiştir.

King vd. (2013) tarafından da bildirildiği üzere, dünyanın büyük bir kısmı bulutlarla kaplıdır. Bu nedenle, özellikle bol su kaynaklarına sahip nemli ve yarı nemli iklim kuşaklarında bulunan tarım arazileri, uzaktan algılama uygulamalarında genellikle olumsuz hava koşullarından etkilenmektedir. Bu durum, tarımsal uygulamalar için yüksek kaliteli optik uzaktan algılama verilerinin elde edilmesinde büyük zorluklara neden olur (Liu vd. 2019). Dolayısıyla yoğun bulut örtüsüyle kaplı tarım alanlarında, optik uzaktan algılama teknolojisinin ürünleri izlemek için kullanılması güvenilir olmaz. SAR sensörlerinin tüm hava koşullarında, gece-gündüz veri toplama kabiliyeti SAR uzaktan algılamayı ürünleri izlemek için daha güvenilir bir seçenek hâline getirir ve SAR sensörleri, yoğun bulut örtüsünün mevcut olduğu durumlarda optik verilerin boşluğunu doldurabilir (Soria-Ruiz vd. 2009).

2.1.2. Tarımsal uygulamalarda SAR uzaktan algılamanın kullanımı

Radarlar uzun süredir iletişim ve navigasyon amacıyla kullanılmaktadır (Soria-Ruiz vd. 2009). Ancak tarihsel olarak SAR verileri, olumsuz hava koşullarında dünya yüzeyi hakkında bilgi elde edebilme kabiliyetine sahip olmalarına rağmen tarımsal uygulamalarda optik verilerden daha az kullanılmıştır (Veloso vd. 2017; Huang vd. 2021). Bunun en önemli nedeni, SAR verilerinin yorumlanmasının optik verilere göre daha zor olmasıdır (Woodhouse 2006; Zhang vd. 2009; Veloso vd. 2017). Son zamanlarda ise SAR verileri, tarımsal alanların izlenmesinde giderek daha önemli bir veri kaynağı hâline gelmiştir (Soria-Ruiz vd. 2009).

SAR sensörleri, elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesindeki dalga boylarında elektromanyetik enerji gönderen ve dünya yüzeyinden geri saçılan enerjiyi kaydeden aktif bir sistemdir (Woodhouse 2006; Shuai vd. 2019; ASF 2021). SAR sensörleri aktif bir sistem oldukları için güneş ışığına ihtiyaç duymadan gece-gündüz dünya yüzeyini görüntüleme yeteneğine sahiptir (Lee vd. 1994; Woodhouse 2006; Soria-Ruiz vd. 2009; Hosseini vd. 2015; Liu vd. 2019; Mandal vd. 2019; Alonso-González vd. 2020). Ayrıca optik sensörlerin aksine SAR sensörleri, bulut örtüsünün mevcut olduğu durumlarda dahi dünya yüzeyi hakkında bilgi toplayabilmektedir (Lee vd. 1994; Moran vd. 2002; Woodhouse 2006; Soria-Ruiz vd. 2009; Hosseini vd. 2015; Liu vd. 2019; Mandal vd. 2019; Dingle Robertson vd. 2020b). Dolayısıyla Dünya'nın yörüngesinde bulunan SAR uyduları, yüksek zamansal çözünürlükte ve düzenli olarak dünya yüzeyine ilişkin bilgi elde edilebilmektedir (Woodhouse 2006; Alonso-González vd. 2020).

Elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesindeki dalga boyları atmosferden neredeyse hiç etkilenmeden geçmektedir (Moran vd. 2012; Hosseini vd. 2015; Alonso-González vd. 2020; Dingle Robertson vd. 2020b). SAR uzaktan algılamada da çoğunlukla atmosferin neredeyse şeffaf hâle geldiği 3 cm'den (<10 GHz) daha büyük dalga boyları, yani X-bant ile P-bant arasındaki dalga boyları kullanılır (Woodhouse 2006; Meyer 2019) (Çizelge 2.1). Bu dalga boylarında elde edilen SAR verileri sisten veya çiselemeden etkilenmez. Kısa dalga boyuna (yüksek frekans) sahip SAR verileri şiddetli yağıştan etkilenebilmektedir, ancak uzun dalga boyuna (düşük frekans) sahip SAR verileri şiddetli yağıştan bile etkilenmemektedir. Bu nedenle SAR uzaktan algılama, tarımsal uygulamalarda önemli bir potansiyele sahiptir (Liu vd. 2019).

2.2.2.1. Mikrodalgaların tarımsal hedeflerle etkileşimi

Mikrodalgaların tarımsal hedeflerle etkileşimi çeşitli faktörlerden etkilenmektedir (Inoue vd. 2002; Soria-Ruiz vd. 2009). Frekans/dalga boyu, polarizasyon, geliş açısı ve anten bakış yönü gibi sensör parametreleri (Kellndorfer 2019) ile toprağın ve bitkinin dielektrik (su/nem içeriği) ve geometrik (kanopi yapısı, yüzey pürüzlülüğü...) özellikleri gibi hedef parametreleri (Ulaby 1975; Soria-Ruiz vd. 2009; Jiao vd. 2010, 2011; Riedel ve Eckardt 2017; Nasirzadehdizaji vd. 2019) geri saçılmayı (σ^0) etkilemektedir.

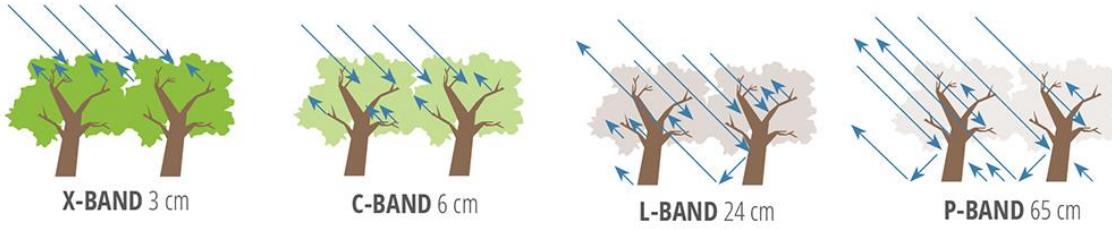
Radar sistemleri, tasarım özelliklerine göre mikrodalgaları belirli frekanslarda iletir (Soria-Ruiz vd. 2009). Frekans, sinyal ile hedef arasındaki etkileşimde büyük bir etkiye sahiptir. SAR frekansı, bitki örtüsüne ve toprağa nüfuz etme derinliğini belirler (McNairn ve Brisco 2004). Frekans azaldıkça, sinyaller bitki örtüsüne ve toprağa daha fazla nüfuz eder (Soria-Ruiz vd. 2009; Riedel ve Eckardt 2017; Valcarce-Diñeiro vd. 2019). Nüfuz etme derinliği ayrıca, kanopi su içeriği ve kanopi bileşenlerinin (yapraklar, saplar, meyveler...) şekli, boyutu ve yönü gibi biyofiziksel parametrelerin radar sinyallerini saçıp dağıtmasına veya zayıflatmasına da bağlıdır (Jiao vd. 2010).

Çizelge 2.1. Mikrodalga bantları (Meyer 2019)

Bant	Frekans (GHz)	Dalga Boyu (cm)	Uygulamalar
Ka	27 – 40	1.1 – 0.8	Havaalanı gözleminde kullanılır. Ka-bant SAR uzaktan algılamada nadiren kullanılmaktadır.
K	18 – 27	1.7 – 1.1	H ₂ O tarafından emilir. K-bant SAR uzaktan algılamada nadiren kullanılmaktadır.
Ku	12 – 18	2.4 – 1.7	Uydu altimetrelerinde kullanılır. Ku-bant SAR uzaktan algılamada nadiren kullanılmaktadır.
X	8 – 12	3.8 – 2.4	Yüksek çözünürlüklü SAR'dır. Kentsel alanların, karlı ve buzlu alanların izlenmesinde kullanılmaktadır. Bitki örtüsüne fazla nüfuz etmez ve bitki örtüsüyle kaplı alanlarda hızlı uyumluluk bozulması görülür.
C	4 – 8	7.5 – 3.8	SAR için en fazla kullanılan banttır. Buz, okyanus ve deniz navigasyonunda, küresel haritalamada, değişiklik tespitinde ve düşük ila orta bitki örtüsüyle kaplı alanların izlenmesinde kullanılmaktadır. Bitki örtüsüne daha fazla nüfuz eder ve bitki örtüsüyle kaplı alanlarda daha yüksek uyumluluk gözlenir.
S	2 – 4	15 – 7.5	Dünya gözlemi için az ama artan kullanıma sahiptir. C-banda göre daha fazla bitki örtüsüyle kaplı alanların izlenmesinde kullanılmaktadır.
L	1 – 2	30 – 15	Orta çözünürlüklü SAR'dır. Jeofiziksel izlemede, biyokütle ve bitki örtüsü haritalamasında kullanılmaktadır. Yüksek nüfuz etme kabiliyeti nedeniyle InSAR uygulamalarında daha fazla tercih edilir.
P	0.3 – 1	100 – 30	DeneySEL SAR'dır. P-banda sahip ilk SAR uydusunun yakın tarihte fırlatılması planlanmaktadır. Biyokütle ve bitki örtüsü haritalamasında ve değerlendirmesinde kullanılacaktır.

Sinyaller bitki örtüsüne nüfuz ederse, bitki örtüsünün altındaki toprak da geri saçılmaya katkıda bulunabilir. Bu durum özellikle düşük frekanslarda ve dik geliş açılarında geçerlidir (Ulaby 1975). Şekil 2.3'te de görüldüğü gibi, bitki örtüsüyle kaplı

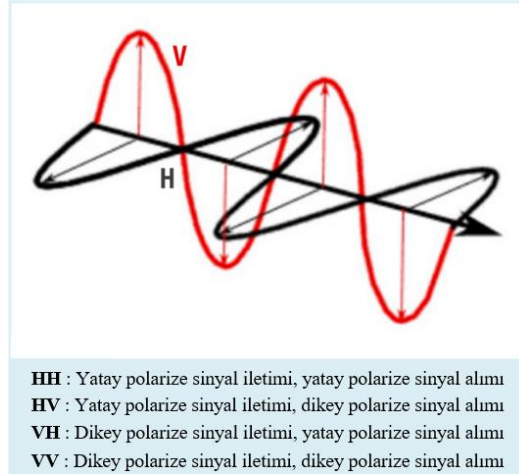
alanlarda X- ve C-bandı gibi kısa dalga boyları bitki örtüsünün üst kısımları ile etkileşime girerken; L- ve P-bandı gibi daha uzun dalga boyları bitki örtüsünün içine nüfuz ederek, bitki örtüsüyle ve bitki örtüsünün altındaki toprakla etkileşime girer. Dolayısıyla kısa dalga boyları bitki örtüsüne daha fazla duyarlıyken, uzun dalga boyları zemin durumuna daha fazla duyarlıdır (Soria-Ruiz vd. 2009; Riedel ve Eckardt 2017; Valcarce-Diñeiro vd. 2019). Bu nedenle daha düşük frekanslı radarlar, özellikle bitki örtüsü altındaki toprak nemi tahmini için daha uygundur (Soria-Ruiz vd. 2009; McNairn ve Jiao 2018).



Şekil 2.3. Farklı dalga boylarındaki radar sinyalinin bitki örtüsüne nüfuz etme kabiliyeti (Saatchi 2019)

Bitki örtüsü içerisinde toplam geri saçılmaya katkıda bulunan kanopi bileşenleri de frekansa bağlıdır (McNairn ve Brisco 2004; McNairn vd. 2009b). Mikrodalgalar, dalga boyundan daha büyük boyuttaki kanopi bileşenlerine daha duyarlıdır (McNairn ve Brisco 2004). Bu nedenle saçılmanın, dalga boyu ile aynı büyüklüğe sahip olan veya dalga boyundan daha büyük olan kanopi bileşenlerinden olması beklenir (McNairn vd. 2009a; McNairn ve Jiao 2018). Dalga boyundan daha küçük bileşenler ise gelen sinyali zayıflatma eğilimindedir (McNairn vd. 2009a). Sinyalin zayıflatılmasını veya saçılmasını etkileyen kanopi bileşenlerinin şekli, boyutu ve yönü, ürün türüne ve büyüme aşamasına bağlı olarak değişiklik göstermektedir (Soria-Ruiz vd. 2009).

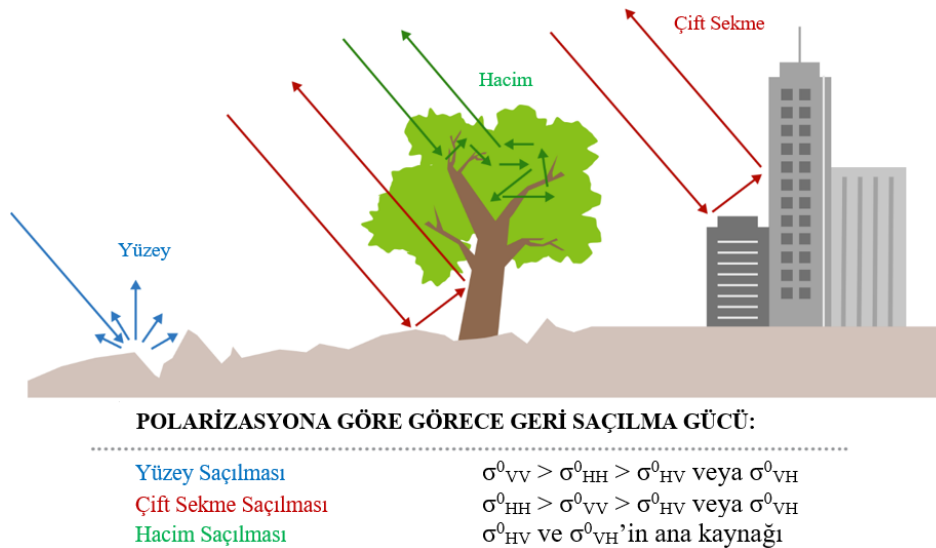
Polarizasyon, elektromanyetik enerjinin nasıl iletildiğini ve alındığını tanımlar (Şekil 2.4). Polarizasyon yönü ise elektromanyetik enerjinin elektrik alan vektörünü temsil etmektedir (Soria-Ruiz vd. 2009; Iyyappan vd. 2014; McNairn ve Jiao 2018). Elektromanyetik enerjinin yatay bileşenini gönderen sistemler yatay polarize, dikey bileşenini gönderen sistemler ise dikey polarize sistemlerdir. HV ve VH polarizasyonları çapraz polarizasyon olarak adlandırılmakta, HH ve VV polarizasyonları ise benzer polarizasyon olarak adlandırılmaktadır (Soria-Ruiz vd. 2009). Yalnızca HH veya VV polarizasyonuna sahip radar sistemleri tek polarizasyona; HH ve HV veya VV ve VH polarizasyonlarına sahip radar sistemleri ikili (çift) polarizasyona; HH, VV, HV ve VH polarizasyonlarına sahip radar sistemleri ise dördü (tam) polarizasyona sahiptir (Soria-Ruiz vd. 2009; Saatchi 2019). Polarizasyon çeşitliliğine sahip sensörler hem bitki yapısı hem de bitki durumu hakkında daha fazla bilgi sağlar (Shang vd. 2009).



Şekil 2.4. Polarizasyon (Saatchi 2019)

Dünya yüzeyinde 3 ana saçılma mekanizması bulunmaktadır. Bunlar: yüzey saçılması, çift sekme saçılması ve hacim saçılması (Iyyappan vd. 2014; Meyer 2019) (Şekil 2.5). Düşük bitki örtüsüne sahip alanlar, bitki örtüsüz topraklar, yollar ve su yüzeyleri yüzey saçılmasına; binalar, ağaç gövdeleri ve aydınlatma direkleri gibi dikey yapılar çift sekme saçılmasına; sinyallerin birden çok kez sekmesine sebep olan bitki örtüsüyle kaplı alanlar ise hacim saçılmasına neden olmaktadır (Meyer 2019).

Farklı polarizasyonlar, farklı yüzey özelliklerine karşı farklı şekilde tepki vermektedir (Iyyappan vd. 2014; Valcarce-Diñeiro vd. 2019). Bu nedenle farklı polarizasyonlarda farklı saçılma mekanizmaları gözlenir. Hangi polarizasyonda hangi saçılma mekanizmasının gözlemlendiği Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



Şekil 2.5. Saçılma mekanizmaları ve bu mekanizmaların gözlemlendiği polarizasyonlar (Meyer 2019)

Benzer polarizasyonlar (HH ve VV) yüzey saçılmasına ve çift sekme saçılmasına daha duyarlıyken, çapraz polarizasyonlar (HV ve VH) hacim saçılmasına daha duyarlıdır (Salepci vd. 2018). Şekil 2.5'te de görüldüğü gibi, bitki örtüsüz topraklarda genellikle σ_{HV}^0 ve σ_{VH}^0 düşüktür; σ_{VV}^0 ise σ_{HH}^0 'den yüksektir. Nispeten pürüzsüz bir zemin üzerindeki dikey yapıların varlığından kaynaklanan çift sekme saçılması meydana geldiğinde de σ_{HV}^0 ve σ_{VH}^0 düşüktür; σ_{HH}^0 ise σ_{VV}^0 'den daha yüksektir. Bitki örtüsüyle kaplı alanlarda ise kanopi elemanlarının katkısı nedeniyle σ_{HV}^0 ve σ_{VH}^0 yüksektir; σ_{VV}^0 ile σ_{HH}^0 ise birbirine benzerdir (Paloscia 1998).

Polarizasyon, elektromanyetik enerjinin iletilmesinde ve saçılmasında önemli bir rol oynamaktadır (Soria-Ruiz vd. 2009). İletilen mikrodalganın polarizasyonu (yatay veya dikey), geri saçılan toplam enerji miktarına bitki örtüsünün hangi bileşenlerinin katkıda bulunduğunu belirler (McNairn vd. 2000; McNairn ve Brisco 2004; Soria-Ruiz vd. 2007). Dolayısıyla polarizasyon, kanopi yapısına duyarlıdır (McNairn vd. 2009b; Valcarce-Diñeiro vd. 2019). Kanopi yapısı (yaprakların, sapların ve meyvelerin şekli, boyutu, yönü) yetiştirme periyodu boyunca değişmektedir (McNairn vd. 2009b; Liu vd. 2013). Kanopi yapısında meydana gelen bu değişiklikler geri saçılmayı etkiler (McNairn vd. 2009a; Vreugdenhil vd. 2018). Böylece σ^0 , bitki büyümesine duyarlı hâle gelir (Paloscia 1998). Ancak farklı polarizasyonlar, bitkinin farklı büyüme aşamalarında bitki büyümesine daha duyarlı olabilir (Moran vd. 2012).

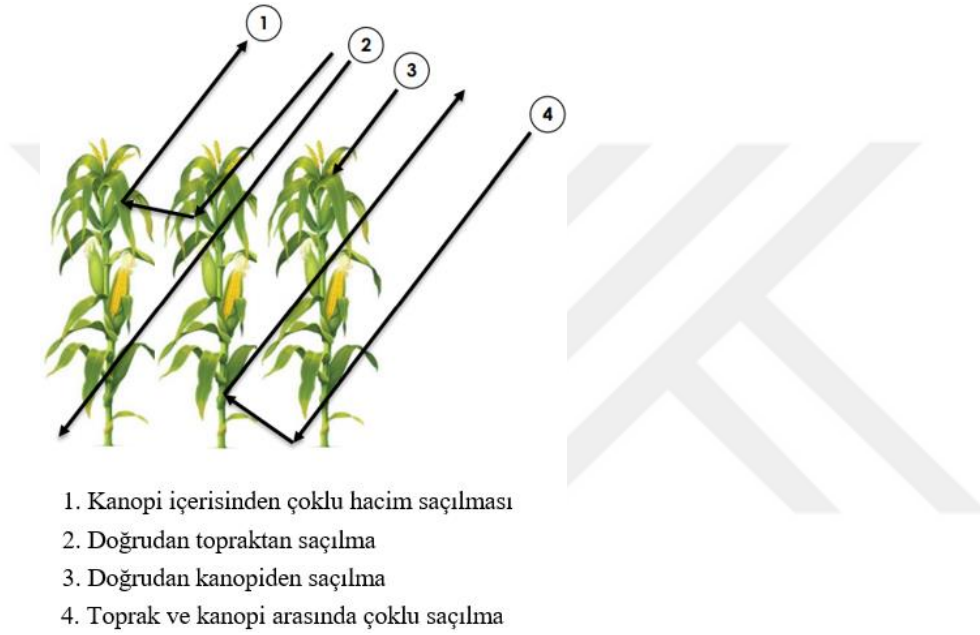
Dikey polarize mikrodalgalar, çoğu bitki örtüsünün baskın dikey yapısıyla etkileşime girdiğinde sinyalin bitki örtüsüne nüfuz etme kabiliyeti azalır. Dolayısıyla VV-polarize görüntüler, farklı dikey kanopi yapılarına sahip bitki örtüsü türleri arasında iyi bir kontrast sağlar. Bitkinin büyüme aşamasındaki değişikliklerden veya bitkinin sağlığından kaynaklanan dikey yapıdaki farklılıklar da VV-polarize görüntülerde tespit edilebilir (McNairn vd. 2000; McNairn ve Brisco 2004; Soria-Ruiz vd. 2007). Teorik olarak, dikey gövde yapısına sahip tahıl ürünlerinde çift sekme saçılması nedeniyle yüksek σ_{VV}^0 değerleri gözlenir (Moran vd. 2012).

Yatay polarize mikrodalgalar, kanopiye dikey polarize mikrodalgalarından daha fazla nüfuz etme eğilimindedir. Bu nedenle, özellikle dik geliş açılarında elde edilen HH-polarize görüntüler, bitki örtüsünün altındaki toprak durumu hakkında daha fazla bilgi sağlama eğilimindedir (McNairn vd. 2000; McNairn ve Brisco 2004; Soria-Ruiz vd. 2007). Bu, özellikle tahıllar ve dikey yapıya sahip diğer bitkiler için geçerlidir. Kanopiye nüfuz etme kabiliyetinin artması, geniş yapraklı bitkiler için iyi bilinen doygunluk etkisi oluşmadan önceki gözlem süresini de uzatır. Ancak HH-polarize görüntüler hem toprak hem de bitki örtüsü bilgisini içerdiği için bitki örtüsüne ilişkin bilgilerin çıkarılması zor olabilir (McNairn ve Brisco 2004).

Çapraz polarize (HV veya VH) görüntülerin kaynağı, bitki örtüsüyle kaplı alanlardaki hacim saçılmasıdır (McNairn vd. 2000, 2009a; Soria-Ruiz vd. 2007, 2009; Vreugdenhil vd. 2018; Valcarce-Diñeiro vd. 2019). Kanopi yapısı ürün türüne göre farklılık gösterdiği için hacim saçılmasının derecesi de üründen ürüne değişir (McNairn vd. 2009a) ve benzersiz çapraz polarizasyon imzalarına neden olur (Soria-Ruiz vd. 2009). Çapraz polarize görüntüler ayrıca, HH ve VV-polarize görüntülere tamamlayıcı olabilecek bilgiler sağlar (McNairn vd. 2000; McNairn ve Brisco 2004; Soria-Ruiz vd. 2007). Bu nedenle birden çok polarizasyonun kullanılması, tarımsal

hedeflerin özellikleri hakkında daha fazla bilgi çıkarılmasına olanak tanır (Soria-Ruiz vd. 2009; Nasirzadehdizaji vd. 2019).

Tarımsal alanlardan gelen toplam geri saçılma, yalnızca bitki örtüsünün kendisinden gelen saçılmayı içermez (Ulaby vd. 1984; Steele-Dunne vd. 2017; Vreugdenhil vd. 2018); aynı zamanda bitki örtüsü tarafından zayıflatılarak toprak ile bitki örtüsü arasındaki etkileşimi de içerir (Vreugdenhil vd. 2018). Bu nedenle, bitki örtüsüyle kaplı alanlarda ana saçılma mekanizması hacim saçılması olsa da (Vreugdenhil vd. 2018) tarımsal alanlarda yüzey saçılmasının, çift sekme saçılmasının ve hacim saçılmasının bir karışımı mevcuttur (McNairn ve Brisco 2004; Liu vd. 2013). Tarımsal alanlarda gözlenen saçılma mekanizmaları Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Tarımsal alanlarda gözlenen saçılma mekanizmaları (McNairn ve Jiao 2018)

Herhangi bir ürün için saçılma mekanizmalarının toplam geri saçılmaya katkısı, öncelikle bitkinin büyüme aşamasının bir fonksiyonudur (Liu vd. 2013). Ekim sıklığı veya bitki yoğunluğu da geri saçılmayı etkileyen önemli bir faktördür (McNairn vd. 2009a, b; Liu vd. 2013). Bu nedenle, ürünlerin farklı ekim sıklıkları/bitki yoğunlukları ve büyüme aşamaları, çok farklı saçılma mekanizmalarıyla sonuçlanabilir (Liu vd. 2019). Yetiştirme periyodunun başlarında düşük bitki örtüsü nedeniyle geri saçılmaya önemli bir katkı topraktan kaynaklanır (McNairn vd. 2009a). Dolayısıyla bitkilerin çimlenmeye başladığı ilk zamanlarda veya bitki örtüsü topraklarda yüzey saçılması hâkimdir. Bitkilerin büyümesiyle birlikte, kanopi elemanları ile alttaki toprak arasında çoklu saçılma olayları meydana geldiği için hacim saçılması baskın hâle gelir. Önemli dikey yapıya sahip kanopilerde ise çift sekme saçılması da mevcuttur (Liu vd. 2013).

Dielektrik özellikler, sinyalin saçılma veya zayıflatılma özelliklerini etkiler (Pathe 2017a). Bu nedenle dielektrik sabitindeki değişiklikler, mikrodalganın bitki örtüsüyle nasıl etkileşime gireceğini belirler (Soria-Ruiz vd. 2009; Iyyappan vd. 2014). Dielektrik sabiti su içeriği ile ilgilidir (Pathe 2017a). Dolayısıyla kanopi su içeriği de saçılma mekanizmalarının karışımını etkilemektedir (Liu vd. 2013).

Yetiştirme periyodu boyunca kanopi su içeriği değişmektedir (McNairn vd. 2009b; Liu vd. 2013; Ghazaryan vd. 2020). Kanopi su içeriğinde meydana gelen bu değişiklikler geri saçılmayı etkiler (McNairn vd. 2009a). Teorik olarak, su veya nem içeriğinin artması dielektrik sabitinin artmasına neden olur (Zhang vd. 2009; McNairn ve Jiao 2018). Dolayısıyla, bitkiler geliştikçe ve kanopi su içeriği arttıkça geri saçılma da artar (Soria-Ruiz vd. 2009; Zhang vd. 2009; Ghazaryan vd. 2020). Bitkiler olgunlaşmaya başladığında ise kanopi su içeriğinin azalması ile sinyallerin bitki örtüsüne daha fazla nüfuz etmesi ve kanopi altındaki toprakla daha fazla etkileşime girmesi beklenir (Liu vd. 2013).

Kanopi yapısı ve su içeriği; ürün türüne, büyüme aşamasına ve ürün durumuna bağlı olarak da değişiklik gösterir (McNairn ve Brisco 2004; McNairn vd. 2009a). SAR görüntülerindeki saçılma mekanizmalarının değişimi, ürünleri ve bitki örtüsüyle kaplı alanlardaki değişiklikleri tanımlamak için kullanılabilir ve bitkilerin fenolojik döngüsü bu bilgilerden tahmin edilebilir (Liu vd. 2013).

SAR frekansı ve geliş açısı da saçılma mekanizmalarının karışımını etkiler (McNairn ve Brisco 2004). Bitkilerin izlenmesi için gerekli olan bilgilerin çoğu L- ve C-bantlarında, benzer ve çapraz polarizasyonlarda ve bir ara geliş açısında (30° ila 40° arasında) çalışan SAR uyduları tarafından sağlanabilmektedir. Küçük geliş açılarında (<30°) geri saçılmaya topraktan doğrudan saçılma hâkimken, büyük geliş açılarında (>30°) geri saçılmaya kanopiden doğrudan saçılma hâkimdir (Soria-Ruiz vd. 2009). Daha büyük geliş açıları, bitki örtüsü boyunca yol uzunluğunu artırarak bitki kanopisinin kendisinden gelen geri saçılmayı en üst düzeye çıkarır ve topraktan gelen katkıyı azaltır. Pürüzlülük etkileri ve sinyalin bitki örtüsü tarafından zayıflatılması ise küçük geliş açılarında en aza indirildiğinden, toprak nemi uygulamaları için küçük geliş açıları tercih edilir (Riedel ve Eckardt 2017; Soria-Ruiz vd. 2009).

Önemli yeşil bitki büyümesinin olmadığı durumlarda veya bitki örtüsüz toprak olması durumunda; mikrodalgalar yüzey pürüzlülüğüne, bitki kalıntılarına ve toprak nemine duyarlı hâle gelir (McNairn ve Brisco 2004). Genel olarak düşük frekanslı mikrodalgalar (<10 GHz), toprağın üst birkaç santimetresindeki toprak nemine karşı hassastır (McNairn ve Brisco 2004; Monsivais-Huertero ve Judge 2018). Ayrıca mikrodalgalar, kuru toprak veya kum tabakasına bazı durumlarda birkaç metreye kadar nüfuz edebilmektedir (Woodhouse 2006). Mikrodalgaların toprağa nüfuz etme derinliği frekansa ve toprağın nem içeriğine bağlı olarak değişir (McNairn ve Brisco 2004; Zribi vd. 2014; Bousbih vd. 2017). Orta nem seviyesine sahip bitki örtüsüz topraklarda sinyalin toprağa nüfuz etme derinliği L-bandında yaklaşık 5 cm iken, X- ve C-bantlarında yaklaşık 1 cm'dir (Zribi vd. 2014). Dolayısıyla üst toprak nemi, bitkilerin erken büyüme aşamalarında C-bandı geri saçılmasını önemli ölçüde etkiler. Ancak bitki örtüsü geliştikçe, sinyaller bitki örtüsü tarafından zayıflatılarak toprak neminin geri saçılmaya katkısı giderek azalır (Blaes vd. 2006) ve tamamen yok olur (Steele-Dunne vd. 2017). Toprak yapısı, organik madde, tuzluluk ve sodyum içeriği gibi diğer toprak özellikleri de

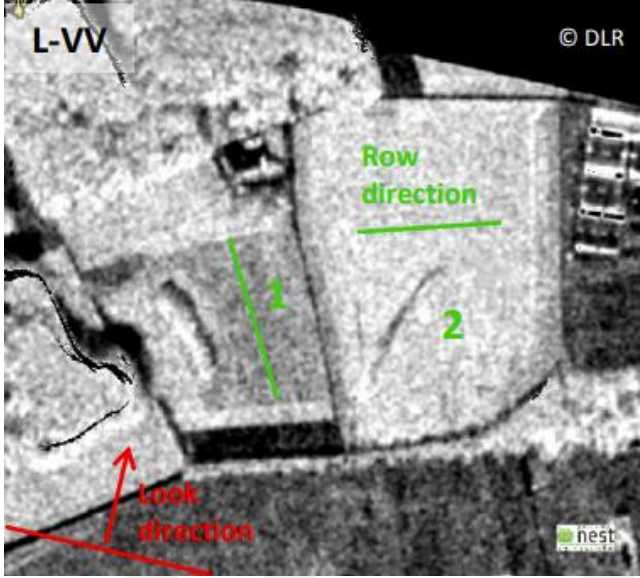
geri saçılmayı etkileyebilir. Ancak bu etkiler, toprak pürüzlülüğünden ve nem içeriğinden kaynaklanan etkilere göre daha az belirgindir (Soria-Ruiz vd. 2009). Genel olarak, toprağın nem içeriği değiştikçe toprağın dielektrik sabiti de değişir (Chauhan vd. 1994; Moran vd. 2002) ve toprak nemi arttıkça σ^0 artar (Moran vd. 2002; Pathe 2017b).

Toprağın yüzey pürüzlülüğünde meydana gelen değişiklikler tarımsal uygulama veya meteorolojik olayların (yağış, rüzgâr...) etkileri ile ilgilidir (Marzahn ve Ludwig 2009). Meteorolojik etkiler toprak yüzeyinin pürüzsüzleşmesine neden olurken (Marzahn ve Ludwig 2009), tarımsal uygulamalar kullanılan araca ve uygulanan yöntemle bağlı olarak farklı boyutlarda yüzey pürüzlülüğüne yol açar (McNairn ve Brisco 2004; Marzahn ve Ludwig 2009). Bu nedenle, yüzey pürüzlülüğünün tarımsal uygulamalarla güçlü bir ilişkisi bulunmaktadır (Liu vd. 2019).

Yüzey pürüzlülüğüne duyarlılık frekansa ve geliş açısına bağlıdır (McNairn ve Jiao 2018). Yüzeyler, daha uzun dalga boylarında daha kısa dalga boylarına göre daha pürüzsüz görünür (McNairn ve Brisco 2004). Dolayısıyla yüzey pürüzlülüğü, mikrodalganın dalga boyuna bağlı göreceli bir kavramdır. Radar sinyali, dik geliş açılarında kıyasla daha büyük geliş açılarında yüzey pürüzlülüğüne daha duyarlıdır (Iyyappan vd. 2014). Genel olarak yüzey pürüzlülüğü arttıkça σ^0 artar (Moran vd. 2002; Pathe 2017b; McNairn ve Jiao 2018).

Yüzey pürüzlülüğüne neden olan toprak işleme uygulamalarına ek olarak, hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra arazide kalan bitki kalıntıları da geri saçılmayı etkiler. Ancak geri saçılmanın duyarlılığı polarizasyona bağlıdır. Hacim saçılması, bitki örtüsü içerisinde meydana geldiği gibi pürüzlü yüzeylerdeki çoklu yüzey saçılması ile de ilişkilidir (McNairn ve Brisco 2004; Vreugdenhil vd. 2018). Bu nedenle çapraz polarizasyon, bitki kalıntılarına ve toprak işleme uygulamalarına daha duyarlıdır (McNairn ve Brisco 2004).

Özellikle radarın bakış yönüne göre ekim (sıra) yönü de geri saçılmayı etkileyen önemli bir faktördür (McNairn ve Brisco 2004; Karjalainen vd. 2008; Moran vd. 2012; McNairn ve Jiao 2018). Benzer polarizasyonlarda ekim (sıra) yönü radarın bakış yönüne dik olduğunda, ekim (sıra) yönünün radarın bakış yönüne paralel olduğu durumlara kıyasla geri saçılma değerleri önemli ölçüde daha yüksektir (Şekil 2.7). Ekim (sıra) yönünün etkileri, küçük geliş açılarında kıyasla daha büyük geliş açılarında daha az belirgindir. Çapraz polarizasyon da radarın bakış yönüne göre ekim (sıra) yönünün etkilerinden daha az etkilenir (McNairn ve Brisco 2004). Dolayısıyla çapraz polarizasyonun kullanılması, ekim (sıra) yönünün etkilerini en aza indirir (McNairn ve Brisco 2004; Riedel ve Eckardt 2017).



Şekil 2.7. Radarın bakış yönüne göre ekim (sıra) yönünün etkileri (Riedel ve Eckardt 2017)

2.2.2.2. Tarımsal uygulamalarda SAR uzaktan algılamanın dezavantajları

SAR verilerinin en büyük zayıflığı, toprak ve bitki örtüsünün geri saçılmaya etkisinin yeterince anlaşılamaması (Moran vd. 2002) ve bitki örtüsüne ilişkin verilerin çıkarılmasının zor olmasıdır (Vreugdenhil vd. 2018). Toplam geri saçılma, bitki örtüsü ve topraktan gelen geri saçılmanın karmaşık bir toplamıdır. Radar sinyali hem kanopiye hem de belirlenmesi zor bir derinliğe kadar toprağa nüfuz ederek, sinyale ürün durumunun mu yoksa toprak durumunun mu hâkim olup olmadığını belirlemeyi karmaşık hâle getirir (Moran vd. 2012). Bu sorun, SAR görüntülerinin yorumlanmasını oldukça güç kılmaktadır (Zhang vd. 2009).

2.1.3. Tarımsal uygulamalarda optik ve SAR verilerinin birlikte kullanımı

Optik uzaktan algılama ve SAR uzaktan algılama, dünya yüzeyine ilişkin bilgileri elde etmenin iki farklı yoludur (Liu vd. 2019). Ancak optik uzaktan algılama ile SAR uzaktan algılama, farklı fiziksel ilkelere dayanmaktadır (Woodhouse 2006; Soria-Ruiz vd. 2009). Optik uzaktan algılamada ve SAR uzaktan algılamada elektromanyetik spektrumun farklı bölgeleri kullanıldığı için elde edilen bitki parametreleri birbirlerinden tamamen farklıdır (Holtgrave vd. 2020). Buna rağmen hem multispektral optik uydu görüntülerinin hem de SAR uydu görüntülerinin bitki büyümesinin izlenmesinde avantajları vardır (Gao vd. 2013) ve bu tekniklerin her ikisi de bitki örtüsünün büyüme durumunu tanımlayabilmektedir (Gao vd. 2013; Liu vd. 2019).

Optik uzaktan algılama esas olarak hedeflerin spektral özelliklerine (Liu vd. 2019), yani yansıma ve emisyon özelliklerine (Sukawattanavijit vd. 2017) dayanır. SAR uzaktan algılama ise hedeflerin geometrik ve dielektrik özelliklerine dayanır (Liu vd. 2019). Görünür ve kızılötesi dalga boyları bitkilerin biyofiziksel özelliklerine duyarlı olup (McNairn vd. 2009a), bu dalga boyları bitkilerin iç yaprak

yapısına ve pigmentasyonuna yanıt verir (McNairn ve Brisco 2004; McNairn vd. 2009a; Soria-Ruiz vd. 2009). Dolayısıyla optik sensörlerden elde edilen veriler, bitkilerin fotosentetik ve fotosentetik olmayan bileşenlerinin doğru bir yorumunu sunabilmektedir (Gao vd. 2013; Liu vd. 2019). Mikrodalga dalga boyları ise bitki örtüsünün yapısal (yaprakların, sapların ve meyvelerin şekli, boyutu, yönü) özelliklerine, kanopi su içeriğine, ekim sıklığına/bitki yoğunluğuna, ekim yönüne, toprağın yüzey pürüzlülüğüne ve toprak nemine yanıt verir. Görünür ve kızılötesi dalga boyları yalnızca toprağın ve bitki örtüsünün yüzeyine ilişkin bilgi elde edebilmekte iken (Zhang vd. 2009; Liu vd. 2019), mikrodalga dalga boyları bitki örtüsüne ve toprağa nüfuz edebilme kabiliyetine sahiptir (Soria-Ruiz vd. 2009; Zhang vd. 2009).

Optik ve radar verileri birlikte kullanıldığında ise tarımsal uygulamalar için değerli bir bilgi kaynağı sağlar (Soria-Ruiz vd. 2009). Çünkü optik ve radar sensörlerinden elde edilen ürün bilgileri birbirlerini tamamlayıcı niteliktedir (McNairn ve Brisco 2004; Soria-Ruiz vd. 2009). Dolayısıyla optik ve SAR verilerinin entegrasyonu, daha yüksek hassasiyetli sonuçlar sağlayabilmektedir (Shang vd. 2009; Liu vd. 2019). Bu hususta McNairn ve Brisco (2004), C-bant SAR verilerini diğer radar frekanslarında elde edilen verilerle veya optik verilerle entegre etmenin ek ürün ve toprak bilgileri sağlayabileceğini bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Zhang vd. (2020) de SAR ve optik verilerin ortak kullanımının hem bitki örtüsünden hem de topraktan gelen saçılma bilgisini dikkate alma avantajına sahip olduğunu bildirmişlerdir.

2.2. Tez Konusu ile İlgili Benzer Çalışmalar

Blaes vd. (2006) tarafından mısır büyümesinin en iyi şekilde izlenmesi için bir simülasyon çalışması yapılmıştır. Çalışmanın yapıldığı tarih itibarıyla yörüngede bulunan tüm SAR sensörlerinin, bitki büyümesine duyarlılığı en üst düzeye çıkaran ve toprak neminin sinyal üzerindeki etkisini en aza indiren tüm konfigürasyonları (polarizasyon ve geliş açıları) simüle edilmiştir. Simülasyon çalışması sonucu, ikili (çift) polarizasyona sahip Envisat (C-bant) uydu görüntüleri ile bitki büyümesine duyarlı ve toprak nemi değişikliklerine ise daha az duyarlı polarimetrik indekslerin türetilebileceği tespit edilmiştir. Büyük geliş açısıyla (45°) elde edilen uydu görüntülerinin VV/VH polarizasyon oranı toprak nemine en az duyarlı olup, bitki büyümesini değerlendirmek için en uygun indeks olarak tanımlanmıştır. Dik geliş açısıyla elde edilen uydu görüntülerinin VV/HH polarizasyon oranı kullanılarak ise büyüme aşamasının başlangıcında, mısır bitkilerinin çimlenmesinin tespit edilebileceği belirlenmiştir.

Freeman vd. (2007) tarafından yapılan çalışmada, mısırın farklı büyüme aşamalarında elde edilen optik veriler ve bitki boyu ölçümleri ile biyokütle, verim ve azot alımının doğru bir şekilde tahmin edilip edilemeyeceği incelenmiştir. Üreme büyüme aşamasından önce toplanan bitki boyu ölçümlerinin, mısır biyokütlesinin iyi bir öngörücüsü olduğu tespit edilmiştir. NDVI ve bitki boyu ile verim arasında yüksek korelasyon bulunmuştur. NDVI değeri ile bitki boyu çarpılarak oluşturulan indeksin ($NDVI \times \text{bitki boyu}$) kullanılması ve bitkinin kapladığı alanın hesaba katılmasıyla verim doğru bir şekilde tahmin edilmiştir. Özellikle mısırın 8. ila 10. yaprak yakasının açıldığı dönem arasında elde edilen optik verilerin ve bitki boyu ölçümlerinin, biyokütle birikimi ve azot alımı hakkında bilgi sağlayabileceği belirtilmiştir. Ayrıca, azot alımının en iyi öngörücüsünün NDVI olduğu tespit edilmiştir.

Soria-Ruiz vd. (2007) tarafından yapılması planlanan proje ile yetiştirilen mısırların hasat edilmeden önce; ekili olduğu alanların belirlenmesi, ürün durumunun izlenmesi ve veriminin tahmin edilmesi amaçlanmaktadır. Bu amaç doğrultusunda, SAR (RADARSAT-2) ve multispektral (SPOT 5) uydu görüntülerinin birlikte kullanılması planlanmaktadır. RADARSAT-2 (C-bant) uydusu fırlatılmadan önce, yalnızca SPOT 5 uydu görüntüleri kullanılarak bir ön çalışma gerçekleştirilmiştir. Ön çalışma kapsamında 61 pilot arazi seçilmiş ve arazilerin koordinatları GPS yardımıyla belirlenmiştir. Bu arazilerde 15 günlük aralıklarla LAI ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. SPOT 5 uydusunun 2.5 m çözünürlüğe sahip pankromatik modu kullanılarak görüntü sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiş ve genel sınıflandırma doğruluğu %78 olarak belirlenmiştir. SPOT 5 uydu görüntülerine RADARSAT-2 uydu görüntülerinin de dâhil edilmesiyle, sınıflandırma doğruluğunun artması beklenmekte ve proje hedeflerine ulaşılması amaçlanmaktadır.

Santoro vd. (2010) yaptıkları çalışmada, mısır ve ayçiçeği tarlalarının bulunduğu bir bölgede InSAR tekniğini uygulamışlardır. Çalışmada 28 dakika aralıklarla elde edilen, yaklaşık 2 km'lik dik baz uzunluğuna sahip ve 3 farklı tarihe ait ERS-2 ile Envisat ASAR (C-bant) uydu görüntü çiftleri kullanılmıştır. Kullanılan uydu görüntülerinden yalnızca ilk tarihe ait görüntü çifti yararlı bulunmuştur. Görüntülerin elde edildiği tarihe ait ekili ürün bilgileri, arazileri işleyen yerel yetkililerden öğrenilmiştir. Edinilen bilgiler doğrultusunda, çalışma alanı içerisinde 5 mısır ve 1 ayçiçeği tarlasının mevcut olduğu, diğer arazilerde ise ekili ürünlerin o tarih itibarıyla hasat edildiği, dolayısıyla görüntülerin elde edildiği tarihte bu arazilerin bitki örtüsüz toprağı temsil ettiği belirlenmiştir. Mısırın büyüme aşaması ve bitki durumuna ilişkin ek bilgiler, yapılan literatür taraması sonucu bulunan benzer çalışmalar dikkate alınarak değerlendirilmiştir. Yapılan çalışma sonucu, ekili arazilerin uyumluluk değerlerinin bitki örtüsüz topraklardan daha düşük olduğu, interferometrik yüksekliklerinin ise bitki örtüsüz topraklardan daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Jiao vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada; X-bant (TerraSAR-X), C-bant (RADARSAT-2) ve L-bant (ALOS PALSAR) SAR geri saçılmalarının mısır ve soya fasulyesinin biyofiziksel değişkenlerine (LAI) duyarlılığı araştırılmıştır. Çalışmada ayrıca LAI türetmek için SPOT-4 multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Mısır için L-bant HH polarizasyonu, L-bant HV polarizasyonu ve C-Bant HV polarizasyonu ile LAI arasında yüksek korelasyon bulunmuştur. Soya fasulyesi için ise SAR geri saçılmaları ile LAI arasında genellikle düşük korelasyonlar tespit edilmiş, en yüksek korelasyon C-bant HH polarizasyonunda gözlenmiştir. Hem mısır için hem de soya fasulyesi için X-bant geri saçılma değerleri ile LAI arasında çok düşük korelasyonlar gözlenmiştir.

Joseph vd. (2010) tarafından yapılan çalışmada, mısır kanopisinin; farklı bantlardaki (C- ve L-bant), farklı geliş açlarındaki (15°, 35° ve 55°) ve farklı polarizasyonlardaki (HH ve VV) geri saçılmalara etkisi incelenmiştir. Çalışmada kamyonu monte edilen bir saçılma ölçer kullanılmış ve bitkinin çimlenmesinden hasadına kadar olan süreç için geri saçılma değerleri kaydedilmiştir. Çalışma kapsamında toprak nemi ve biyokütle ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bitki örtüsünün etkilerini analiz etmek için geri saçılma değerleri, gerçekleştirilen simülasyonlarla karşılaştırılmıştır. Mısır en yüksek biyokütleyle ulaştığında bile, en büyük geliş açısında dahi geri saçılma değerlerinin toprak nemine duyarlı olduğu tespit edilmiştir.

Moran vd. (2012) tarafından yapılan çalışmada, SAR geri saçılmalarının (σ^0) ürün ve toprak durumuna duyarlılığı analiz edilmiştir. Çalışma kapsamında buğday, arpa, yulaf, mısır, soğan ve yonca tarlalarını izlemek için C-bant SAR (RADARSAT-2) uydu görüntüleri ile multispektral (RapidEye) uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bulutsuz hava koşullarında elde edilen 5 farklı tarihe ait RapidEye uydu görüntülerinden NDVI türetilmiştir. Yükselen ve alçalan yörünge yönünden 3'er gün aralıklarla elde edilen RADARSAT-2 uydu görüntülerinin geliş açıları 23° ila 41° arasında değişmektedir. HV ve VH geri saçılma değerlerinin benzer olacağı varsayımıyla, dörtlü (tam) polarizasyona sahip RADARSAT-2 uydu görüntülerinin HH, HV ve VV polarizasyonları incelenmiştir. Tüm bitkiler için olmasa da soğan ve mısır için σ^0 ile NDVI arasında pozitif korelasyon bulunmuştur. Çapraz polarizasyonun (σ^0_{HV}) hem ürün hem de toprak durumunun izlenmesinde yararlı olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, sinyal geliş açısındaki farklılıklara da en az duyarlı polarizasyonun çapraz polarizasyon (σ^0_{HV}) olduğu tespit edilmiştir.

Liu vd. (2013) yaptıkları çalışma ile mısır, bahar buğdayı ve soya fasulyesini birbirinden ayırt etmek için PolSAR tekniğini uygulamışlardır. Çalışmada dörtlü (tam) polarizasyona sahip, 2 farklı geliş açısıyla elde edilen RADARSAT-2 (C-bant) uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bitkilerin çimlenmesinden hasadına kadar olan süreçte bitki gelişimlerini izlemek için Pauli yüzey, Pauli çift sekme ve Pauli hacim geri saçılmaları zamansal olarak analiz edilmiştir. Pauli çift sekme ve Pauli hacim geri saçılmalarının bitki büyümesinin güçlü göstergeleri olduğu belirlenmiştir. Bu geri saçılmaların; bitkilerin çimlenme aşamasında çok düşük olduğu, bitkilerin büyüme aşamasında artmaya başladığı, bitkiler olgunlaştıkça platoya ulaştığı, bitkiler yaşlandıkça azalmaya başladığı ve bitkiler hasat edildikten sonra önemli ölçüde azaldığı gözlenmiştir. Bahar buğdayının geri saçılmasının diğer iki ürünün geri saçılmasından daha düşük olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca, daha büyük geliş açısının daha düşük geri saçılmaya neden olduğu gözlenmiştir. Son olarak, çalışmada En Yüksek Olasılık (Maximum Likelihood) yöntemi ile sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiş ve genel sınıflandırma doğruluğu %85 olarak belirlenmiştir.

McNairn vd. (2014) tarafından yapılan çalışmada, genellikle mısır ve soya fasulyesi yetiştirilen bir tarım bölgesinde bu iki ürünün birbirinden ayırt edilmesi ve yetiştirildikleri alanların doğru bir şekilde belirlenmesi amaçlanmıştır. Çalışmada mısır ve soya fasulyesinin farklı büyüme aşamalarına denk gelen 6 TerraSAR-X (X-bant) SAR uydu görüntüsü ile 7 RADARSAT-2 (C-bant) SAR uydu görüntüsü kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 436 araziden ürün türüne, bitkinin büyüme aşamasına, yabani otların mevcudiyetine, ekim yönüne, bitki boyuna ve toprak nemine ilişkin veriler toplanmış ve arazilerin koordinatları GPS yardımıyla belirlenmiştir. Uydu görüntülerine mekânsal ve çok zamanlı benek filtresi uygulanmış, bu filtrelerin sınıflandırma doğruluğuna etkisi değerlendirilmiştir. Sınıflandırma işlemi DT yöntemiyle gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırmayı eğitmek için 436 arazinin %60'ı, sınıflandırma doğruluğunu değerlendirmek için ise %40'ı kullanılmıştır. Erken sezon (Haziran sonu/Temmuz başı, yani tohumlar ekildikten yaklaşık 6 hafta sonra) sınıflandırması için yalnızca ilk 3 TerraSAR-X uydu görüntüsü kullanılarak mera ve mısır alanları %90'a yakın veya daha yüksek bir doğrulukla belirlenmiştir, ancak soya fasulyesi için üretici doğruluğu yaklaşık %60 seviyelerinde kalmıştır. Soya fasulyesini de doğru bir şekilde tanımlayabilmek için bir TerraSAR-X uydu görüntüsüne daha ihtiyaç duyulmuştur. RADARSAT-2 uydu görüntüleri kullanılarak yapılan erken sezon sınıflandırması ise her iki ürün için de

başarılı olmamıştır. Mekânsal filtre uygulanan RADARSAT-2 uydu görüntüleri ile yüksek bir sınıflandırma doğruluğuna 7 RADARSAT-2 uydu görüntüsünün tamamı kullanıldıktan sonra ulaşılmıştır. Öte yandan, çok zamanlı filtre uygulanan RADARSAT-2 uydu görüntüleri ile yapılan sınıflandırma doğruluğu artmış ve mekânsal filtre uygulanan görüntülerle elde edilen yaklaşık doğruluklara, çok zamanlı filtre uygulanan görüntülerle 5 hafta önce ulaşılmıştır. Çalışmada ayrıca, ikinci sensörden veri eklemenin elde edilen sezon sonu sınıflandırma doğruluklarında küçük artışlar sağladığı gözlenmiştir.

Nandibewoor vd. (2015) tarafından yapılan çalışma ile mısırın uzaktan izlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, 3 farklı tarihe ait Landsat 8 OLI/TIRS multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Uydu görüntüleri ile aynı tarihlerde araziye gidilerek deneysel örnekler alınmış ve bitkilerin klorofil içerikleri hesaplanmıştır. Uydu görüntülerinin kırmızı, yeşil ve mavi bantlarındaki spektral yansıma değerleri incelenmiş ve NDVI analizi yapılarak çıkan sonuçlar yorumlanmıştır. Sonuç olarak, yüksek klorofil içeriğini temsil eden yüksek yeşil bant yansıma değerleri gözlenmiş, artan klorofil içeriğine paralel olarak NDVI değerlerinde de artışlar gözlenmiş ve bitkide hasat edilmeden önce meydana gelen klorofil düşüşüne paralel olarak NDVI değerlerinde de düşüşler gözlenmiştir.

Hütt vd. (2016) yaptıkları çalışma ile mısır tarlalarındaki bitki boylarını hesaplamak için InSAR tekniğini uygulamışlardır. Çalışmada 3 farklı tarihe ait TanDEM-X (X-bant) uydu görüntü çiftleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan uydu görüntüleri HH ve VV polarizasyonlarına sahip olup, bistatik modla tek geçişte elde edilmişlerdir. İlk uydu görüntü çiftinden üretilen interferogramlar yardımıyla ekim öncesi bitki örtüsüz araziye temsil eden DTM (Sayısal Arazi Modeli) oluşturulmuştur. İkinci ve üçüncü uydu görüntü çiftlerinden üretilen interferogramlar yardımıyla ise ürün yüzeylerini temsil eden 2 farklı tarihe ait CSM (Ürün Yüzey Modeli) oluşturulmuştur. Her bir CSM'den DTM çıkarılarak 2 farklı tarih için bitki boyları hesaplanmıştır. Bu işlem iki polarizasyon için ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. HH polarizasyonundan elde edilen bitki boyları ile VV polarizasyonundan elde edilen bitki boyları arasında yüksek oranda korelasyon bulunmuştur. Çalışma kapsamında ayrıca, çalışma alanında bulunan tüm mısır tarlaları belirlenmiş ve bu tarlalar içerisinde 1 mısır tarlası seçilmiştir. Bu tarlada, sepetli bir vince yerleştirilen yersel lazer tarayıcı ile 4 farklı tarihte bitki boyu ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Her iki polarizasyon için uydu görüntülerinden elde edilen bitki boylarının ortalaması alınmış ve uydu görüntülerinden elde edilen bitki boyları, yersel lazer tarayıcıdan elde edilen bitki boyları ile piksel bazında karşılaştırılmıştır. Yersel lazer tarayıcıdan elde edilen bitki boyları ile uydu görüntülerinden elde edilen bitki boyları arasında korelasyon bulunamamıştır. Bunun sebebi ise şu şekilde açıklanmıştır: Yersel lazer tarayıcı daha eğik bir açıyla alım yaptığı için bitkilerin daha çok üst kısımlarıyla etkileşime girmektedir; TanDEM-X uydusunun ise sinyal geliş açısı (23.4°) oldukça dik olduğu için kanopinin daha derinine nüfuz etmekte, bu nedenle bitki boylarını küçümseme eğilimindedir.

Kemp ve Burns (2016) tarafından yapılan çalışmada, tarım arazilerinin izlenmesi için monostatik takip modu ile 10 saniye aralıklarla elde edilen TanDEM-X uydu görüntü çiftlerinin kullanımı incelenmiştir. Çalışmada 7 farklı tarihe ait ve HH polarizasyonuna sahip TanDEM-X (X-bant) uydu görüntü çiftleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 10 saniye aralıklarla elde edilen görüntüler yardımıyla her tarih için ayrı ayrı

interferometrik uyumluluk değerleri hesaplanmıştır. Buna ek olarak, ilk tarihe ait uydu görüntüsü referans alınarak farklı zamansal çözünürlükteki (11 ila 88 gün arasında) interferometrik uyumluluk değerleri de hesaplanmıştır. İnterferometrik uyumluluk görüntülerinin, bitki büyümesindeki değişikliklere karşı hassasiyet gösterdiği tespit edilmiştir. Mısırların büyümesine ve artan biyokütleyle karşılık olarak, mısır tarlalarındaki interferometrik uyumluluk değerlerinde keskin bir düşüş gözlenmiştir. Benzer şekilde, bitki örtüsüz toprağı temsil eden 9 farklı buğday tarlası için tarımsal faaliyetlerin başladığının göstergesi olarak çok tarihli interferometrik uyumluluk değerlerinde keskin düşüşler gözlenmiştir.

Bousbih vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, tarımsal alanlarda farklı toprak özelliklerinin (toprak nemi ve toprak pürüzlülüğü) ve bitki örtüsü parametrelerinin (LAI ve bitki boyu) değerlendirilmesi için Sentinel-1 (C-bant) SAR verilerinin potansiyel kullanımı analiz edilmiştir. Çalışmada ayrıca, NDVI türetmek için Landsat 8 multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Analiz işleminin gerçekleştirildiği çalışma alanında tahıllar, zeytin ağaçları ve küçük meyve-sebze bahçeleri bulunmaktadır. Çalışma kapsamında, uydu görüntülerine eş zamanlı olarak; bitki örtüsüz arazilerde toprak pürüzlülüğü ve toprak su içeriği, bitki örtüsüyle kaplı arazilerde ise bitki boyu ve LAI ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. SAR geri saçılmalarının toprak nemine duyarlılığının artan NDVI ile azaldığı ve VV polarizasyonunun VH polarizasyonuna göre toprak nemine duyarlılığının daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Düşük toprak nemine sahip bitki örtüsüz arazilerde toprak pürüzlülüğü ile geri saçılma değerleri arasında yüksek korelasyon bulunmuş, VV ve VH polarizasyonlarında benzer artışlar tespit edilmiştir. Tahılların bitki boyu ve LAI değerleri arttıkça VV polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinde düşüş, VH polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinde ise artış gözlenmiştir.

Veloso vd. (2017) tarafından yapılan çalışmada, çeşitli işçilik görmüş (toprak işleme, ekim) ve farklı çevresel koşullara sahip (yağış, sıcaklık) tarlalarda SAR geri saçılmalarının ve NDVI değerlerinin zamansal davranışı analiz edilmiştir. Çalışmada çok zamanlı Sentinel-1 (C-bant) SAR uydu görüntüleri ile NDVI türetmek için Sentinel-2 benzeri 4 farklı uyduya ait (SPOT-5 (Take-5), Landsat 8, Deimos-1 ve Formosat-2) multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. SAR geri saçılmalarının ve NDVI değerlerinin zaman serileri analiz edilmiş, yorumlanmış ve zamansal değişimleri incelenmiştir. Çalışma kapsamında arpa, buğday, kanola, mısır, soya fasulyesi ve ayçiçeği tarlalarından oluşan toplam 256 arazide; bitkilerin büyüme aşamaları boyunca her arazide 5'er kez olmak üzere GAI ve biyokütle ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Mısır için VH polarizasyonu ve VH/VV polarizasyon oranı ile NDVI arasında yüksek korelasyon tespit edilmiştir. Arpa ve mısır için NDVI ve VH/VV polarizasyon oranlarının, GAI ve biyokütle ile ilişkili olduğu gözlenmiştir.

Abdikan vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, mısır büyümesinin izlenmesi için Sentinel-1 (C-bant) SAR uydu görüntülerinin potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışma kapsamında, mısırın farklı büyüme aşamalarını (yaprak gelişimi, gövde uzaması, baş verme, çiçeklenme) temsil eden 4 uydu görüntüsü kullanılmış, uydu görüntülerine eş zamanlı olarak arazide bitki boyu ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Her arazide 5 mısır boyu ölçülerek ortalama yükseklik değerleri alınmıştır. Her arazi için ortalama geri saçılma değerleri hesaplanmış ve bitki boyu ile arasındaki korelasyonlar incelenmiştir. Bitki boyu 150 cm'nin altında iken bitki boyu ile VH ve VV polarizasyonları arasında

yüksek korelasyon bulunmuş, mısır boyu 150 cm'nin üzerine çıktıktan sonra ise geri saçılma değerlerinin bitki boyuna duyarlılığı azalmıştır. Çalışmada ayrıca mısır, patates, yonca, buğday ve ayçiçeği bitkilerini birbirlerinden ayırt etmek için nesne tabanlı görüntü sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Sınıflandırma işlemi sonucunda, 4 farklı tarih için de %80'den fazla genel sınıflandırma doğrulukları elde edilmiştir.

Khaliq vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, multispektral uydu görüntülerinden türetilen bitki indeksleri (NDVI, EVI, GDNVI, SR, WI ve GLA) ile mısırın biyofiziksel değişkenleri (bitki boyu ve toprak üstü biyokütle) karşılaştırılmıştır. Bitki indekslerini türetmek için Sentinel-2 multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında, mısırın farklı büyüme aşamalarını temsil eden 4 farklı tarihte 43 araziye gidilmiş ve arazilerin koordinatları GPS yardımıyla belirlenmiştir. Her arazide 4 mısırın bitki boyu metre yardımıyla ölçülmüş ve bu ölçümlerin ortalaması alındıktan sonra toprak üstü biyokütle hesabı yapılmıştır. Uydu görüntülerinden türetilen bitki indeksleri ile arazide ölçülen bitki boyları ve toprak üstü biyokütle değerleri karşılaştırılmış ve mısırın farklı büyüme aşamaları için ayrı ayrı analiz edilmiştir. Bitki indeksleri ile bitki boyu ve toprak üstü biyokütle arasında, mısırın püsküllenme ve çiçeklenme aşamasında diğer aşamalara kıyasla daha yüksek korelasyon bulunmuştur. Ayrıca bitki indeksleri ile bitki boyları arasında, bitki indekslerinin toprak üstü biyokütleyle olan korelasyonundan daha yüksek korelasyon bulunmuştur. Bitki boylarıyla en yüksek korelasyon gösteren bitki indeksleri ise SR ve EVI olarak belirlenmiştir.

Liao vd. (2018) tarafından yapılan çalışmada, C-bant SAR uydu görüntülerinin mısır ve buğdayın bitki boyuna ve FVC'ye duyarlılığı araştırılmıştır. Çalışmada çok zamanlı RADARSAT-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 5 mısır tarlasının 17 farklı noktasında, 4 kış buğdayı tarlasının ise 18 farklı noktasında bitki boyu ve FVC ölçüm işlemleri gerçekleştirilmiştir. Mısırın erken büyüme aşamasında (mısır boyu 150 cm'nin altında iken) bitki boyuyla en yüksek korelasyonu HV polarizasyonu göstermiştir. Mısır boyu 150 cm'yi aştıktan sonraki aşamalarda ise korelasyon değerleri düşmüştür. Mısırın FVC değeri %75'in altında iken FVC ile en yüksek korelasyonu HV/VV polarizasyon oranı göstermiştir. FVC değeri %75'in üstüne çıktıktan sonra ise korelasyon değerleri düşmüştür. Buğday için SAR parametreleri ile bitki boyu ve FVC arasında yüksek korelasyonlar bulunamamıştır.

Ashmitha Nihar vd. (2019) tarafından yapılan çalışma ile pamuk ve mısır yetiştirilen alanların belirlenmesi ve bu iki ürünün ekili olduğu toplam alanların tahmin edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, çok zamanlı C-bant SAR (Sentinel-1) uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bitkilerin farklı büyüme aşamalarında arazilerden referans veri toplama işlemleri gerçekleştirilmiştir. Bu verilerden %60'ı sınıflandırmayı eğitmek, %40'ı ise sınıflandırma doğruluğunu kontrol etmek için kullanılmıştır. Görüntü sınıflandırma işlemi SAM ve DT yöntemleri kullanılarak 2 farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. VV polarizasyonu kullanılarak SAM yöntemiyle elde edilen genel sınıflandırma doğruluğu %73.3, VH polarizasyonu kullanılarak DT yöntemiyle edilen genel sınıflandırma doğruluğu ise %75 olarak belirlenmiştir. Ayrıca, mısır ve pamuk için hem VV polarizasyonunda hem de VH polarizasyonunda bitki büyümesiyle birlikte geri saçılma değerlerinde artışlar gözlenmiştir.

El Hajj vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, C- ve L-bant SAR uydu görüntülerinin; buğday, mısır ve otlakların kanopisine nüfuz etme potansiyeli değerlendirilmiştir. Çalışmada Sentinel-1 (C-bant) ve ALOS-2/PALSAR-2 (L-bant) SAR uydu görüntülerine ek olarak, NDVI türetmek için Sentinel-2 multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Ayrıca arazilerden toprak yüzeyine ilişkin nem örnekleri alınmıştır. L-bantının HH polarizasyonunun, buğday ve otlakların kanopisine nüfuz ettiği ve SAR sinyallerinin toprak nemine duyarlı olduğu tespit edilmiştir. C-bantının VV ve VH polarizasyonlarının, buğday ve otlakların kanopisine NDVI değeri 0.7'den düşükken nüfuz ettiği, NDVI değeri 0.7'nin üzerine çıktığında ise nüfuz edemediği ve toprak nemine duyarsız hâle geldiği belirlenmiştir. Mısır tarlalarının bulunduğu bölge L-bant uydu görüntülerinin kapsadığı alanın dışında kaldığından, mısır tarlaları için yalnızca C-bant SAR uydu görüntüleri değerlendirilmiştir. C-bantının VV polarizasyonunun, mısır en yüksek biyokütleyle ulaştığında dahi ($NDVI > 0.7$) mısır kanopisine nüfuz ettiği ve SAR sinyallerinin toprak nemine duyarlı olduğu belirlenmiştir. C-banttan daha büyük dalga boyuna sahip olduğu için L-bant SAR uydu görüntülerinin de mısır kanopisine nüfuz edeceği öngörülmektedir.

Khabbazan vd. (2019) yaptıkları çalışma ile 5 farklı bitkiyi (şeker pancarı, patates, mısır, buğday ve İngiliz çimi) izlemek için Sentinel-1 uydusunun potansiyelini değerlendirmişlerdir. Sentinel-1 (C-bant) SAR uydu görüntülerinin zaman serilerinden elde edilen VV ve VH polarizasyonları, VH/VV polarizasyon oranı ve interferometrik uyumluluk değerleri, bitkilerin fenolojik aşamaları ve bitki boyları ile karşılaştırılmıştır. Geri saçılma değerlerindeki zamansal değişimlerin, bitkilerin fenolojik gelişimi ile ilişkili nem ve yapısal değişiklikleri yansıttığı tespit edilmiştir. Bitkilerin çimlenme zamanlarının ve kanopi kapalılığının geri saçılma değerlerindeki zamansal değişimler ile tahmin edilebileceği belirtilmiştir. Ayrıca, uyumluluk değerlerindeki ani artışın hasat için yararlı bir gösterge olduğu bildirilmiştir.

Li vd. (2019) yaptıkları çalışma ile mısır ekili alanları belirlemeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda, çok zamanlı Sentinel-1 (C-bant) SAR uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışmada hem tek polarizasyon hem ikili (çift) polarizasyon hem de çoklu polarizasyon (VV ve VH polarizasyonlarına, VV-VH polarizasyon farkının ve VV/VH polarizasyon oranının dâhil edilmesi) kullanılarak SVM yöntemi ile sınıflandırma işlemi gerçekleştirilmiştir. Aynı zamanda tek bir tarihe ait uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen sınıflandırma doğrulukları ile çok zamanlı uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen sınıflandırma doğrulukları da karşılaştırılmıştır. İkili (çift) polarizasyon kullanılarak elde edilen sınıflandırma doğrulukları, tek polarizasyon kullanılarak elde edilen sınıflandırma doğruluklarından daha yüksek bulunmuştur. Çok zamanlı uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen sınıflandırma doğrulukları da tek bir tarihe ait uydu görüntüsü kullanılarak yapılan sınıflandırma doğruluklarından daha yüksek bulunmuştur. Çok zamanlı ve çok polarizasyonlu uydu görüntüleri kullanılarak yapılan sınıflandırma işlemi sonucunda, genel sınıflandırma doğruluğu %93.57 olarak belirlenmiştir.

Nasirzadehdizaji vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, C-bant SAR uydu görüntülerinin mısır, ayçiçeği ve buğdayın bitki boyuna ve kanopi kapalılığına duyarlılığı araştırılmıştır. Çalışmada çok zamanlı Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 19 mısır, 6 ayçiçeği ve 11 buğday tarlası olmak üzere toplam 36 araziden bitkilerin büyüme aşamalarına (bitki boyu ve kanopi kapalılık durumu) ve

toprak durumuna (toprak nemi ve sulama durumu) ilişkin veriler, uydu görüntülerine eş zamanlı olarak toplanmıştır. Mısırın erken büyüme aşamasında her iki polarizasyonun da bitki boyuna duyarlı olduğu belirlenmiş, bitki boyuyla en yüksek korelasyon VV+VH polarizasyon toplamında gözlenmiştir. Mısır boyu 150 cm'nin üzerine çıktıktan sonra ise korelasyon değerleri düşmüştür. Mısırın kanopi kapalılık değeri %75'in altında iken kanopi kapalılığı ile en yüksek korelasyonu VV polarizasyonu ve VV+VH polarizasyon toplamı göstermiştir. Kanopi kapalılık değeri %75'in üzerine çıktıktan sonra ise korelasyon değerleri düşmüştür.

Verma vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, SAR (Sentinel-1) ve multispektral (Sentinel-2) uydu görüntüleri birlikte kullanılarak pirinç, mısır ve pamuk darının farklı büyüme aşamalarındaki SAR geri saçılma değerleri ve spektral yansıma değerleri incelenmiştir. Bitkilerin farklı büyüme aşamalarındaki SAR geri saçılma değerlerinde ve spektral yansıma değerlerinde bazı farklılıklar tespit edilmiştir. Bu farklılıklar kullanılarak bir girdi katmanı oluşturulmuş, oluşturulan bu girdi katmanı pirinç, mısır ve pamuk darının doğru bir şekilde sınıflandırılması için kullanılmıştır. Görüntü sınıflandırma işlemi RF yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiş ve genel sınıflandırma doğruluğu %83.87 olarak belirlenmiştir.

Alvino vd. (2020) yaptıkları çalışma ile mısırın bitki örtüsünde meydana gelen değişikliklere duyarlı bitki indeksini/indekslerini seçmeyi amaçlamışlardır. Bu amaç doğrultusunda, bitki indekslerini (NDVI, EVI, SAVI, GNDVI, SR, NDWI ve Nem Stres İndeksi) üretmek için Landsat 8 OLI multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 5 mısır tarlası gözlenmiştir. Nem Stres İndeksi hariç diğer tüm indekslerin birbirleri arasında pozitif korelasyon tespit edilmiştir. Nem Stres İndeksi ile diğer indeksler arasında negatif korelasyon gözlenmesine rağmen korelasyon değerleri oldukça yüksek bulunmuştur. Biyokütlenin iyi birer göstergesi olan indeksler arasından (NDVI, GNDVI, SAVI, EVI) bitki gelişimi aşamasında en iyi sonuçları NDVI, EVI ve SAVI göstermiştir; mısırın üreme aşamasında mısır biyokütlesi ile en yüksek korelasyonu EVI göstermiş, mısırın püsküllenme ve tane dolumu aşamasında mısır biyokütlesi ile en yüksek korelasyonu SR göstermiş, yüksek biyokütleyle en az korelasyon gösteren indeks ise NDVI olarak belirlenmiştir. Kanopi su içeriğine karşılık gelen indeksler (NDWI ve Nem Stres İndeksi) mısırın yaprak su içeriğine duyarlı bulunmuş, ürün döngüsünün sonlarında ise yaprak su içeriğindeki değişikliklere en duyarlı indeks NDWI olarak belirlenmiştir.

Bai vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, madencilik nedeniyle yüzey deformasyonu olan 5 farklı sahada interferometrik uyumluluk ile NDVI arasındaki ilişki analiz edilmiştir. Çalışmada DInSAR tekniği uygulanmıştır. Çalışma kapsamında 21 farklı tarihe ait Sentinel-1 (C-bant) uydu görüntüleri kullanılarak 20 diferansiyel interferogram üretilmiş ve interferometrik uyumluluk değerleri incelenmiştir. Bulutsuz hava koşullarında elde edilen 7 farklı tarihe ait Landsat 8 multispektral uydu görüntülerinden NDVI üretilmiştir. NDVI ile interferometrik uyumluluk arasında negatif korelasyon bulunmuştur. Bitki örtüsünün az olduğu tarihlerde NDVI değerlerinin düşük olduğu, interferometrik uyumluluk değerlerinin ise yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Holtgrave vd. (2020) tarafından yapılan çalışmada, SAR (Sentinel-1) ve multispektral (Sentinel-2) uydu görüntülerinden türetilen indekslerin tarım alanlarındaki korelasyonları incelenmiştir. Çalışmada kış buğdayı, baharlık arpa, mısır ve otlakla kaplı

22 arazi gözlenmiştir. Sentinel-2 uydu görüntülerinden NDVI, NDWI ve PSRI türetilmiştir. Sentinel-1 (C-bant) uydu görüntülerinden ise RVI türetilmiş, VH/VV polarizasyon oranı hesaplanmış ve VH ile VV polarizasyonları ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Multispektral ve SAR uydu görüntülerinden türetilen indeksler arasında korelasyon bulunamamış, ancak veriler arazi kullanım türlerine ve fenofazlara göre bölündüğünde korelasyonlarda önemli artışlar tespit edilmiştir: en yüksek korelasyon ise mısırdaki gözlenmiştir. Multispektral uydu görüntülerinden türetilen indekslerle genel olarak en iyi korelasyonu gösteren, aynı zamanda sinyal geliş açısından ve ekim (sıra) yönünden en az etkilenen SAR indeksleri RVI ve VH polarizasyonu olmuştur.

Nasirzadehdizaji vd. (2021) yaptıkları çalışmada, 3 farklı bitki (mısır, ayçiçeği ve buğday) büyümesinin izlenmesi için SAR geri saçılması ile InSAR uyumluluk değerlerinin birlikte kullanımını araştırmışlardır. Çalışmada yükselen ve alçalan yörünge yönündeki 4 farklı yörüngeden elde edilen ve çalışma alanını kapsayan tüm Sentinel-1 (C-bant) SAR uydu görüntüleri kullanılmıştır. Çalışma kapsamında 9 mısır, 6 ayçiçeği ve 5 buğday tarlası olmak üzere toplam 20 araziye 4 farklı tarihte gidilerek; toprak özelliklerine, toprak nemine ve sulama durumuna, ekim zamanlarına, bitki büyüme aşamalarına, bitki parametrelerine (bitki boyu, bitki örtüsü ve ekim yönü) ve hasat zamanlarına ilişkin bilgiler toplanmıştır. Bitkilerin farklı fenolojik aşamaları (ekim, büyüme ve hasat) ile InSAR uyumluluk değerleri arasında güçlü bir korelasyon olduğu tespit edilmiştir. Özellikle ekim öncesi uyumluluk değerlerinin yüksek olduğu, bitkilerin büyümeye başlamasıyla uyumluluk değerlerinin azaldığı ve yetiştirme periyodu boyunca düşük kaldığı, bitkilerin hasat edilmesinin ve bitki kalıntılarının temizlenmesinin ardından ise uyumluluk değerlerinin tekrar arttığı gözlenmiştir. Ekimden sonra geri saçılma değerlerinde belirgin bir azalma olduğu, bitkinin yaprak gelişimi ile geri saçılma değerlerinin arttığı, bitkilerin olgunlaşması ile geri saçılma değerlerinin düşmeye başladığı, hasattan sonra ise geri saçılma değerlerinin en düşük değerlere düştüğü gözlenmiştir. VH polarizasyonu ile karşılaştırıldığında, VV polarizasyonundan daha yüksek uyumluluk ve geri saçılma değerleri elde edilmiştir. Yükselen yörünge yönü ile karşılaştırıldığında ise alçalan yörünge yönünden elde edilen değerlerin daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Ayrıca uyumluluk ve geri saçılma değerlerinin birlikte kullanılmasıyla, bitkilerin büyüme durumlarının izlenmesi ve farklı fenolojik aşamalarının tahmin edilebilmesi için eşik değerlerinin tanımlanabileceğine yönelik bir yöntem de önerilmiştir.

İncelenen çalışmalar içerisinde, özellikle mısır büyümesinin izlenmesini konu alan çalışmalar ise şu şekilde özetlenebilir:

Moran vd. (2012), Tunca (2015), Zhang vd. (2015), Veloso vd. (2017), Ameline vd. (2018), Eminoğlu (2019), Holtgrave vd. (2020), Venancio vd. (2020) ve Ajadi vd. (2021), bitkiler geliştikçe NDVI değerlerinin arttığını bildirmişlerdir. Chen vd. (2006), Moran vd. (2012), Tunca (2015), Ameline vd. (2018), Holtgrave vd. (2020), Venancio vd. (2020) ve Ajadi vd. (2021), bitkiler belirli büyüme aşamalarına geldiklerinde NDVI değerlerinin doyumluğa ulaştığını bildirmişlerdir. Tunca (2015) ve Veloso vd. (2017), bitkiler hasat edildikten sonra NDVI değerlerinde sert bir düşüş gözlemlendiğini bildirmişlerdir.

Liu vd. (2013), LAI değerlerinin bitkiler çimlenmeye başladıktan sonra düşük seyrettiğini bildirmişlerdir. Liu vd. (2013), Zhang vd. (2015) ve Bahrami vd. (2021), bitkiler geliştikçe LAI değerlerinin arttığını bildirmişlerdir.

Polarizasyonların bitki büyümesine duyarlılığı:

Gao vd. (2013), çapraz polarizasyonların daha güçlü nüfuz etme kabiliyetine sahip olduğunu bildirmişlerdir. Chen vd. (2021) ise güçlü nüfuz etme kabiliyeti nedeniyle VV polarizasyonunun ürün bilgilerini daha iyi algılayabileceğini bildirmişlerdir.

Gao vd. (2013), çapraz polarizasyonların daha çok bitki örtüsünden hacim saçılmasıyla; benzer polarizasyonların ise çift sekme saçılmasıyla ve mısır bitkilerinin gövdesinden veya topraktan yüzey saçılmasıyla ilişkili olduğunu bildirmişlerdir.

McNairn vd. (2000), McNairn ve Brisco (2004) ve Soria-Ruiz vd. (2007), HV ve VH polarizasyonlarının kanopi yapısına duyarlı olduğunu bildirmişlerdir. Ajadi vd. (2020) de VH polarizasyonunun kanopi yapısına VV polarizasyonundan daha duyarlı olduğunu bildirmişlerdir. Hosseini vd. (2020), VV polarizasyonuna kıyasla VH polarizasyonunun, özellikle mısır ekin yapısındaki değişikliklere daha duyarlı olduğunu bildirmişlerdir. Sun vd. (2020) de bitki örtüsündeki değişikliklere karşı VH polarizasyonunun daha duyarlı olduğunu bildirmişlerdir.

Zhang vd. (2010), C-bandında HV polarizasyonundaki geri saçılma katsayısına ve özellikle büyük geliş açılarında VV polarizasyonundaki geri saçılma katsayısına mısırdan doğrudan geri saçılmanın hâkim olduğunu bildirmişlerdir.

Kanopi geliştikçe, çoklu saçılma artar (Hosseini vd. 2019). Mashaba-Munghemezulu vd. (2021), VH polarizasyonunun mısırın büyüme aşamalarına daha iyi yanıt verdiğini bildirmişlerdir. Bu hassasiyetin, çoklu saçılmaları artıran mısırın hacimsel yapısındaki artıştan kaynaklandığını belirtmişlerdir.

Geri saçılma değerlerinin bitki büyümesine duyarlılığı:

SAR geri saçılmaları dinamiktir (Verma vd. 2019). Yani ekimden hasada doğru bitki yapısı geliştikçe geri saçılma değerleri de değişir (Hosseini vd. 2019; Verma vd. 2019). Genel olarak, mısır gibi geniş yapraklı bitkiler için bitki büyüdükçe geri saçılma değerleri artar (Soria-Ruiz vd. 2009; Verma vd. 2019; Alonso-González vd. 2020).

Paloscia (1998), LAI arttıkça geniş yapraklı bitkilerin C-bandındaki geri saçılma değerlerinin arttığını bildirmiştir. Macelloni vd. (2001) de mısır biyokütlesi ve LAI arttıkça geri saçılma değerlerinin arttığını bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Jiao vd. (2010) de LAI arttıkça geri saçılma değerlerinin arttığını bildirmişlerdir. Sonobe vd. (2017), mısır boyları arttıkça ve bitkiler büyüdükçe geri saçılma değerlerinin arttığını bildirmişlerdir. Venkatesan vd. (2019) de bitki büyüdükçe geri saçılma değerlerinin arttığını bildirmişlerdir.

Kumaraperumal vd. (2017), bitki büyüdükçe geri saçılma değerlerinin arttığını; ekim öncesi ve ekim sonrası bitki örtüsüz topraktan elde edilen VV ve VH polarizasyonlarındaki ortalama geri saçılma değerlerinin, daha sonraki aşamalara kıyasla daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Steele-Dunne vd. (2018), bitki büyüdükçe VH polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinin arttığını bildirmişlerdir. Ashmitha Nihar vd. (2019), mısır büyüdükçe hem VV hem de VH polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinin arttığını gözlemlemişlerdir. Li vd. (2019), mısır büyüdükçe geri saçılma katsayılarının kademeli olarak arttığını bildirmişlerdir. Xu vd. (2019), bitkiler büyüdükçe VH polarizasyonundaki geri saçılma katsayılarının arttığını bildirmişlerdir. Bahrami vd. (2021) de mısır büyüdükçe VV, HH ve HV polarizasyonlarındaki geri saçılma katsayılarının arttığını bildirmişlerdir.

C-bant radar sinyalinin daha büyük biyokütleye sahip bitkiler tarafından yayıflatıldığı bilinmektedir (Soria-Ruiz vd. 2007). Bu nedenle, geri saçılma değerleri yüksek LAI veya biyokütleye doygunluğa ulaşabilir. Bu, ürünün bitki maddesini biriktirmeye devam ederken, radar geri saçılmalarının artık bu artışlara yanıt vermediği anlamına gelir (Steele-Dunne vd. 2017). Dolayısıyla bitki biyokütlesindeki ve geometrisindeki küçük değişiklikler nedeniyle, geri saçılma değerlerinde hiç değişiklik gözlenmez veya çok az değişiklik görülür (Verma vd. 2019).

Wiseman vd. (2014), yaprak alanı arttıkça ve kanopi kapandıkça geri saçılma değerlerinin arttığını, ancak biyokütle birikimi arttıkça geri saçılma değerlerindeki artış oranının düştüğünü bildirmişlerdir. Mascolo vd. (2016) de mısır büyüdükçe geri saçılma değerlerinin arttığını ve daha sonra geri saçılma değerlerinin doygunluğa ulaştığını bildirmişlerdir.

Ferrazzoli vd. (1992), LAI arttıkça HH ve VV polarizasyonlarındaki geri saçılma değerlerinin arttığını, LAI 2 veya 3 değerine ulaştığında ise geri saçılma değerlerinin doygunluğa ulaştığını ve daha fazla bitki büyümesinin geri saçılma üzerinde hiç etkisinin olmadığını veya çok az etkisinin olduğunu bildirmişlerdir. Moran vd. (2012), bitki örtüsüz topraklarda veya seyrek bitki örtüsünün mevcut olduğu durumlarda geri saçılma değerlerinin en düşük seviyede olduğunu, daha sonra bitki büyüdükçe geri saçılma değerlerinin arttığını ve doygunluğa (platoya) ulaştığını bildirmişlerdir. Liu vd. (2013) de bitki büyüdükçe ve LAI arttıkça HV ve HH-VV değerlerinin arttığını, daha sonra doygunluğa ulaşarak çok az değişim gösterdiğini bildirmişlerdir. Hosseini vd. (2020) de bitki büyüdükçe VV ve VH polarizasyonlarındaki geri saçılma değerlerinin arttığını, daha sonra doygunluğa ulaşarak sabit kaldığını bildirmişlerdir.

Ameline vd. (2018), mısır büyüdükçe VH/VV değerinin arttığını ve daha sonra doygunluğa ulaştığını bildirmişlerdir. Khabbazan vd. (2019), bitki büyüdükçe VV, VH ve VH/VV değerlerinin arttığını; mısır maksimum bitki boyuna ulaştıkça VV ve VH değerlerinin doygunluğa ulaştığını bildirmişlerdir. Pandžić vd. (2020) de bitki büyüdükçe VV, VH ve VH/VV değerlerinin arttığını, daha sonra ise bu değerlerin doygunluğa ulaşarak sabit kaldığını bildirmişlerdir.

Vreugdenhil vd. (2018), VH/VV değerinin mısır ekiminden 3-4 hafta sonra hızla artmaya başladığını ve olgunlaşma aşamasına kadar artmaya devam ettiğini, bu nedenle VH/VV polarizasyon oranının, bitki tamamen büyüdüğünde bitki su içeriğindeki küçük değişiklikleri yansıttığını bildirmişlerdir. Aynı zamanda artan bitki su içeriği ve LAI ile

birlikte bitki örtüsünün de kapanmasıyla VH geri saçılmalarının da arttığını bildirmişlerdir.

Arias vd. (2020), mısırların çimlenmesinden itibaren VH polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinde artış gözlemlemişler ve sonrasında net bir eğilim gözlemlememişlerdir. VV polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinin ise yetiştirme periyodu boyunca net bir eğilim göstermediğini bildirmişlerdir. Ayrıca, VH/VV polarizasyon oranının mısırın büyümesini yansıttığını ve farklı bölgelerdeki mısır tarlalarının benzer VH/VV değerleri verdiğini bildirmişlerdir.

Holtgrave vd. (2020), VH/VV değerinin büyüme aşamasında arttığını ve daha sonra sert bir şekilde düştüğünü bildirmişlerdir. VH polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinin ise NDVI değerlerine benzer bir eğilim gösterdiğini ve sert bir düşüş göstermediğini belirtmişlerdir. VV polarizasyonunun ise optik indekslerle hiçbir benzerlik göstermediğini tespit etmişlerdir. VV polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinin, artan bitki boyu ile VH polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinden daha fazla düşüş gösterdiğini, bu nedenle VV polarizasyonunun mısırın ekim alanı değişikliklerine daha az duyarlı olduğunu bildirmişlerdir.

Nasirzadehdizaji vd. (2021), mısır büyüdükçe geri saçılma değerlerinin arttığını, daha sonra ise sabit kaldığını bildirmişlerdir. Ayrıca, VV polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinin VH polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinden daha yüksek olduğunu gözlemlemişlerdir. Ancak, VH polarizasyonunun ürün durumundaki değişikliklere duyarlılığının daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

McNairn vd. (2002) ise geri saçılma değerlerinin mısır büyümesindeki değişikliklere duyarsız olduğunu bildirmişlerdir.

Geri saçılma değerlerinin bitki boyuna duyarlılığı:

McNairn vd. (2000), C-bant HH polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinin erken büyüme aşamalarında mısır boyundaki değişikliklere duyarlı olduğunu, ancak mısır boyu yaklaşık 1 m'yi aştığında geri saçılma değerlerinin doygunluğa ulaşması nedeniyle mısır boyundaki değişikliklere duyarsız hâle geldiğini bildirmişlerdir.

Veloso vd. (2017), bitki büyüdükçe VH ve VH/VV polarizasyon oranındaki geri saçılma değerlerinin arttığını, hatta VH polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinin bitki boyu 2.5 m'ye ulaşınca kadar artmaya devam ettiğini bildirmişlerdir.

Liao vd. (2018), mısır boyu 150 cm'ye ulaşınca kadar RADARSAT-2 uydu görüntülerinden elde edilen SAR parametrelerinin (özellikle HV, HH-VV ve HV/VV) mısır boyuna duyarlı olduğunu; mısır boyu 150 cm'yi aştıktan sonra ise çoğu SAR parametresinin mısır boyuna duyarlılığının kaybolduğunu bildirmişlerdir. HV polarizasyonunun erken büyüme aşamalarında mısır boyuna önemli ölçüde duyarlı olduğunu bildiren Liao vd. (2018); HV polarizasyonunun esas olarak erken büyüme aşamalarındaki hacim saçılmasını temsil ettiğini, ancak mısır boyu ve bitki yoğunluğu arttıkça sinyallerin nüfuz etme kabiliyetinin azalması ve sinyallerin zayıflatılması nedeniyle HV polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinin azaldığını bildirmişlerdir. Liao vd. (2018) ayrıca, C-bant VV polarizasyonunun geniş yapraklı bitkileri izlemek için etkili bir parametre olmadığını öne sürmüşlerdir.

Abdikan vd. (2018), mısır boyu 150 cm'ye ulaşınca kadar Sentinel-1 uydu görüntülerinden elde edilen SAR geri saçılmaları ile mısır boyu arasında yüksek bir korelasyon tespit etmişlerdir. Mısır boyu 150 cm'yi aştıktan sonra ise SAR geri saçılmalarının mısır boyuna duyarlılığının azaldığını gözlemlemişlerdir. VH ve VV polarizasyonlarının, erken büyüme aşamalarındaki hacim saçılmasını sonraki aşamalardan daha iyi temsil ettiğini, mısır boyu ve bitki yoğunluğu arttıkça sinyallerin nüfuz etme kabiliyetinin azalması ve sinyallerin zayıflatılması nedeniyle geri saçılma değerlerinin azaldığını bildirmişlerdir.

Nasirzadehdizaji vd. (2019), erken büyüme aşamasında mısır boyu ile RADARSAT-2 uydu görüntülerinden elde edilen SAR parametreleri (VV+VH ve VV) arasında yüksek bir korelasyon tespit etmişlerdir. Kanopi kapalılığı arttıkça, VV polarizasyonunun duyarlılığının azaldığını bildirmişlerdir.

Yağışın ve toprak neminin geri saçılma değerlerine etkisi:

SAR sinyali bulutların varlığından etkilenmez, ancak yağmura ve bitki örtüsü üzerindeki su damllarına karşı hassastır (Beriaux vd. 2021). Bu nedenle, görüntü elde etme periyodundaki yağış, yanıltıcı geri saçılma değerlerine neden olabilir (Ashmitha Nihar vd. 2019). Ayrıca, toprak nemi de SAR geri saçılmasını etkiler (Hosseini vd. 2019). Macelloni vd. (2001), iyi gelişmiş bitkiler için bile toprak katkısının göz ardı edilmemesi gerektiğini bildirmişlerdir. Veloso vd. (2017) ise, mısır iyi geliştiğinde toprak etkisinin çok az olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde Sun vd. (2020), C-bandının bitki örtüsünden toprağa nüfuz edemeyeceğini ve Sentinel-1 SAR uydusundan elde edilen verilerin bitki örtüsüne hassas olduğunu bildirmişlerdir.

Pandžić vd. (2020), bitki örtüsüz toprak olması durumunda VV ve VH polarizasyonlarının yağıştan eşit derecede etkilendiğini; bitki örtüsü mevcut olduğunda VH polarizasyonunun bitki örtüsüne duyarlı olduğunu, VV polarizasyonunun ise toprak etkisine büyük ölçüde duyarlı olduğunu bildirmişlerdir. Diğer yazarlar da VV polarizasyonunun topraktan daha fazla etkilendiğini (Holtgrave vd. 2020) ve VV polarizasyonunun toprak nemine daha duyarlı olduğunu (Kumar vd. 2019; Hosseini vd. 2020) bildirmişlerdir. Vreugdenhil vd. (2018) ile Ghazaryan vd. (2020), VV polarizasyonunun toprak nemine duyarlılığını mısırın geniş sıra aralıklarına atfetmişlerdir. Bu yazarlar; mısırın geniş sıra aralıkları nedeniyle, sinyaller bitki örtüsü tarafından güçlü bir şekilde zayıflatılınca kadar toprak nemindeki değişikliklerin gözlemlenebilmesi için hâlâ yeterli bitki örtüsüz toprağın mevcut olduğunu bildirmişlerdir.

Ulaby vd. (1975) bir bitki fizyoloğuna danışarak; şiddetli yağışın, bitki yapraklarının aşağı doğru bükülmesine (sarkmasına) neden olabileceği bilgisini almışlar ve böylece bitki yapısının değişerek saçılma mekanizmalarının değişebileceği bilgisine ulaşmışlardır. Bu nedenle, toprak nemi azalmasına rağmen yağış sonrası elde edilen görüntülerde geri saçılma değerlerinin arttığını bildirmişlerdir.

Selvaraj vd. (2019), yağış ve toprak neminin geri saçılma değerlerini etkilediğini belirterek; yağışın geri saçılma değerlerinde düşüşe yol açtığını, bunun da yer gerçeği verileriyle doğrulandığını bildirmişlerdir. Öte yandan Pandžić vd. (2020) ise, yağış nedeniyle geri saçılma değerlerinde artış olduğunu bildirmişlerdir.

Jiao vd. (2011), bitki geliştikçe toprak neminin etkisinin azaldığını ve LAI 1'i aştıktan sonra toprak neminin katkılarının minimum hâle geldiğini bildirmişlerdir. Moran vd. (2012), bitkinin yaprak yoğunluğu düşük olduğunda ve dik bir geliş açısında, özellikle HV polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinin yağış ve sulama olaylarına duyarlı olduğunu bildirmişlerdir.

Joseph vd. (2010), mısır kanopisi en yüksek biyokütleyken, büyük geliş açılarında bile geri saçılma değerlerinin toprak nemine duyarlı olduğunu bildirmişlerdir. Bu duyarlılığı ise toprak-bitki örtüsü yolu boyunca meydana gelen saçılmaya atfetmişlerdir. Gao vd. (2013) de SAR geri saçılmasının yağıştan büyük ölçüde etkilendiğini bildirmişlerdir. Ancak SAR sinyalinin; bitkinin erken büyüme aşamalarında toprak neminden etkilendiğini, yoğun bitki örtüsü kapallılığı (LAI = 2.2, ortalama bitki boyu = 1.2 m) nedeniyle ise bu etkinin zayıfladığını bildirmişlerdir.

El Hajj vd. (2019) yaptıkları çalışmada, yağmurun ardından toprak nemi arttığı için C-bant VV polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinin arttığını, yağmurun olmadığı günlerde toprak nemi azaldığı için geri saçılma değerlerinin azaldığını gözlemlemişlerdir. Bu nedenle, erken büyüme aşamasında C-bant VV polarizasyonuna topraktan saçılmanın hâkim olduğunu ve VV polarizasyonunun toprak nemindeki değişikliklere duyarlı olduğunu bildirmişlerdir. NDVI değeri yaklaşık 0.85 iken bile yağış sonrası artan toprak nemi ile geri saçılmanın arttığını; yağışsız zaman aralığında toprak nemindeki azalma ile geri saçılmanın da azaldığını bildirmişlerdir. Sonuç olarak, C-bant VV polarizasyonunun, mısır en yüksek biyokütleye (NDVI > 0.7) olduğunda bile; geri saçılan sinyalin her zaman toprak nemine duyarlı olduğunu ve mısır kanopisine nüfuz ettiğini tespit etmişlerdir. Bunun nedeninin, toprak neminin katkılarını içeren toprak-bitki örtüsü yolu boyunca önemli bir saçılma olduğunu belirtmişlerdir.

Blaes vd. (2006) tarafından, C-bandı SAR sinyalinin LAI 4.6'ya ulaşıncaya kadar bitki büyümesine duyarlı olduğu bulunmuştur. Ancak LAI 2.7'den küçükken, seyrek bitki örtüsüne sahip tarlalarda toprak nemi sinyali etkilemiştir. Bu nedenle, VV/VH polarizasyon oranını kullanmanın mısır büyümesine duyarlı olduğunu, topraktaki nem değişikliklerine ise daha az duyarlı olduğunu bildirmişlerdir. Veloso vd. (2017), VH/VV polarizasyon oranının çift sekme saçılması etkisini azaltabileceğini ve toprak nemindeki değişikliklere karşı VH ve VV polarizasyonlarından daha kararlı bir gösterge olabileceğini bildirmişlerdir. Arias vd. (2018) yaptıkları çalışmada, VH ve VV polarizasyonlarının fenolojik değişikliklere ve toprak yüzeyindeki değişikliklere (nem ve pürüzlülük) karşı duyarlı olduğunu, VH/VV polarizasyon oranının ise bitki büyümesine duyarlı olduğunu ve yalnızca bitki biyokütlesinin gelişiminden etkilendiğini bildirmişlerdir. Khabbazan vd. (2019) de yağışın VH ve VV geri saçılma değerlerinde ani artışa yol açtığını, VH/VV polarizasyon oranında ise çok az etkiye sahip olduğunu veya hiç etkisinin olmadığını tespit etmişlerdir. Bu nedenle VV ve VH polarizasyonlarına kıyasla, VH/VV polarizasyon oranının toprak nemi değişikliklerine daha az duyarlı olduğunu bildirmişlerdir. Benzer şekilde, Holtgrave vd. (2020) de yağış olayları nedeniyle toprak nemindeki değişikliklerin VH/VV polarizasyon oranını daha az etkilediğini bildirmişlerdir. Aynı şekilde, Pandžić vd. (2020) de VH/VV polarizasyon oranının yağış olaylarından çok az etkilendiğini veya hiç etkilenmediğini bildirmişlerdir.

Toprak pürüzlülüğünün, radarın bakış yönüne göre ekim (sıra) yönünün ve geliş açısının geri saçılma değerlerine etkisi:

Paloscia (1998), seyrek bitki örtüsünün altındaki toprak pürüzlülüğünün, C-bandındaki geri saçılmayı güçlü bir şekilde etkilediğini bildirmiştir.

Ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra oluşan sıra araları sıg ise; yüzey, ekim (sıra) yönüne bakılmaksızın radar görüntüsünde pürüzsüz görünme eğilimindedir. Ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra oluşan sıra araları derinse; radarın bakış yönüne göre ekim (sıra) yönü önemli hâle gelir. Ekim (sıra) yönü radarın bakış yönüne paralel ise; yüzey, radar görüntüsünde pürüzsüz görünme eğilimindedir. Ekim (sıra) yönü radarın bakış yönüne dik ise; yüzey çok pürüzlü hâle gelir ve geri saçılmanın çok yüksek olmasına, dolayısıyla radar görüntüsünde o alanın çok parlak olmasına neden olur (Formaggio vd. 2001) (Şekil 2.7).

Formaggio vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada, radarın bakış yönüne dik derin sıra aralarının olduğu bitki örtüsüz toprakların, çift sekme saçılması nedeniyle yüksek geri saçılmaya neden olduğu belirlenmiştir. Mascolo vd. (2016) de radarın bakış yönüne göre ekim (sıra) yönünün, HH ve VV polarizasyonlarındaki geri saçılma değerlerinde ani artışa yol açtığını bildirmişlerdir. Veloso vd. (2017) ise, ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra VV, VH ve VH/VV değerlerinde düşüş gözlemlenmiştir.

Paris (1983), 5° ila 25° arasındaki geliş açılarında, benzer polarizasyonlardaki geri saçılma değerlerinin sıra yönünden önemli ölçüde etkilendiğini; ancak 25°'den büyük geliş açılarında, çapraz polarizasyondaki geri saçılma değerlerinin sıra yönünden etkilendiğini bildirmişlerdir.

Ban ve Howarth (1998) tarafından, geliş açısındaki küçük değişikliklerin geri saçılma değerleri üzerinde güçlü etkilere sahip olabileceği bildirilmiştir. Bu yazarlar, yakın yörüngelerden elde edilen ve geliş açıları arasında 4°'lik bir farkın olduğu (birisi 21.5°, diğeri 25.5°) ERS-1 verilerini kullanarak, mısır tarlalarındaki geri saçılma katsayılarında yaklaşık 3 dB'lik ortalama fark bulmuşlardır.

Jiao vd. (2011), özellikle büyük biyokütleyle sahip bitkiler için daha büyük geliş açılarının bitki kanopisine daha az nüfuz sağladığını bildirmişlerdir. Liu vd. (2013), daha büyük geliş açısında geri saçılma değerlerinin daha düşük olduğunu bildirmişlerdir. Arias vd. (2020) ise, üç farklı yörüngeden elde ettikleri geri saçılma değerlerinin birbirine benzer olduğunu bildirmişlerdir.

Moran vd. (2012), ürün ve toprak durumunun sinyal üzerindeki etkilerine kıyasla, bakış yönünün ve geliş açısının sinyal üzerindeki etkilerinin minimum düzeyde olduğunu bildirmişlerdir. Beriaux vd. (2021) ise, yerel geliş açısı farklı olduğu için ve SAR sinyali ile sıra yönü arasındaki görece azimut açısı da farklı olduğu için radarın bakış yönünün, parsel düzeyinde sinyal üzerinde etkili olduğunu bildirmişlerdir.

Hasat işleminin ve bitki kalıntılarının geri saçılma değerlerine etkisi:

Ürün hasadı, bitkinin çoğunun uzaklaştırılmasına bağlı olarak geri saçılma değerlerinde güçlü bir azalma ile ilişkilidir. Ürün hasat edildikten sonra, farklı polarizasyonlarda saçılma bileşenlerinin artışı temsil eden ek bir artış da görülebilir. Bazı durumlarda, bitkinin alt kısmı hasattan sonra tarlada bırakılır ve bu da geri saçılmanın bu artışına katkıda bulunur (Alonso-González vd. 2020). Anız, kalan örtüye bağlı olarak olgun ürünlere kıyasla potansiyel olarak benzer bir geri saçılma değerleriyle sonuçlanır (Meroni vd. 2021). Veloso vd. (2017), tarlada kalan ve zamanla kuruyan yeşil kalıntıların veya yabancı otların mevcudiyeti nedeniyle, bitkiler hasat edildikten sonra VH/VV değerlerinin kademeli olarak azaldığını bildirmişlerdir.

Moran vd. (2012), geri saçılma değerlerinin hasat ile birlikte aniden azaldığını bildirmişlerdir. Ameline vd. (2018), hasat ile birlikte VH/VV değerlerinin azaldığını bildirmişlerdir. Vreugdenhil vd. (2018), mısır hasat edildikten sonra geri saçılma değerleri ile VH/VV değerlerinin düştüğünü bildirmişlerdir. Khabbazan vd. (2019), mısır hasat edildikten sonra geri saçılma değerlerinde ani düşüşler gözlemlemişlerdir. Xu vd. (2019), VH polarizasyonundaki geri saçılma değerlerinin hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra keskin bir şekilde azaldığını bildirmişlerdir. Nasirzadehdizaji vd. (2021) de hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra geri saçılma değerlerinin azaldığını bildirmişlerdir.

Khabbazan vd. (2019) tarafından yapılan çalışmada, hasat dönemi boyunca meydana gelen yağışlar toprak nemini artırmıştır. Nemli topraktan gelen yüksek geri saçılma değerleri nedeniyle ise geri saçılma değerlerinde beklenen azalma görülmemiştir. Pandžić vd. (2020) de VH/VV polarizasyon oranı ile hasat tarihini açıklamanın zor olduğunu bildirmişlerdir.

McNairn vd. (2001) tarafından yapılan çalışmada, mısır kalıntıları için benzer polarize geri saçılmanın sıra yönü etkilerine duyarlı olduğu, çapraz polarize geri saçılmanın ise sıra yönü etkilerine duyarlı olmadığı bildirilmiştir.

İnterferometrik uyumluluk değerlerinin bitki büyümesine ve hasat işlemine duyarlılığı:

Wegmüller ve Werner (1997), bitki büyüdükçe interferometrik uyumluluk değerlerinin azaldığını, hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra ise bitki örtüsüz toprağın veya anız tarlasının yüksek interferometrik uyumluluk değerleri nedeniyle hasat tarihini belirlemenin mümkün olduğunu bildirmişlerdir.

Blaes ve Defourny (2003), bitki boyları 10 cm'den küçükken interferometrik uyumluluk değerlerinin 0.7 ila 0.8 arasında yüksek seyrettiğini, mısır büyüdükçe interferometrik uyumluluk değerlerinin düştüğünü bildirmişlerdir. Bu düşük değerlerin, bitki örtüsünden gelen uyumsuz saçılmanın toprak saçılmasına göre geri saçılan sinyale daha fazla katkıda bulunmasından kaynaklandığını bildirmişlerdir. Ayrıca, interferometrik uyumluluk değerlerinin geri saçılma katsayısına göre toprak nemine daha az duyarlı olduğunu gözlemlemişlerdir. Kuru parsellerin interferometrik uyumluluk değerlerinin, ıslak parsellerin interferometrik uyumluluk değerlerinden daha düşük olduğunu gözlemlemişlerdir. Ardışık olarak elde edilen 2 uydu görüntüsü arasında

meydana gelen ekim uygulamalarıyla ilişkili toprak pürüzlülüğündeki değişikliğin, interferometrik uyumluluk değerlerini azalttığını bildirmişlerdir.

Bai vd. (2020), NDVI değeri ne kadar yüksekse interferometrik uyumluluk değerinin o kadar düşük olduğunu, hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra ise interferometrik uyumluluk değerlerinin en yüksek değere ulaştığını bildirmişlerdir. Ayrıca interferometrik uyumluluk değerlerinin, bitki örtüsünün yoğunluğunun tespit edilmesi için kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Amherdt vd. (2021), interferometrik uyumluluk değerlerinin olgunlaşma aşamasına kadar düşük seyrettiğini, daha sonra arttığını ve tahıl kurudukça yüksek değerlerin korunduğunu bildirmişlerdir. Hasat tarihinde interferometrik uyumluluk değerlerinde belirgin bir düşüşün olduğunu, sonrasında ise arttığını veya değişmeden kaldığını bildirmişlerdir. Interferometrik uyumluluk değerlerinin değişmeden kalmasının nedeninin anız olduğunu bildirmişlerdir.

Nasirzadehdizaji vd. (2021), ekim öncesi ve ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra interferometrik uyumluluk değerlerinin en yüksek değere sahip olduğunu, bitkiler büyüdükçe interferometrik uyumluluk değerlerinin azaldığını, zemin tamamen bitkilerle kaplandığında ise interferometrik uyumluluk değerlerinin en düşük seviyeye sahip olduğunu bildirmişlerdir. Hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra ise interferometrik uyumluluk değerlerinde artış gözlemlenmiştir. Ayrıca VV polarizasyonundaki interferometrik uyumluluk değerlerinin, VH polarizasyonundaki interferometrik uyumluluk değerlerinden daha yüksek olduğunu gözlemlenmişler; alçalan yörünge yönünden elde ettikleri interferometrik uyumluluk değerlerinin, yükselen yörünge yönünden elde ettikleri interferometrik uyumluluk değerlerinden daha yüksek olduğunu bildirmişlerdir.

Yukarıda listelenen çalışmalardan 5'i ülkemizde yapılmıştır (Tunca (2015), Abdikan vd. (2018), Eminoğlu (2019) ve Nasirzadehdizaji vd. (2019, 2021) tarafından yapılan çalışmalar). Bu çalışmaların dışında Karakuş (2017), Dizdaroğlu (2019) ve Üstüner ve Balık Şanlı (2020) tarafından da ülkemizde mısırı konu alan çalışmalar yapılmış, ancak bu çalışmaların konusu esas olarak mısır veriminin tahmin edilmesi ve/veya ürün sınıflandırması üzerine olmuştur. Öte yandan; Rossi ve Erten (2015), Erten vd. (2016a, b), Lopez-Sanchez vd. (2017) ve Yüzügülü vd. (2017, 2018) tarafından ülkemizde bitki boyunun hesaplanması üzerine çalışmalar yapılmış, ancak bu çalışmalarda esas olarak pirinç bitkisine odaklanılmıştır.

Yapılan kaynak taraması sonucu, SAR ve multispektral uydu görüntülerinin birlikte kullanılmasıyla mısır vejetasyon dönemi gelişiminin izlenmesine ve/veya mısır boyunun hesaplanmasına ilişkin herhangi bir çalışmanın, ülkemizde henüz yapılmadığı tespit edilmiştir.



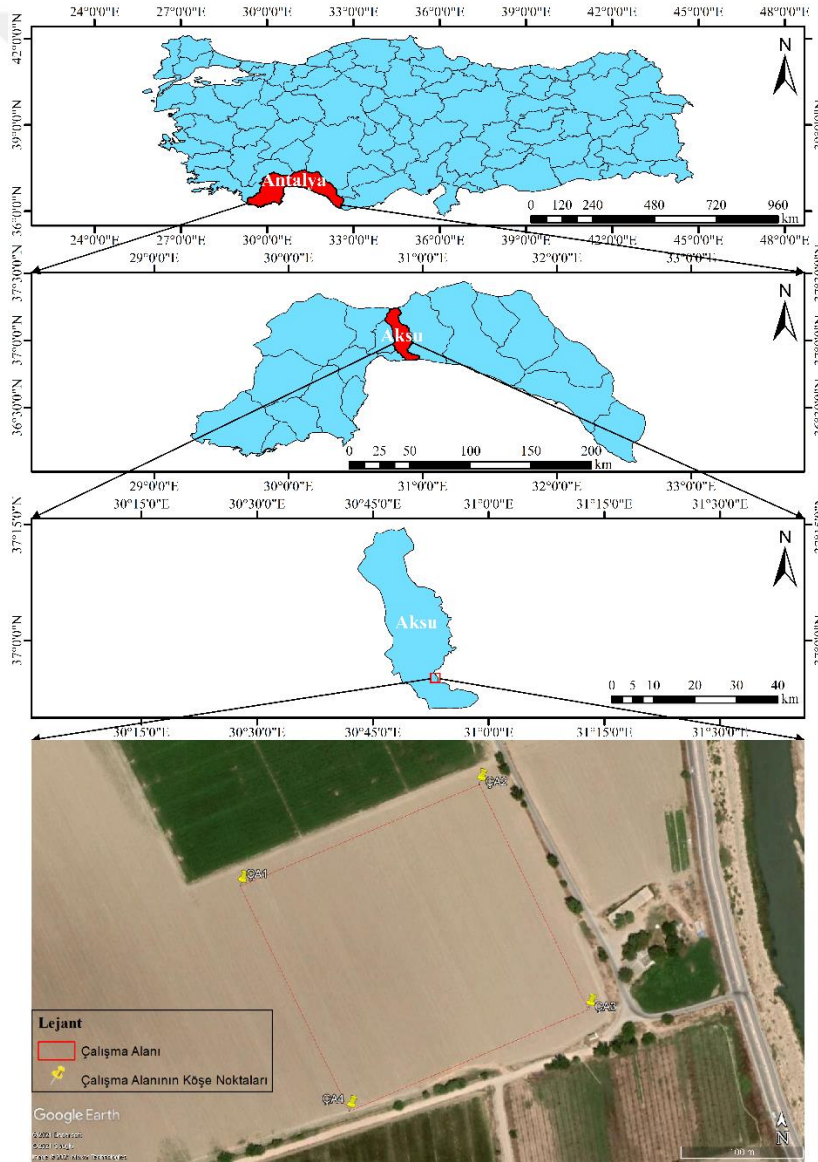
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

3.1.1. Çalışma alanı

Bu çalışma; Akdeniz Üniversitesi / Ziraat Fakültesi, Aksu Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde gerçekleştirilmiştir. Aksu Araştırma ve Uygulama Çiftliği, Antalya şehir merkezine 20 km uzaklıkta olup, Aksu ilçesinde yer almaktadır. Toplam 1100 da büyüklüğünde olan bu çiftlikte; buğday, mısır ve yem bitkileri tarımı yapılmaktadır (AÜZFD 2021).

Bu çalışma kapsamında, Aksu Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nin yaklaşık 43 da'lık alanı çalışma alanı olarak belirlenmiştir (Şekil 3.1). Çalışma alanının köşe noktalarının coğrafi koordinatları Çizelge 3.1'de gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Çalışma alanı

Çizelge 3.1. Çalışma alanının köşe noktalarının coğrafi koordinatları

Nokta Adı	COĞRAFİ KOORDİNATLAR (WGS84)			
	Ondalık Derece		Derece Dakika Saniye	
	Enlem	Boylam	Enlem	Boylam
ÇA1	36.91932° N	30.88369° E	36°55'09.55" N	30°53'01.28" E
ÇA2	36.92007° N	30.88589° E	36°55'12.25" N	30°53'09.20" E
ÇA3	36.91841° N	30.88690° E	36°55'06.28" N	30°53'12.84" E
ÇA4	36.91767° N	30.88470° E	36°55'03.61" N	30°53'04.92" E

Çalışma alanı eğimsizdir (<%1) ve killi tınlı toprak yapısındadır. Bölgeye Akdeniz İklimi hâkimdir. Mısırın, buğday hasadından sonra ikinci ürün olarak ekildiği yaz aylarında hava sıcak ve kuraktır. Antalya iline ait meteorolojik verilere ilişkin resmî istatistikler Şekil 3.2’de gösterilmiştir.

ANTALYA	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Agustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ölçüm Periyodu (1930 - 2019)													
Ortalama Sıcaklık (°C)	10.0	10.6	12.8	16.3	20.5	25.3	28.4	28.3	25.1	20.5	15.4	11.6	18.7
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	14.9	15.5	17.9	21.3	25.5	30.7	34.0	34.0	31.1	26.5	21.2	16.6	24.1
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	5.9	6.4	8.0	11.2	15.2	19.6	22.7	22.7	19.4	15.2	10.7	7.6	13.7
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	5.0	5.7	6.7	7.9	9.6	11.3	11.5	11.2	9.7	7.8	6.3	4.8	97.5
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	12.5	10.4	8.5	6.4	5.0	2.4	0.6	0.5	1.7	5.4	7.4	11.7	72.5
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	242.1	154.4	97.2	50.4	32.1	10.9	4.5	4.6	18.1	72.1	133.6	265.3	1085.3

Şekil 3.2. Antalya iline ait meteorolojik verilere ilişkin resmî istatistikler (MGM 2020)

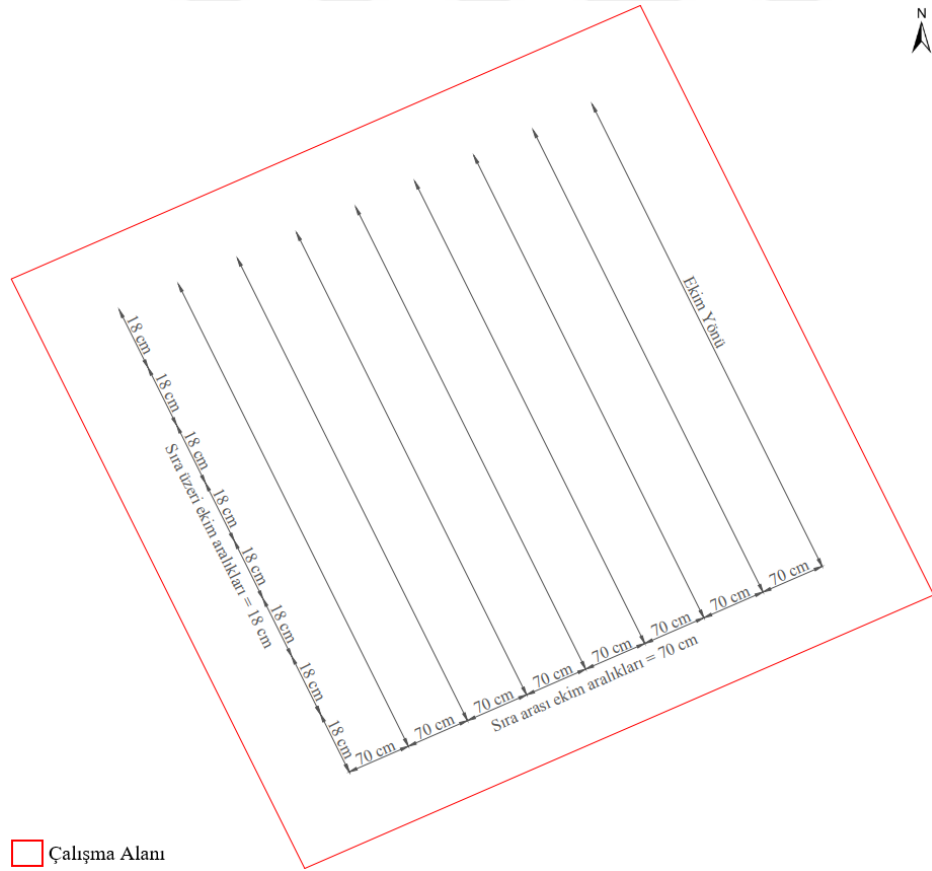
3.1.2. Mısır bitkisinin yetiştirilme süreci

Çalışma alanında ana ürün olarak buğday yetiştirilmiştir. Mısır ise buğday hasat edildikten sonra ikinci ürün olarak yetiştirilmiştir. Mısır ekiminin yapılacağı tarih itibarıyla toprağın nemli kalması için 27 Haziran’dan itibaren bir hafta boyunca sulama işlemi gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanında gerçekleştirilen sulama işlemlerinde salma sulama yöntemi kullanılmıştır.

Çalışma alanına, çok yüksek yaş verim potansiyeline sahip DEKALB DKC7240 marka silajlık mısır tohumu ekilmiştir. Mısır tohumlarının ekim işlemi, 6 sıralı pnömatik hassas ekim makinesi ile 17 Temmuz tarihinde gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.3). Mısır tohumları; sıra üzeri ekim aralıkları 18 cm, sıra arası ekim aralıkları ise 70 cm olacak şekilde ekilmiştir. Mısır tohumlarının ekim (sıra) yönüne ve ekim aralıklarına ilişkin bilgiler Şekil 3.4’te gösterilmiştir.



Şekil 3.3. 6 sıralı pnömatik hassas ekim makinesi ile mısır tohumlarının ekim işlemi

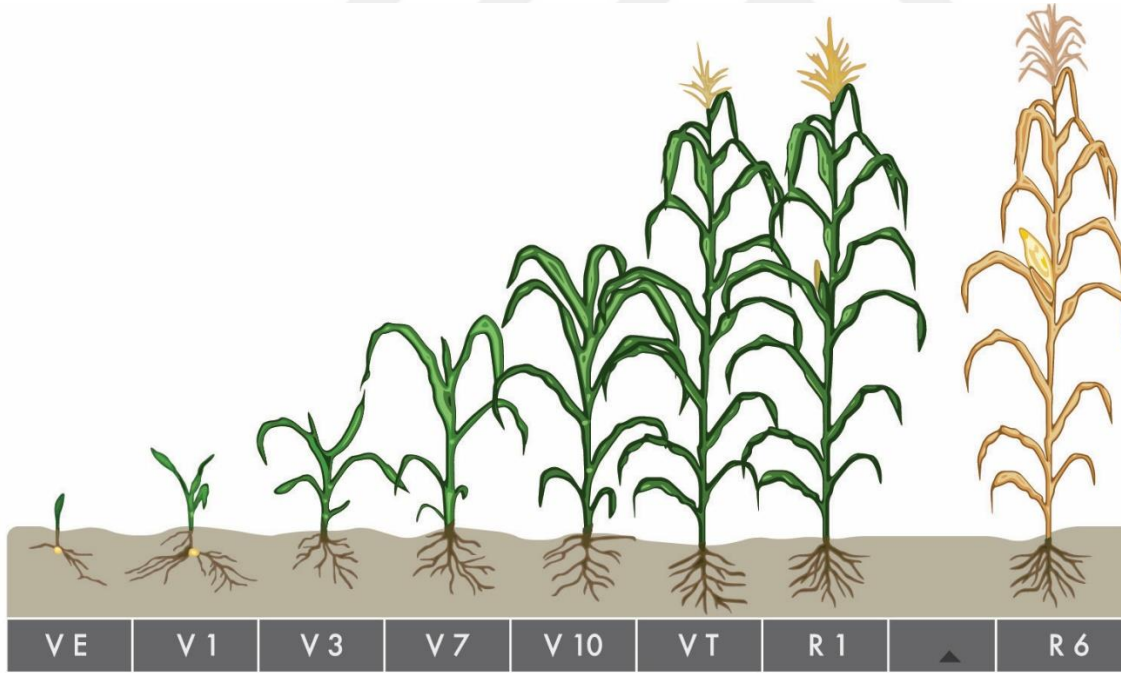


Şekil 3.4. Mısır tohumlarının ekim (sıra) yönü ve ekim aralıkları

Çalışma alanında 15 Ağustos tarihinde çizel ile ara çapa işlemi, 20 Ağustos tarihinde sıra arası çapalama ve gübreleme işlemi, 22 Ağustos tarihinde ve 9 – 13 Eylül tarihleri arasında sulama işlemleri, 31 Ekim tarihinde ise hasat işlemi gerçekleştirilmiştir. Mısır bitkisinin yetiştirilme sürecinde gerçekleştirilen işlemler Çizelge 3.2’de gösterilmiştir. Mısır bitkisinin büyüme aşamaları ise Şekil 3.5’te gösterilmiştir.

Çizelge 3.2. Mısır bitkisinin yetiştirilme sürecinde gerçekleştirilen işlemler

Tarih	İşlemler
17 Temmuz	Ekim işlemi
15 Ağustos	Çizel ile ara çapa işlemi
20 Ağustos	Sıra arası çapalama ve gübreleme işlemi
22 Ağustos	Sulama işlemi
9 – 13 Eylül tarihleri arası	5 gün boyunca sulama işlemi
31 Ekim	Hasat işlemi



Şekil 3.5. Mısır bitkisinin büyüme aşamaları (Silajlık mısır, R6 aşamasından önce bitki hâlâ yeşilken hasat edilmektedir) (DEKALB Asgrow Deltapine 2020; BAYER Crop Science Canada 2021)

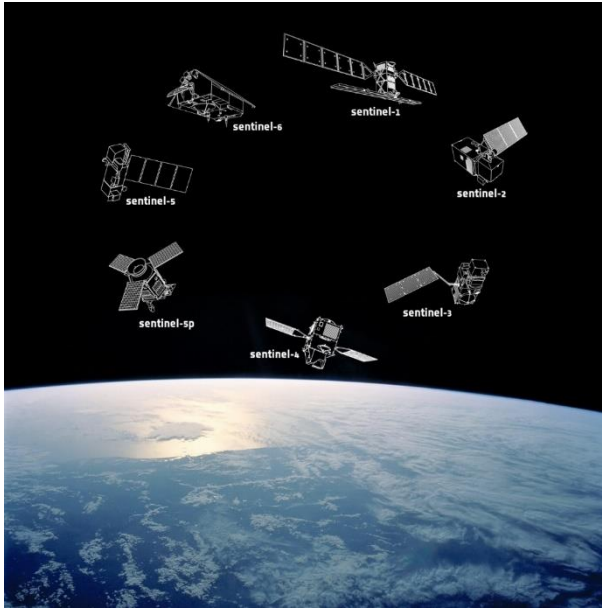
3.2.2. Kullanılan uydu görüntüleri

Çalışma kapsamında; ücretsiz olarak temin edilebilen, yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüğe sahip Sentinel-1 SAR uydu görüntüleri ile Sentinel-2 multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu uydular, Copernicus bilgi servislerinin ve kullanıcılarının ihtiyaçlarını karşılamak için özel olarak tasarlanan Dünya gözlem uydularıdır (Anonymous 1).

Copernicus, Avrupa Birliği'nin tüm Avrupa vatandaşlarının yararı için gezegenimizi ve çevresini izleyen Dünya Gözlem Programı'dır. Uydular aracılığıyla Dünya gözlemine ve yerinde ölçüm verilerine dayalı veri, bilgi ve hizmetler sunmaktadır. Program, Avrupa Komisyonu tarafından; üye devletler, ESA, EUMETSAT, ECMWF, AB Ajansları gibi ortaklarla iş birliği içinde finanse edilmekte, koordine edilmekte ve yönetilmektedir (Anonymous 1, 2).

Copernicus programı kapsamında tasarlanan Sentinel uyduları karadan, havadan ve denizden ölçüm sensörleriyle birlikte çok büyük miktarda küresel veri sağlamaktadır. Copernicus tarafından sağlanan verilerin/bilgilerin büyük çoğunluğu ücretsiz, tam ve açık olarak dünya çapındaki herhangi bir vatandaşa/kuruluşa mevcut ve erişilebilir kılınmıştır (Anonymous 3). Bu veriler ve bilgiler; hizmet sağlayıcılar, kamu yetkilileri ve uluslararası kuruluşlar tarafından Avrupa ve dünya vatandaşlarının yaşam kalitesini iyileştirmek, çevremizi korumak, iklim değişikliğini izlemek ve azaltmak için kullanılmaktadır (Anonymous 1).

Şu anda yörüngede 5 farklı özellikte 8 Sentinel uydusu (Sentinel-1A, Sentinel-1B, Sentinel-2A, Sentinel-2B, Sentinel-3A, Sentinel-3B, Sentinel-5P ve Sentinel-6) bulunmaktadır. Bu uydulara ek olarak farklı özelliklerdeki diğer Sentinel uydularının da (Sentinel-4 ve Sentinel-5) yakın gelecekte fırlatılması planlanmaktadır (Anonymous 1, 4; ESA 2020). Sentinel uyduları Şekil 3.6'da, bu uyduların temel özelliklerine ilişkin bilgiler ise Çizelge 3.3'te gösterilmiştir.



Şekil 3.6. Sentinel uyduları (ESA 2014a)

Çizelge 3.3. Sentinel uydularının temel özellikleri (Anonymous 4; ESA 2020)

Uydu Adı	Özellikler
Sentinel-1	Tüm hava koşullarında, gece ve gündüz radar görüntüleme kabiliyetine sahip kutupsal yörüngeli SAR uydusudur.
Sentinel-2	Yüksek çözünürlüklü optik görüntüleme kabiliyetine sahip kutupsal yörüngeli multispektral uydudur.
Sentinel-3	Deniz yüzeyi topoğrafyasını, deniz ve kara yüzeyi sıcaklığını, okyanus ve kara yüzeyinin rengini üst düzey doğruluk ve güvenilirlikle ölçmek için kullanılan bir uydudur. Okyanus tahmin sistemlerinin yanı sıra, çevrenin ve iklimin izlenmesinde de kullanılmaktadır.
Sentinel-4	Avrupa üzerindeki eser gazlar ve aerosoller gibi hava kalitesinde kilit rol oynayan atmosferik bileşimlerin izlenmesinde kullanılacak olan yüksek mekânsal ve zamansal (saatlik ziyaret sıklığına sahip) çözünürlüklü uydudur.
Sentinel-5	Atmosferik bileşenlerin izlenmesinde kullanılacak olan kutupsal yörüngeli uydudur.
Sentinel-5 Precursor (Sentinel-5P)	Hava kalitesini ve iklimi etkileyen çok sayıda eser gaz ve aerosol hakkında zamanında veri sağlayan uydu olup, Sentinel-5'in öncüsüdür. Envisat uydusu ile Sentinel-5'in fırlatılması arasındaki süreçte, veri boşluklarını azaltmak ve veri sürekliliğini sağlamak için geliştirilmiştir.
Sentinel-6	Oşinografi ve iklim çalışmalarında kullanılmak üzere, küresel deniz yüzeyi yüksekliğini ölçmek için bir radar altimetresine sahip uydudur.

3.2.1.1. SAR (Sentinel-1) uydu görüntüleri

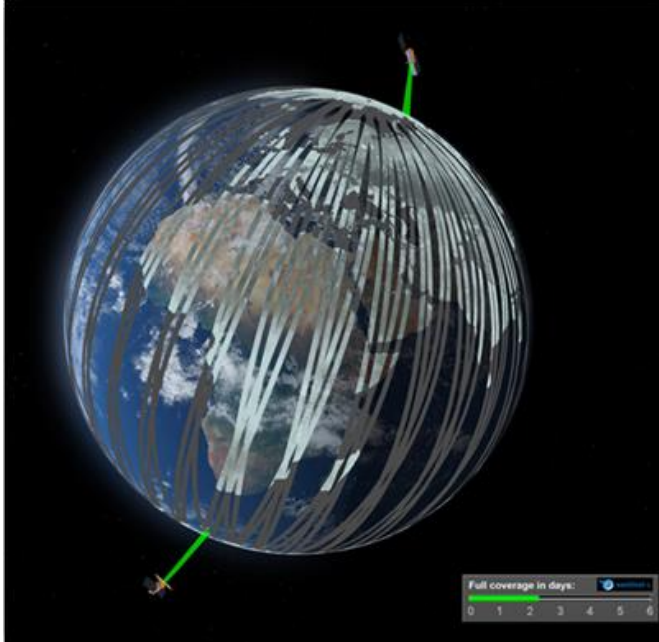
Copernicus programı kapsamında tasarlanan Sentinel uydularından ilki olan Sentinel-1, dünya yüzeyinin tüm hava koşullarında, gece ve gündüz görüntülenmesini sağlamak için 5.405 GHz merkez frekansında çalışan gelişmiş bir C-bandı SAR sensörü taşımaktadır (ESA 2016a, b, c, d) (Şekil 3.7). Sentinel-1 uydusunun amaçları şunlardır (ESA 2016b, c, d):

- Ormanların, suyun, toprağın ve tarım arazilerinin izlenmesi,
- Doğal afet durumunda acil durum haritalama desteği,
- Denizlerin ve çevresinin izlenmesi,
- Denizlerde bulunan buzların gözlenmesi ve buzdağlarının izlenmesi,
- Yüksek çözünürlüklü buz haritalarının üretimi,
- Denizdeki buz durumunun tahmin edilmesi,
- Petrol sızıntılarının haritalanması,
- Gemi tespiti,
- İklim değişikliğinin izlenmesi.



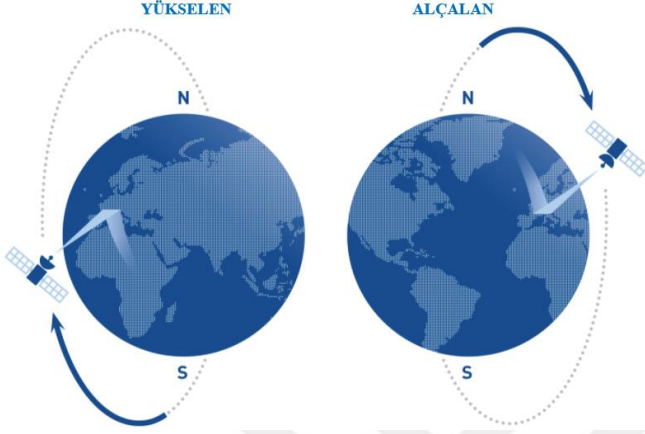
Şekil 3.7. Sentinel-1 uydusu (ESA 2014b)

Sentinel-1, 180° yörünge faz farkı ile aynı yörünge düzlemini paylaşan ve aynı özelliklere sahip Sentinel-1A ve Sentinel-1B adlı iki uydudan oluşan bir sistem olarak tasarlanmıştır (ESA 2016a, b, c, d, e, f, g, h) (Şekil 3.8). Sentinel-1A uydusu 3 Nisan 2014 tarihinde, Sentinel-1B uydusu ise 25 Nisan 2016 tarihinde Fransız Guyanası'nın Kourou şehrinde bulunan Avrupa Uzay Limanı'ndan Soyuz Roketi ile fırlatılmıştır (ESA 2016a, b, c, d, e).



Şekil 3.8. 180° yörünge faz farkı ile aynı yörünge düzlemini paylaşan ve aynı özelliklere sahip Sentinel-1A ve Sentinel-1B uydularının oluşturduğu Sentinel-1 sistemleri (ESA 2016b, c, d)

Sentinel-1, yükselen ve alçalan yörünge yönünde görüntü elde etmektedir (Şekil 3.9). Aynı yörünge yönündeki (yükselen veya alçalan) tek bir uydu için tekrar ziyaret sıklığı/tekrar döngüsü (zamansal çözünürlük) ekvatorda 12 gün iken, her iki uydunun birlikte kullanılmasıyla bu süre 6 güne düşmektedir. Tekrar ziyaret sıklığı, ekvatordan daha yüksek enlemlerde önemli ölçüde daha fazladır (ESA 2016f, g, h). Sentinel-1 uydusunun özelliklerine ilişkin bilgiler Çizelge 3.4’te gösterilmiştir.

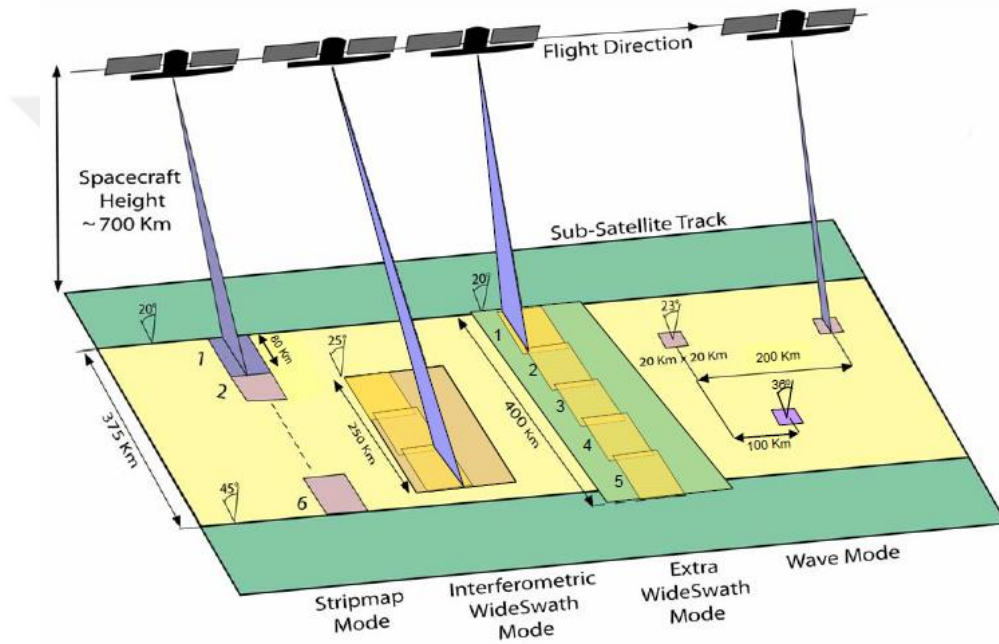


Şekil 3.9. Yükselen ve alçalan yörünge yönü (TRE ALTAMIRA 2021)

Çizelge 3.4. Sentinel-1 uydusunun özellikleri (ESA 2016i)

Fırlatılış Tarihleri	Sentinel-1A: 3 Nisan 2014 Sentinel-1B: 25 Nisan 2016
Fırlatılış Yeri	Kourou, Fransız Guyanası
Fırlatma Aracı	Soyuz Roketi
Yörünge	693 km yükseklikte güneş eş zamanlı kutupsal yörünge
Tekrar Ziyaret Sıklığı/Tekrar Döngüsü (Zamansal Çözünürlük)	İki uydunun birlikte kullanılmasıyla ekvatorda 6 gün
Ömrü	En az 7 yıl
Uydu	2×10 m uzunluğundaki güneş panelleri ve 12 m uzunluğundaki radar anteni ile birlikte 2.8 m uzunluğunda, 2.5 m genişliğinde, 4 m yüksekliğinde
Ağırlık	2300 kg (130 kg yakıt dâhil)
Sensör	5.405 GHz merkez frekansında çalışan C-bant SAR
Ana Uygulamalar	Deniz buzunun, petrol sızıntılarının, deniz rüzgârlarının, dalgaların ve akıntıların, arazi kullanımı değişikliğinin ve arazi deformasyonunun izlenmesi, sel ve deprem gibi acil durumlara müdahale edilmesi
Finansman	ESA üye devletleri ve Avrupa Birliği
Ana Yükleniciler	Uydu için: Thales Alenia Space, İtalya SAR sensörü için: Airbus Defence and Space, Almanya

Sentinel-1, farklı çözünürlük (5 m'ye kadar) ve farklı kapsama alanlarına (400 m'ye kadar) sahip 4 özel görüntüleme modunda veri toplamakta (ESA 2016b, c, d) (Şekil 3.10) ve görüntüleri önceden tanımlanmış bir plan dâhilinde sistematik olarak almaktadır. Bu nedenle belirli alanlar için yalnızca önceden tanımlanmış belirli modlar mevcuttur. Kara yüzeyi ve kıyı alanları üzerinde önceden tanımlanmış mod İnterferometrik Geniş Şerit (IW) Modu'dur; denizler, kutup bölgeleri ve okyanusla ilgili alanlar üzerinde önceden tanımlanmış mod Ekstra Geniş Şerit (EW) Modu'dur; açık okyanuslar üzerinde sürekli olarak çalıştırılan mod Dalga (WV) Modu'dur; Şerit Harita (SM) Modu ise yalnızca istisnai durumlarda, acil gözlem talepleri üzerine kullanılmaktadır (ESA 2016b, c, d). Sentinel-1 uydusunun görüntüleme modlarına ilişkin bilgiler Çizelge 3.5'te, görüntüleme modlarının özellikleri ise Çizelge 3.6'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Sentinel-1 uydusunun görüntüleme modları (ESA 2016j, k, l)

Çizelge 3.5. Sentinel-1 uydusunun görüntüleme modlarına ilişkin bilgiler (ESA 2016b, c, d, j, k, l, m)

Görüntüleme Modu	Özellikler
SM	Bu modda, 80 km şerit genişliği ile $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$ çözünürlükte görüntü elde edilmektedir. Farklı geliş açılarıyla üst üste binen 6 şerit ile birlikte 375 km'lik kapsama alanına sahiptir. SM modu yalnızca olağanüstü durumlarda talep üzerine çalıştırılmaktadır.
IW	Bu modda, Aşamalı Taramalar ile Arazi Gözlemi (TOPS) SAR (TOPSAR) tekniği kullanılarak 3 alt şeritte, 250 km şerit genişliği ile $5 \text{ m} \times 20 \text{ m}$ çözünürlükte görüntü elde edilmektedir. IW modu, kara yüzeyi üzerindeki varsayılan görüntüleme modudur.
EW	Bu modda da IW moduna benzer şekilde TOPSAR tekniği kullanılmaktadır. IW modundan farklı olarak 3 yerine 5 alt şeritte, 400 km şerit genişliği ile daha düşük bir çözünürlükte ($20 \text{ m} \times 40 \text{ m}$) görüntü elde edilmektedir. EW modu geniş kapsama alanı ve yüksek tekrar ziyaret sıklığının talep edildiği deniz, buz ve kutup bölgesi hizmetleri için tasarlanmıştır.
WV	Bu modda, 2 farklı geliş açısıyla dönüşümlü olarak görüntü elde edilmektedir. İki farklı geliş açısıyla 100 km'de bir, aynı geliş açısıyla 200 km'de bir $20 \text{ km} \times 20 \text{ km}$ boyutunda şerit harita görüntüleri elde edilmektedir. WV modu okyanus üzerinde sürekli olarak çalıştırılmaktadır. Bu mod, küresel okyanus dalga modelleri ile birlikte açık okyanuslardaki dalgaların yönünü, dalga boyunu ve yüksekliklerini belirlemeye yardımcı olur.

Çizelge 3.6. Sentinel-1 uydusunun görüntüleme modlarının özellikleri (ESA 2016f, g, h)

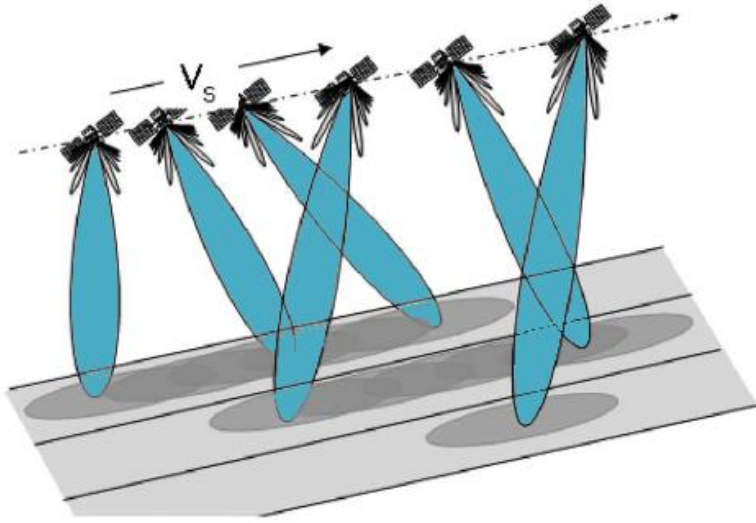
Görüntüleme Modu	Çözünürlük	Şerit Genişliği	Geliş Açısı Aralığı	Polarizasyon Seçenekleri
SM	$5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$	80 km	$18.3^\circ - 46.8^\circ$	Tek (HH/VV) veya Çift (HH+HV/VV+VH)
IW	$5 \text{ m} \times 20 \text{ m}$	250 km	$29.1^\circ - 46.0^\circ$	Tek (HH/VV) veya Çift (HH+HV/VV+VH)
EW	$20 \text{ m} \times 40 \text{ m}$	400 km	$18.9^\circ - 47.0^\circ$	Tek (HH/VV) veya Çift (HH+HV/VV+VH)
WV	$5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$	100 km'de bir $20 \text{ km} \times 20 \text{ km}$	$21.6^\circ - 25.1^\circ$	Tek (HH/VV)
			$34.8^\circ - 38.0^\circ$	

Sentinel-1 uydusunun her görüntüleme modu için Seviye-0 RAW, Seviye-1 SLC, Seviye-1 GRD ve Seviye-2 OCN ürünleri üretilmektedir. Ürün verileri; WV için yalnızca tek polarizasyonlu (HH ve VV), diğer modlar için ise tek (HH veya VV) veya çift polarizasyonlu (HH+HV veya VV+VH) olarak mevcuttur (ESA 2016b, c, d, f, g, h) (Çizelge 3.6). Sentinel-1 uydusunun ürün seviyelerine ilişkin bilgiler Çizelge 3.7’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.7. Sentinel-1 uydusunun ürün seviyelerine ilişkin bilgiler (ESA 2016b, c, d, f, g, h, j, k, l, n)

Ürün Seviyesi	Özellikler
Seviye-0 RAW	Sıkıştırılmış ve odaklanmamış ham verilerdir. Seviye-0 ürünleri, diğer tüm üst düzey ürünlerin üretildiği temeldir. Verilerin kullanılabilir olması için açılması ve bir SAR işlemcisi kullanılarak işlenmesi gerekir. Seviye-0 verileri gürültü, dâhilî kalibrasyon ve yankı kaynak paketlerinin yanı sıra yörünge ve durum bilgilerini içerir.
Seviye-1 SLC	Uydudan alınan yörünge ve konum verileri kullanılarak coğrafi referanslı ve eğik-menzilli geometride sağlanan odaklanmış verilerdir. SLC ürünleri doğal piksel aralığında işlenir. Her görüntü pikseli karmaşık (I ve Q) bir büyüklük değeri ile temsil edilir, bu nedenle hem genlik hem de faz bilgisini içerir.
Seviye-1 GRD	Bir Dünya Elipsoit Modeli (WGS84) kullanılarak işlenen, çok bakış uygulanan ve yer menziline yansıtılan odaklanmış verilerdir. Çok bakış uygulandığı için benek etkisi azaltılır, ancak faz bilgisi kaybolur: ortaya çıkan ürün kare piksel aralığına sahiptir.
Seviye-2 OCN	Rüzgâr, dalga ve akıntı uygulamaları için sistematik olarak paylaşılan okyanus ürünleridir. Seviye-2, Seviye-1’den türetilen coğrafi konumlu jeofizik ürünlerden oluşur.

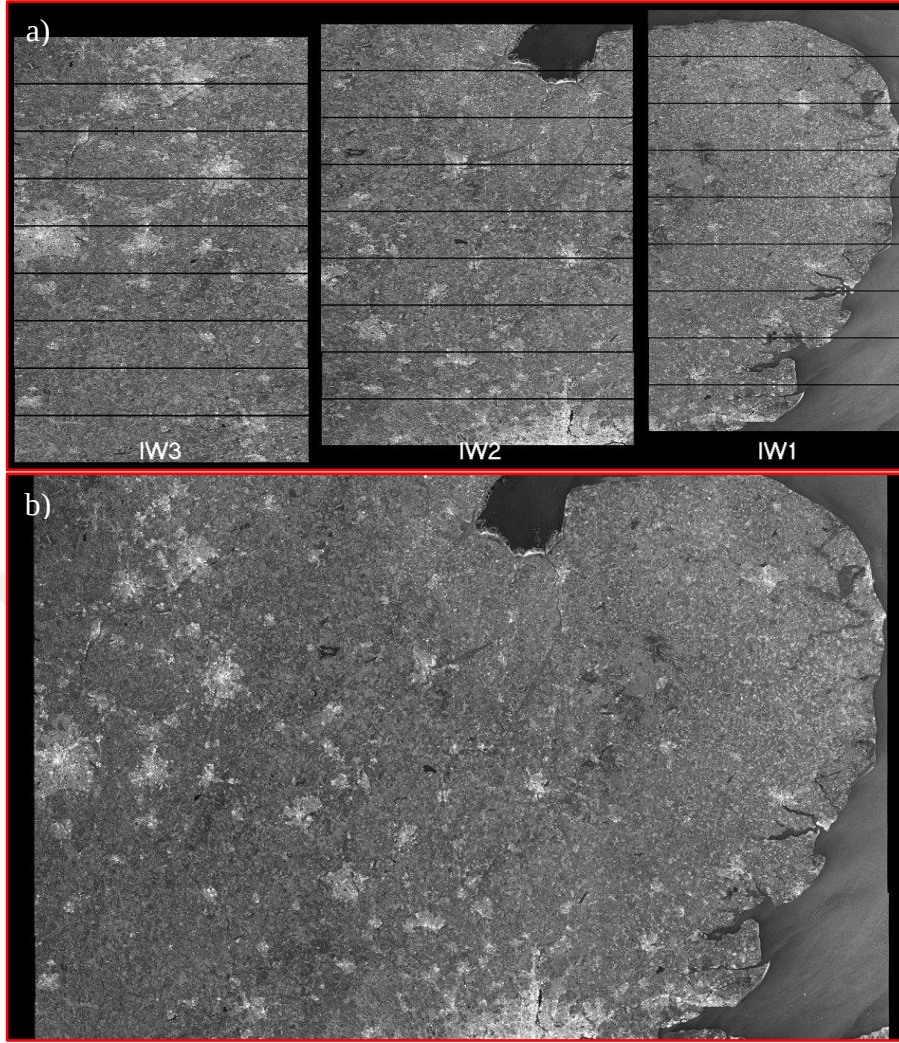
Sentinel-1 uydusu, Çizelge 3.5’te de belirtildiği üzere IW ve EW modlarında TOPSAR tekniğini kullanmaktadır. Bu teknikte SAR sensörü; IW modunda 3 alt şeritte, EW modunda ise 5 alt şeritte yer menzili boyunca yönlendirilmekte, ayrıca alt şeritlerdeki seriler (burst) arasında da azimut yönünde geriden ileriye doğru elektronik olarak yönlendirilmektedir (Şekil 3.11). Bu sayede şerit boyunca yüksek kaliteli ve homojen görüntüler elde edilmektedir (ESA 2016b, c, d, f, g, h, j, k, l, m). Sentinel-1 uydusunun TOPSAR tekniğini kullanarak IW modunda görüntü elde etmesi Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Sentinel-1 uydusunun IW modunda elde ettiği bir görüntü örneği ise Şekil 3.13’te gösterilmiştir.



Şekil 3.11. Sentinel-1 uydusunun IW modunda kullandığı TOPSAR tekniği (ESA 2016f, g, h, j, k, l)



Şekil 3.12. Sentinel-1 uydusunun TOPSAR tekniğini kullanarak IW modunda görüntü elde etmesi (ESA 2014c)



Şekil 3.13. Sentinel-1 uydusunun IW modunda elde ettiği bir görüntü örneği; **a)** Seviye-1 SLC ürün örneği; **b)** Seviye-1 GRD ürün örneği (ESA 2016f, g, h)

Şekil 3.13a’da da görüldüğü üzere, Sentinel-1 uydusunun IW modunda elde ettiği görüntülerin Seviye-1 SLC ürünleri 3 alt şeritten (IW1, IW2 ve IW3) oluşmaktadır. Bu alt şeritlerin geliş açıları ve çözünürlükleri birbirlerinden farklıdır. Seviye-1 SLC ürününün alt şeritlerine ilişkin geliş açısı ve çözünürlük bilgileri Çizelge 3.8’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.8. Seviye-1 SLC ürününün alt şeritlerine ilişkin geliş açısı ve çözünürlük bilgileri (ESA 2016j, k, l)

Alt Şerit	Geliş Açısı	Çözünürlük $rg \times az$	Piksel Aralığı $rg \times az$	Bakış Sayısı $rg \times az$
IW1	32.9°	2.7 m $\times$ 22.5 m	2.3 m $\times$ 14.1 m	1 $\times$ 1
IW2	38.3°	3.1 m $\times$ 22.7 m		
IW3	43.1°	3.5 m $\times$ 22.6 m		

Bu çalışmada, kara yüzeyi üzerindeki varsayılan görüntüleme modu olan IW modunda elde edilen Sentinel-1A ve Sentinel-1B SAR uydu görüntüleri kullanılmıştır. Uydu görüntüleri, Copernicus Açık Erişim Merkezi'nden (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) ve ASF Veri Arama Noktası'ndan (<https://search.asf.alaska.edu/#/>) temin edilmiştir. Çalışma kapsamında, 9 Temmuz 2019 – 13 Kasım 2019 tarihleri arasında yükselen ve alçalan yörünge yönündeki 3 farklı yörüngeden elde edilen ve çalışma alanını kapsayan tüm Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Kullanılan uydu görüntüleri, genlik ve faz bilgilerini içeren Seviye-1 SLC ürünleridir. Bu uydu görüntüleri çift polarizasyona (VV+VH) sahip olup, çalışmada her iki polarizasyon da kullanılmıştır. Sentinel-1A ve Sentinel-1B uydu görüntüleri Çizelge 3.9'da listelenmiştir. Bu uydu görüntülerinin ayak izleri (kapsama alanları) ise Şekil 3.14'te gösterilmiştir.

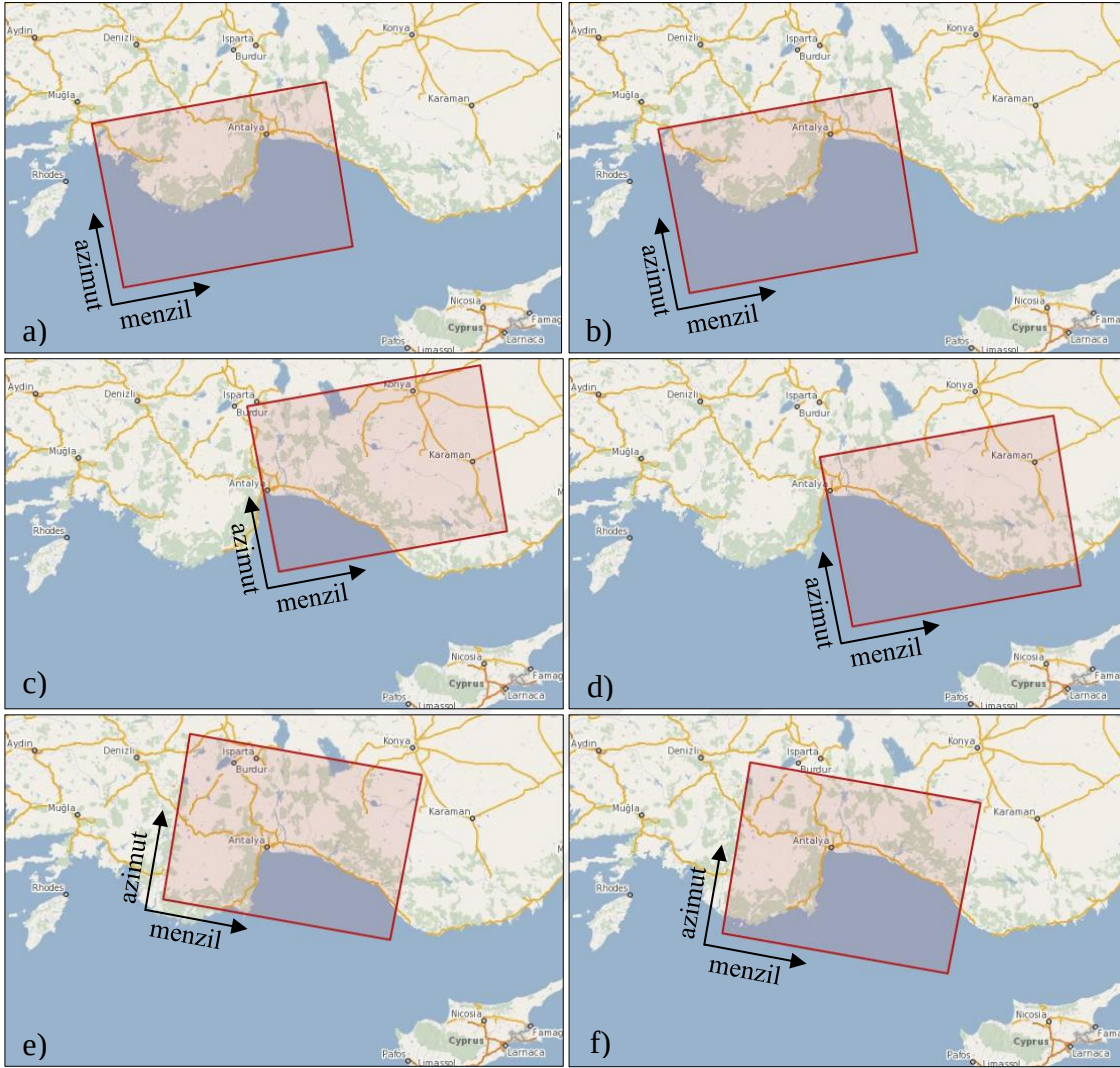
Çizelge 3.9. Sentinel-1A ve Sentinel-1B uydu görüntüleri

Ürün Seviyesi	Anten Bakış Yönü	Polarizasyon	Yörünge Yönü	Görece Yörünge Numarası	Çalışma Alanının Bulunduğu Alt Şerit	Uydu Adı	Tarih	Saat (UTC+03:00)
Seviye-1 SLC	Sağ	Çift Polarizasyonlu (VV+VH)	Yükselen	58	IW3	Sentinel-1B	09.07.2019	Bu uydu görüntüleri, saat 18:58'de elde edilmiştir.
						Sentinel-1A	15.07.2019	
						Sentinel-1B	21.07.2019	
						Sentinel-1A	27.07.2019	
						Sentinel-1B	02.08.2019	
						Sentinel-1A	08.08.2019	
						Sentinel-1B	14.08.2019	
						Sentinel-1A	20.08.2019	
						Sentinel-1B	26.08.2019	
						Sentinel-1A	01.09.2019	
						Sentinel-1B	07.09.2019	
						Sentinel-1A	13.09.2019	
						Sentinel-1B	19.09.2019	
						Sentinel-1A	25.09.2019	
						Sentinel-1B	01.10.2019	
						Sentinel-1A	07.10.2019	
						Sentinel-1B	13.10.2019	
						Sentinel-1A	19.10.2019	
						Sentinel-1B	25.10.2019	
						Sentinel-1A	31.10.2019	
						Sentinel-1B	06.11.2019	
						Sentinel-1A	12.11.2019	

(Devamı Arkada)

Çizelge 3.9'un devamı

Ürün Seviyesi	Anten Bakış Yönü	Polarizasyon	Yörünge Yönü	Görece Yörünge Numarası	Çalışma Alanının Bulunduğu Alt Şerit	Uydu Adı	Tarih	Saat (UTC+03:00)
Seviye-1 SLC	Sağ	Çift Polarizasyonlu (VV+VH)	Yükselen	160	IW1	Sentinel-1A	10.07.2019	Bu uydu görüntüleri, saat 18:50'de elde edilmiştir.
						Sentinel-1B	16.07.2019	
						Sentinel-1A	22.07.2019	
						Sentinel-1B	28.07.2019	
						Sentinel-1A	03.08.2019	
						Sentinel-1B	09.08.2019	
						Sentinel-1A	15.08.2019	
						Sentinel-1B	21.08.2019	
						Sentinel-1A	27.08.2019	
						Sentinel-1B	02.09.2019	
						Sentinel-1A	08.09.2019	
						Sentinel-1B	14.09.2019	
						Sentinel-1A	20.09.2019	
						Sentinel-1B	26.09.2019	
						Sentinel-1A	02.10.2019	
						Sentinel-1B	08.10.2019	
						Sentinel-1A	14.10.2019	
						Sentinel-1B	20.10.2019	
						Sentinel-1A	26.10.2019	
						Sentinel-1B	01.11.2019	
						Sentinel-1A	07.11.2019	
						Sentinel-1B	13.11.2019	
			Alçalan	65	IW2	Sentinel-1B	10.07.2019	Bu uydu görüntüleri, saat 06:59'da elde edilmiştir.
						Sentinel-1A	16.07.2019	
						Sentinel-1B	22.07.2019	
						Sentinel-1A	28.07.2019	
						Sentinel-1B	03.08.2019	
						Sentinel-1A	09.08.2019	
						Sentinel-1B	15.08.2019	
						Sentinel-1A	21.08.2019	
						Sentinel-1B	27.08.2019	
						Sentinel-1A	02.09.2019	
						Sentinel-1B	08.09.2019	
						Sentinel-1B	20.09.2019	
						Sentinel-1A	26.09.2019	
						Sentinel-1B	02.10.2019	
						Sentinel-1A	08.10.2019	
						Sentinel-1B	14.10.2019	
						Sentinel-1A	20.10.2019	
						Sentinel-1B	26.10.2019	
						Sentinel-1A	01.11.2019	
						Sentinel-1B	07.11.2019	
						Sentinel-1A	13.11.2019	



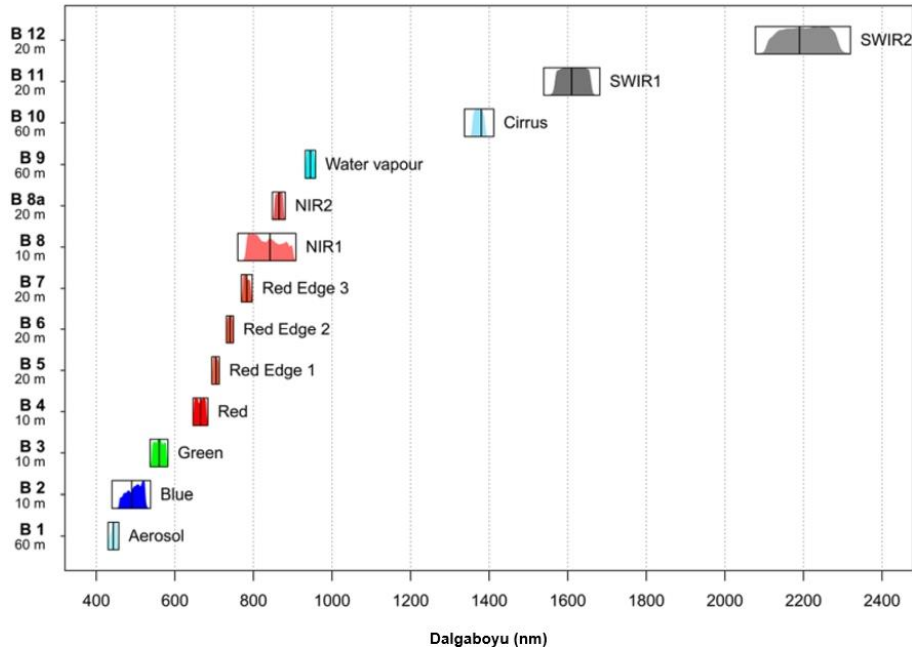
Şekil 3.14. Sentinel-1A ve Sentinel-1B uydu görüntülerinin ayak izleri (kapsama alanları); **a)** Yükselen yörünge yönünde, görece 58 numaralı yörüngeden elde edilen Sentinel-1A uydu görüntülerinin ayak izi; **b)** Yükselen yörünge yönünde, görece 58 numaralı yörüngeden elde edilen Sentinel-1B uydu görüntülerinin ayak izi; **c)** Yükselen yörünge yönünde, görece 160 numaralı yörüngeden elde edilen Sentinel-1A uydu görüntülerinin ayak izi; **d)** Yükselen yörünge yönünde, görece 160 numaralı yörüngeden elde edilen Sentinel-1B uydu görüntülerinin ayak izi; **e)** Alçalan yörünge yönünde, görece 65 numaralı yörüngeden elde edilen Sentinel-1A uydusu görüntülerinin ayak izi; **f)** Alçalan yörünge yönünde, görece 65 numaralı yörüngeden elde edilen Sentinel-1B uydu görüntülerinin ayak izi

3.2.1.2. Multispektral (Sentinel-2) uydu görüntüleri

Sentinel-2, kara yüzeylerinin ve bitki örtüsünün izlenmesi için geniş şeritli (290 km), yüksek çözünürlüklü ve 13 spektral banttan oluşan yenilikçi bir multispektral sensör (çok bantlı optik sensör) taşımaktadır (ESA 2017d, e) (Şekil 3.15). Bu 13 spektral bant; 10 m çözünürlüğündeki 4 banttan, 20 m çözünürlüğündeki 6 banttan ve 60 m çözünürlüğündeki 3 banttan oluşmaktadır (ESA 2017f, g, h, i, j, k, l; NİK Sistem 2021) (Şekil 3.16). Sentinel-2 uydusunun multispektral sensörü (MSI), dünyadan yansıyan güneş ışığını toplayarak pasif olarak çalışmaktadır (ESA 2017g, h, i).



Şekil 3.15. Sentinel-2 uydusu (ESA 2015, 2017d)

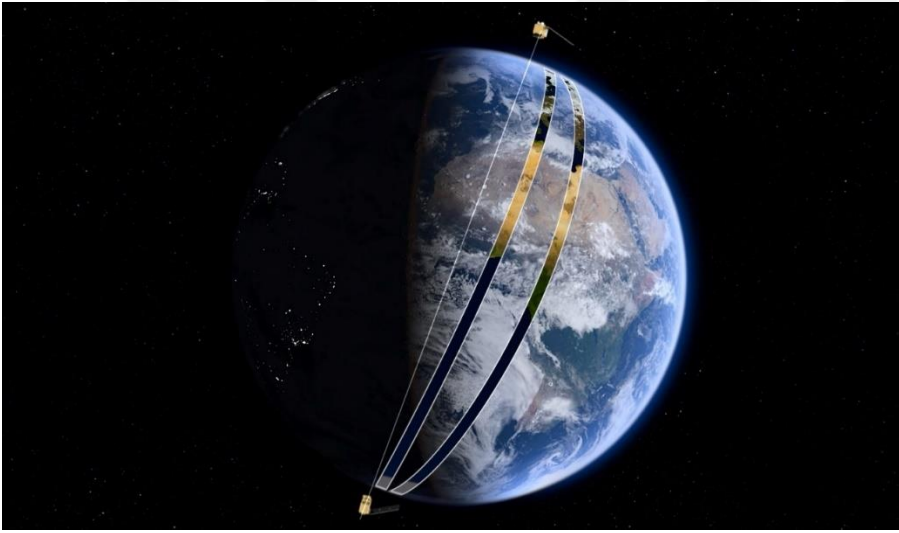


Şekil 3.16. Sentinel-2 uydusunun spektral bantları (NİK Sistem 2021)

Sentinel-2 uydusunun amaçları şunlardır (ESA 2017g, h, i):

- Yüksek tekrar ziyaret sıklığı ile küresel ölçekte yüksek çözünürlüklü multispektral görüntülerin sistematik olarak elde edilmesi,
- SPOT serisi ve LANDSAT TM uyduları tarafından sağlanan multispektral görüntülerin sürekliliğinin sağlanması,
- Arazi örtüsü haritaları, arazi değişikliği tespit haritaları ve jeofizik değişkenler için gözlem verilerinin sağlanması.

Sentinel-2, 180° yörünge faz farkı ile aynı yörünge düzlemini paylaşan ve aynı özelliklere sahip Sentinel-2A ve Sentinel-2B adlı iki uydudan oluşan bir sistem olarak tasarlanmıştır (ESA 2017e, g, h, i, m; NİK Sistem 2021) (Şekil 3.17). Sentinel-2A uydusu 23 Haziran 2015 tarihinde, Sentinel-2B uydusu ise 7 Mart 2017 tarihinde Fransız Guyanası'nın Kourou şehrinde bulunan Avrupa Uzay Limanı'ndan Vega Roketi ile fırlatılmıştır (ESA 2017g, h, i).



Şekil 3.17. 180° yörünge faz farkı ile aynı yörünge düzlemini paylaşan ve aynı özelliklere sahip Sentinel-2A ve Sentinel-2B uydularının oluşturduğu Sentinel-2 sistemleri (ESA 2017n)

Sentinel-2, 56° Güney'den 82.8° Kuzey'e uzanan bir enlem aralığındaki tüm kara yüzeyleri ve kıyı alanları üzerinden sistematik olarak veri toplamaktadır (ESA 2017g, h, i, j, k, l). Tek bir uydü için tekrar ziyaret sıklığı/tekrar döngüsü (zamansal çözünürlük) ekvatorda 10 gün iken, her iki uydunun birlikte kullanılmasıyla bu süre 5 güne düşmektedir (ESA 2017j, k, l). Sentinel-2 uydusunun özelliklerine ilişkin bilgiler Çizelge 3.10'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.10. Sentinel-2 uydusunun özellikleri (ESA 2017o)

Fırlatılış Tarihleri	Sentinel-2A: 23 Haziran 2015 Sentinel-2B: 7 Mart 2017
Fırlatılış Yeri	Kourou, Fransız Guyanası
Fırlatma Aracı	Vega Roketi
Yörünge	786 km yükseklikte güneş eş zamanlı kutupsal yörünge
Tekrar Ziyaret Sıklığı/Tekrar Döngüsü (Zamansal Çözünürlük)	İki uydunun birlikte kullanılmasıyla ekvatorda 5 gün
Kapsama Alanı	56° Güney ile 82.8° Kuzey enlemleri arasındaki tüm kara yüzeyleri ve kıyı alanları üzerinden sistematik olarak veri toplamaktadır.
Ömrü	En az 7 yıl
Uydu	3.4 m uzunluğunda, 1.8 m genişliğinde, 2.35 m yüksekliğinde
Ağırlık	1140 kg (123 kg yakıt dâhil)
Sensör	290 km’lik şerit genişliği ile 10 m çözünürlüğünde 4 bant (görünür ve yakın kızılötesi bölgesinde), 20 m çözünürlüğünde 6 bant (kırmızı kenar ve kısa dalga kızılötesi bölgesinde) ve 60 m çözünürlüğünde 3 bant (atmosferik düzeltme için) olmak üzere 13 spektral bandı kapsayan (443 nm – 2190 nm) multispektral sensör (MSI)
Ana Uygulamalar	Tarımın, ormanların, arazi kullanımı değişikliğinin, arazi örtüsü değişikliğinin izlenmesi; yaprak klorofil içeriği, yaprak su içeriği, yaprak alan indeksi gibi biyofiziksel değişkenlerin haritalanması; ülkelerin kıyı ve iç bölgelerinde yer alan su yüzeylerinin izlenmesi; risk haritalama ve afet haritalama
Finansman	ESA üye devletleri ve Avrupa Birliği
Ana Yükleniciler	Uydu için: Airbus Defence and Space, Almanya MSI için: Airbus Defence and Space, Fransa

Sentinel-2, 3’ü görünür 1’i yakın kızılötesi bölgesinde olmak üzere 10 m çözünürlüğünde 4 banda; kar/buz/bulut tespiti veya bitki örtüsü nem stresi değerlendirmesi gibi uygulamalar için 4’ü kırmızı kenar/görünür yakın kızılötesi 2’si kısa dalga kızılötesi bölgesinde olmak üzere 20 m çözünürlüğünde 6 banda; atmosferik düzeltme, bulut taraması ve sirrus tespiti için ise 60 m çözünürlüğünde aerosol, su buharı ve sirrus isimli 3 banda sahiptir (ESA 2017j, k, l). Sentinel-2 uydusunun mekânsal ve spektral çözünürlükleri Çizelge 3.11’de gösterilmiştir. Sentinel-2 uydusunun radyometrik çözünürlüğü ise 12 bittir. Dolayısıyla Sentinel-2 uydusunun multispektral sensörü, görüntüleri 0 ila 4095 ($2^{12} = 4096$) değer aralığındaki parlaklık seviyelerinde elde etmektedir (ESA 2017g, h, i, j, k, l).

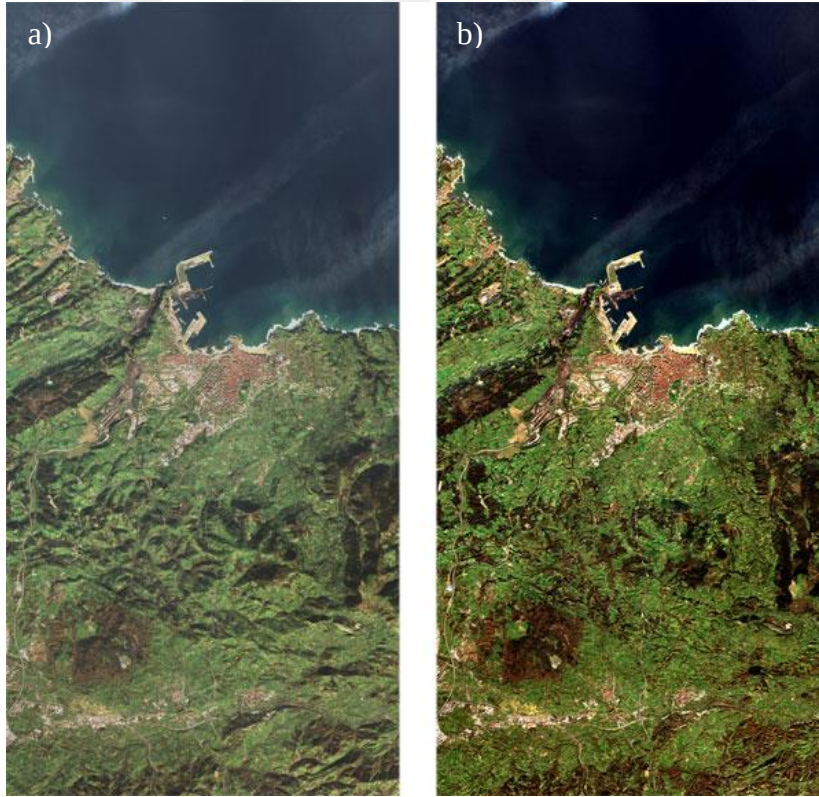
Çizelge 3.11. Sentinel-2 uydusunun mekânsal ve spektral çözünürlükleri (ESA 2017g, h, i, j, k, l)

Mekânsal Çözünürlük (m)	Bant İsmi / Bandın EMS'de Yer Aldığı Bölge		Bant No.	Sentinel-2A		Sentinel-2B	
				Merkezî Dalga Boyu (nm)	Bant Genişliği (nm)	Merkezî Dalga Boyu (nm)	Bant Genişliği (nm)
10	Görünür	Mavi	2	492.4	66	492.1	66
		Yeşil	3	559.8	36	559.0	36
		Kırmızı	4	664.6	31	664.9	31
		Yakın Kızılötesi	8	832.8	106	832.9	106
20	Kırmızı Kenar/Görünür Yakın Kızılötesi		5	704.1	15	703.8	16
			6	740.5	15	739.1	15
			7	782.8	20	779.7	20
			8a	864.7	21	864.0	22
	Kısa Dalga Kızılötesi		11	1613.7	91	1610.4	94
			12	2202.4	175	2185.7	185
60	Aerosol		1	442.7	21	442.2	21
	Su Buharı		9	945.1	20	943.2	21
	Sirrüs		10	1373.5	31	1376.9	30

Sentinel-2 uydusunun multispektral sensörü, tek bir gözlem modunda sistematik olarak veri toplamaktadır (ESA 2017p). Sentinel-2 uydusunun elde ettiği görüntüler işlenerek Seviye-0, Seviye-1A, Seviye-1B, Seviye-1C ve Seviye-2A ürünleri üretilmektedir. Seviye-0, Seviye-1A ve Seviye-1B ürünleri kullanıcılara sunulmamaktadır: Kullanıcılar için yalnızca Seviye-1C ve Seviye-2A ürünleri mevcuttur (ESA 2017j, k, l, m, r, s, t). Seviye-1C ve Seviye-2A ürünleri UTM/WGS84 projeksiyonunda $100 \times 100 \text{ km}^2$ 'lik orto-görüntülerdir (ESA 2017g, h, i, j, k, l). Seviye-2A ürünleri Sen2Cor işlemcisi kullanılarak üretilen ürünler olup, kullanıcılar da Sentinel-2 Araç Kutusu'nu (Sentinel-2 Toolbox) kullanarak Seviye-1C ürünlerinden Seviye-2A ürünlerini üretebilmektedirler (ESA 2017g, h, i, j, k, l, r, s, t). Sentinel-2 uydusunun ürün seviyelerine ilişkin bilgiler Çizelge 3.12'de gösterilmiştir. Sentinel-2 uydusunun elde ettiği bir görüntü örneği ise Şekil 3.18'de gösterilmiştir.

Çizelge 3.12. Sentinel-2 uydusunun ürün seviyelerine ilişkin bilgiler (ESA 2017j, k, l, r, s, t)

Ürün Seviyesi	Özellikler
Seviye-0	Sıkıştırılmış ham verilerdir. Seviye-0 ürünü, diğer ürün seviyelerini oluşturmak için gereken tüm bilgileri içermektedir.
Seviye-1A	Kabaca birlikte kaydedilen spektral bantları ve yardımcı verileri içeren açılmış ham verilerdir.
Seviye-1B	Sensör geometrisinde radyometrik düzeltmesi yapılmış parlaklık verileridir.
Seviye-1C	Alt piksel doğruluğunda küresel bir referans sistemi üzerine ortorektifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş, radyometrik ve geometrik düzeltmeleri yapılmış, atmosfer üstü (TOA) yansıma değerlerini içeren ürünlerdir. Bulut ve kara/su maskeleri ürüne dâhildir.
Seviye-2A	Alt piksel doğruluğunda küresel bir referans sistemi üzerine ortorektifikasyon işlemi gerçekleştirilmiş, radyometrik, geometrik ve atmosferik düzeltmeleri yapılmış, atmosfer altı (BOA) yansıma değerlerini içeren ürünlerdir. Bir sınıflandırma haritası (bulut, bulut gölgeleri, bitki örtüsü, toprak/çöl, su, kar vb.) ürüne dâhildir.

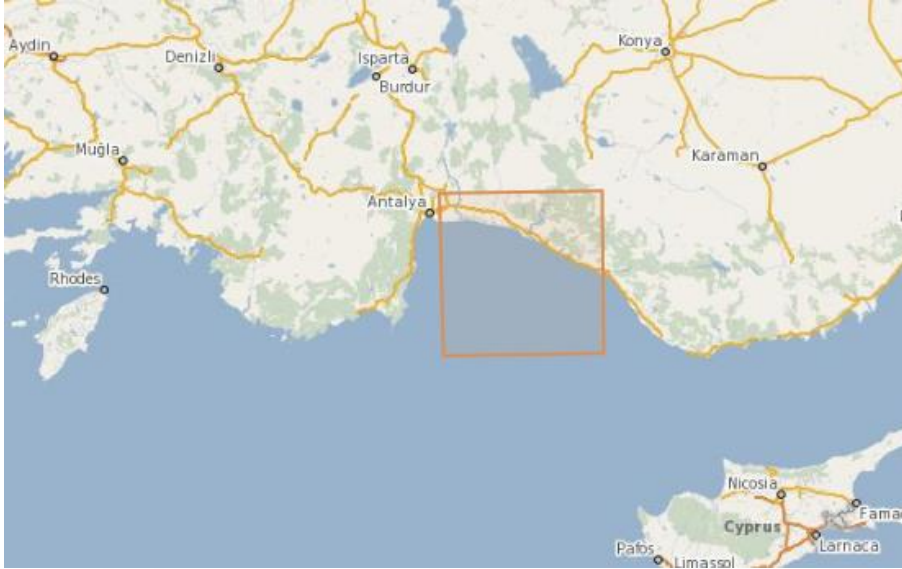


Şekil 3.18. Sentinel-2 uydusunun elde ettiği bir görüntü örneği; **a)** Seviye-1C ürün örneği; **b)** Seviye-2A ürün örneği (ESA 2017j, k, l)

Bu çalışmada, Sentinel-2A ve Sentinel-2B multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Uydu görüntüleri, Copernicus Açık Erişim Merkezi'nden (<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>) temin edilmiştir. Çalışma kapsamında, 9 Temmuz 2019 – 13 Kasım 2019 tarihleri arasında elde edilen ve çalışma alanını kapsayan tüm Sentinel-2 uydu görüntüleri kullanılmıştır. Bu uydu görüntüleri; UTM/WGS84 projeksiyonuna ortorektifiye edilmiş, radyometrik, geometrik ve atmosferik düzeltmeleri yapılmış, atmosfer altı (BOA) yansıma değerlerini içeren Seviye-2A ürünleridir. Sentinel-2A ve Sentinel-2B uydu görüntüleri Çizelge 3.13'te listelenmiştir. Bu uydu görüntülerinin ayak izi (kapsama alanı) ise Şekil 3.19'da gösterilmiştir.

Çizelge 3.13. Sentinel-2A ve Sentinel-2B uydu görüntüleri

Ürün Seviyesi	Yörünge Yönü	Görece Yörünge Numarası	Uydu Adı	Tarih	Saat (UTC+03:00)
Seviye-2A	Alçalan	64	Sentinel-2B	11.07.2019	Bu uydu görüntüleri, saat 11:38'de elde edilmiştir.
			Sentinel-2A	16.07.2019	
			Sentinel-2B	21.07.2019	
			Sentinel-2A	26.07.2019	
			Sentinel-2B	31.07.2019	
			Sentinel-2A	05.08.2019	
			Sentinel-2B	10.08.2019	
			Sentinel-2A	15.08.2019	
			Sentinel-2B	20.08.2019	
			Sentinel-2A	25.08.2019	
			Sentinel-2B	30.08.2019	
			Sentinel-2A	04.09.2019	
			Sentinel-2B	09.09.2019	
			Sentinel-2A	14.09.2019	
			Sentinel-2B	19.09.2019	
			Sentinel-2B	29.09.2019	
			Sentinel-2A	04.10.2019	
			Sentinel-2B	09.10.2019	
			Sentinel-2A	14.10.2019	
			Sentinel-2B	19.10.2019	
			Sentinel-2A	24.10.2019	
			Sentinel-2B	29.10.2019	
			Sentinel-2A	03.11.2019	
			Sentinel-2B	08.11.2019	
			Sentinel-2A	13.11.2019	



Şekil 3.19. Sentinel-2A ve Sentinel-2B uydu görüntülerinin ayak izi (kapsama alanı)

3.2.3. Bitki boyu ölçüm işlemleri

Bitki boylarının ölçülmesinde 3 m uzunluğunda bir çelik şerit metre kullanılmıştır. Bitki boyu ölçümünün yapıldığı noktaların koordinatlarının belirlenmesinde ise Şekil 3.20’de gösterilen Magellan eXplorer 610 marka el tipi GPS kullanılmıştır. Kullanılan GPS’in özellikleri Çizelge 3.14’te gösterilmiştir.



Şekil 3.20. Magellan eXplorer 610 marka el tipi GPS (Geomatics Group 2021)

Çizelge 3.14. Magellan eXplorist 610 marka el tipi GPS'in özellikleri (Geomatrics Group 2021)

GPS	20 Paralel Kanallı SırfStar III
Ekran / Boyut	Dokunmatik, WQVGA (240×400) / 3
İşlemci	400 MHz
İşletim Sistemi	WinCE 5.0 Core
Nokta Kayıt	2000 Adet + 10000 Adet
Rota	V200 Bacaklı 500 Adet Dosya
İz Kaydı	10000 Nokta × 200 Adet Dosya
Hafıza	4 GB Dahili Hafıza
SD Kart Desteği	32 GB Kadar Destekli
Bağlantı	USB 2.0 (Harici Disk - NMEA 0183)
Güç Tipi / Ömrü	2 × AA Alkalın Tip Pil / 16 Saat
Pusula	3 Eksenli Elektronik Pusula
Yükseklik / Basınç	Barometrik, GPS, Harita / Barometre
Akselerometre	Var
Ağırlık	200 Gram (Batarya Hariç)
Koordinat Gösterimi	Seçilen 2 Farklı Koordinat Sistemini Aynı Anda
Ekranında Gösterme Özelliği	Koordinat Sistemleri Enlem/Boylam, UTM (6°) (3°)
Harita Datuamları	ITRF, WGS84, ED50, Kullanıcı Datumu 7 Parametre
Hassasiyet (SBAS)	WGS84-ITRF Datuamlarında 1-3 metre, ED50 Datumunda 1-5 metre
Alan Hesabı	Var (Hem Rota Hem İz Çizgisi Üzerinden)
İmaj Harita	Taranmış Resim Harita Yüklenebilme Özelliği (Kullanıcı)
Kara Haritası	Var, Standart (Kara Yolları, Köy Yolları, 3B Topoğrafya, Kıyı Çizgisi, 95 Yerleşim Yeri Cadde-Sokakları)
Deniz Haritası	Opsiyonel – Marmara, Ege, Akdeniz, Karadeniz
WAAS / EGNOS / MSAS	Var
Su Geçirmezlik	IPX7 – Su, Toz Geçirmez Lastik Kaplamalı Dayanıklı Kasa Seçilebilir
Navigasyonel Bilgi	Hedef Doğrultu, Mesafe, Hız, İstikamet, Kalan Zaman, Seyahat Zamanı, Yükseklik, Zaman, Tarih, XTE, DMG, VMG vs.
Alarm	Var – Sesli-Sessiz (GPS Sinyali, Sürüklenme, Rotadan Sapma, Yaklaşma, Varma, Düşük Pil)
Koordinat Bilgilerini Güncelleme Süresi	1 sn
Çalışma Sıcaklığı	-10°C ila +60°C Arası

3.2.4. Meteorolojik veriler

Bu çalışmada, 09 Temmuz 2019 – 13 Kasım 2019 tarihleri arasına ilişkin meteorolojik veriler kullanılmıştır. Çalışma alanına en yakın gözlem şebekesi olan 17895 numaralı Aksu/Boztepe TİGEM istasyonundan elde edilen bu veriler, Meteoroloji 4. Bölge Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. Meteorolojik veriler Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



Şekil 3.21. Meteorolojik veriler; **a)** Günlük ortalama sıcaklık; **b)** Günlük ortalama nispi nem; **c)** Günlük ortalama rüzgâr hızı; **d)** Günlük toplam yağış

3.2.5. Yazılımlar

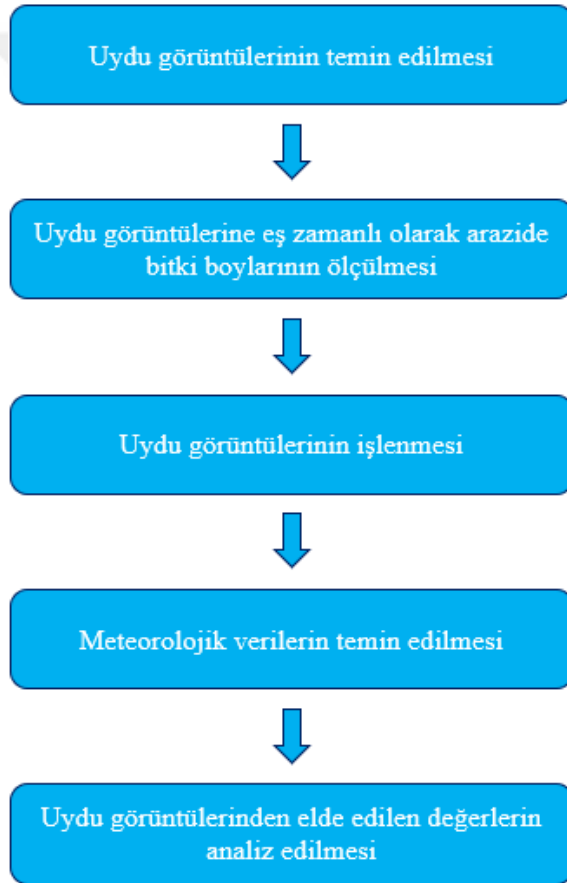
Çalışma kapsamında kullanılan yazılımlar şunlardır:

- SNAP 8.0,
- Netcad 5.2 GIS,
- AutoCAD 2018,
- ArcGIS 10.8,
- Google Earth Pro 7.3,
- Microsoft 365 Uygulamaları (Word, Excel, PowerPoint...).

Sentinel-1 uydu görüntülerinin işlenmesinde, SNAP yazılımının Sentinel-1 Araç Kutusu (8.0.4 versiyonu) ile SNAPHU Unwrapping eklentisi (2.0.4 versiyonu); Sentinel-2 uydu görüntülerinin işlenmesinde ise SNAP yazılımının Sentinel-2 Araç Kutusu (8.0.4 versiyonu) kullanılmıştır. SNAP yazılımı, STEP'ten (<http://step.esa.int/main/download/snap-download/>) indirilmiştir. Uydu görüntülerinden elde edilen değerlerin analiz edilmesinde ve bu değerlere ilişkin grafiklerin oluşturulmasında Microsoft 365 Uygulamaları kullanılmıştır. Tez içerisinde yer alan çizelgelerin ve bazı şekillerin oluşturulmasında da Microsoft 365 Uygulamaları'ndan yararlanılmıştır. El tipi GPS'in hafızasına kaydedilen koordinatların bilgisayar ortamına aktarılmasında Netcad GIS yazılımı kullanılmıştır. Netcad GIS yazılımına aktarılan bu koordinat değerleri kullanılarak ilgili görsellerin hazırlanmasında ise ArcGIS, AutoCAD ve Google Earth Pro yazılımlarından yararlanılmıştır.

3.3. Metot

Bu çalışmada, SAR ve multispektral uydu görüntüleri kullanılarak mısır vejetasyon dönemi gelişiminin izlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda; ekim işlemi gerçekleştirilmeden önce bitki örtüsüz toprağı, ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra işlenmiş toprağı ve/veya mısırın farklı büyüme aşamalarını, hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra ise bitki örtüsüz toprağı ve/veya üzerinde bitki kalıntısı bulunan toprak yüzeyini temsil eden Sentinel-1 SAR uydu görüntüleri ile Sentinel-2 multispektral uydu görüntüleri temin edilmiştir. Bu uydu görüntülerine eş zamanlı olarak arazide bitki boyları ölçülmüştür. Daha sonra, temin edilen tüm uydu görüntüleri işlenmiştir. Uydu görüntülerinden elde edilen değerlerin daha iyi analiz edilebilmesi için ise meteorolojik veriler temin edilmiştir. Son olarak, arazide gerçekleştirilen bitki boyu ölçümleri ve temin edilen meteorolojik veriler dikkate alınarak, uydu görüntülerinden elde edilen değerler analiz edilmiştir. Çalışmada izlenen iş akışı Şekil 3.22’de gösterilmiştir.



Şekil 3.22. İş akış şeması

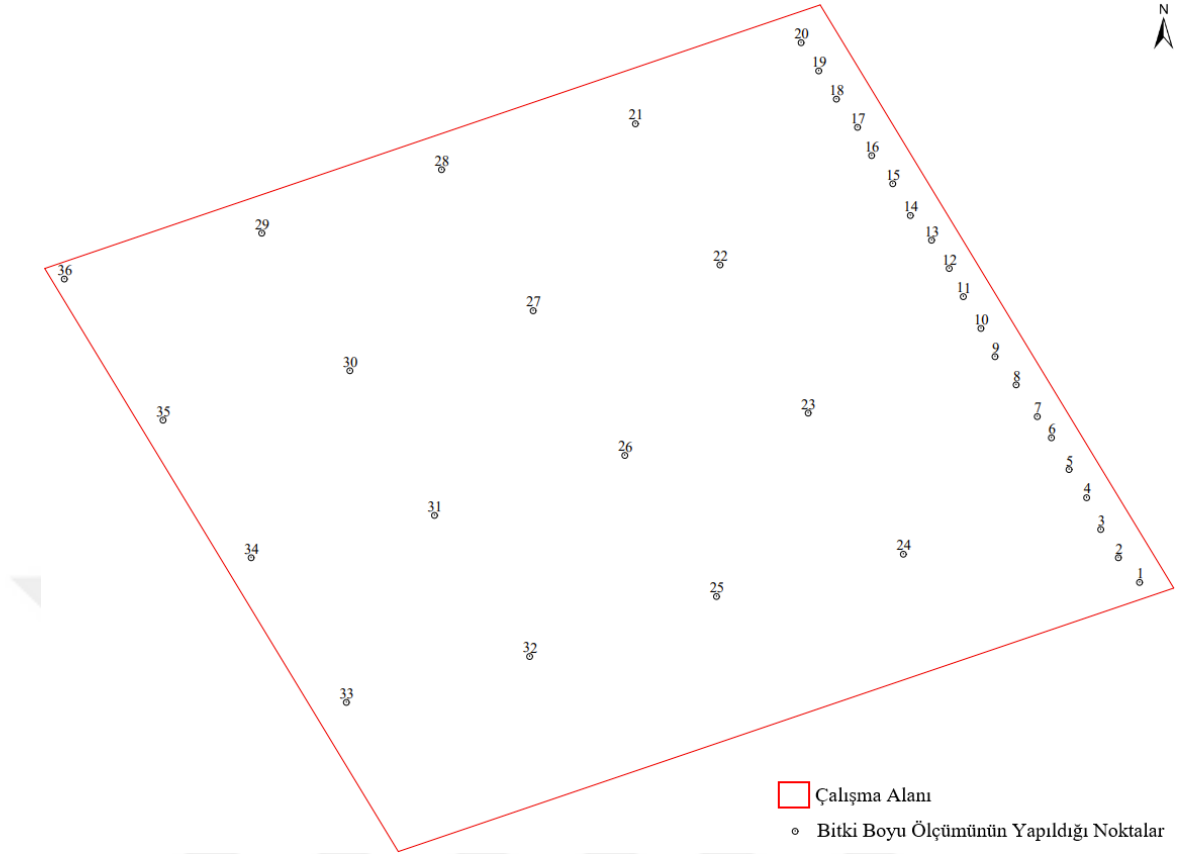
3.3.1. Uydu görüntülerine eş zamanlı olarak arazide bitki boyu ölçümü

Çalışma kapsamında, uydu görüntülerine eş zamanlı olarak arazide bitki boyları ölçülmüştür. Bitki boyu ölçüm işlemi, 3 m uzunluğundaki bir çelik şerit metre ile gerçekleştirilmiştir. Bitki boyları ölçülürken çelik şerit metre dik tutulmuş ve bitki boyu ölçümü, bitkinin en yüksek noktasından yapılmıştır (Şekil 3.23). Bitki boyu ölçümünün yapıldığı noktaların koordinatları, el tipi GPS ile (Şekil 3.20) belirlenmiştir. El tipi GPS'in hafızasına kaydedilen koordinatlar yardımıyla farklı tarihlerde de yaklaşık olarak aynı noktalardan bitki boyu ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.23. Çelik şerit metre ile bitki boyu ölçümü

Çalışma alanının genel durumunu yansıtmak için toplam 36 farklı noktada bitki boyu ölçümü yapılmıştır. Bu 36 noktanın 20'si aynı sıra üzerinde olup, noktalar arası mesafe yaklaşık 10 m'dir; diğer 16 nokta ise arazinin iç kısımlarında olup, noktalar arası mesafe yaklaşık 50 m'dir. Bitki boyu ölçümünün yapıldığı noktalar Şekil 3.24'te gösterilmiştir. Bu şekilde, 1 numaralı noktadan 20 numaralı noktaya kadar tüm noktalar arasındaki mesafe yaklaşık 10 m olup, diğer noktalar arasındaki mesafe ise yaklaşık 50 m'dir. Bitki boyu ölçümünün yapıldığı noktaların coğrafi koordinatları Çizelge 3.15'te gösterilmiştir.



Şekil 3.24. Bitki boyu ölçümünün yapıldığı noktalar

Çizelge 3.15. Bitki boyu ölçümünün yapıldığı noktaların coğrafi koordinatları

Nokta Adı	COĞRAFİ KOORDİNATLAR (WGS84)			
	Ondalık Derece		Derece Dakika Saniye	
	Enlem	Boylam	Enlem	Boylam
1	36.91843° N	30.88680° E	36°55'06.348" N	30°53'12.480" E
2	36.91850° N	30.88674° E	36°55'06.600" N	30°53'12.264" E
3	36.91858° N	30.88669° E	36°55'06.888" N	30°53'12.084" E
4	36.91867° N	30.88665° E	36°55'07.212" N	30°53'11.940" E
5	36.91875° N	30.88660° E	36°55'07.500" N	30°53'11.760" E
6	36.91884° N	30.88655° E	36°55'07.824" N	30°53'11.580" E
7	36.91890° N	30.88651° E	36°55'08.040" N	30°53'11.436" E
8	36.91899° N	30.88645° E	36°55'08.364" N	30°53'11.220" E
9	36.91907° N	30.88639° E	36°55'08.652" N	30°53'11.004" E
10	36.91915° N	30.88635° E	36°55'08.940" N	30°53'10.860" E
11	36.91924° N	30.88630° E	36°55'09.264" N	30°53'10.680" E
12	36.91932° N	30.88626° E	36°55'09.552" N	30°53'10.536" E

(Devamı Arkada)

Çizelge 3.15'in devamı

Nokta Adı	COĞRAFİ KOORDİNATLAR (WGS84)			
	Ondalık Derece		Derece Dakika Saniye	
	Enlem	Boylam	Enlem	Boylam
13	36.91940° N	30.88621° E	36°55'09.840" N	30°53'10.356" E
14	36.91947° N	30.88615° E	36°55'10.092" N	30°53'10.140" E
15	36.91956° N	30.88610° E	36°55'10.416" N	30°53'09.960" E
16	36.91964° N	30.88604° E	36°55'10.704" N	30°53'09.744" E
17	36.91972° N	30.88600° E	36°55'10.992" N	30°53'09.600" E
18	36.91980° N	30.88594° E	36°55'11.280" N	30°53'09.384" E
19	36.91988° N	30.88589° E	36°55'11.568" N	30°53'09.204" E
20	36.91996° N	30.88584° E	36°55'11.856" N	30°53'09.024" E
21	36.91973° N	30.88537° E	36°55'11.028" N	30°53'07.332" E
22	36.91933° N	30.88561° E	36°55'09.588" N	30°53'08.196" E
23	36.91891° N	30.88586° E	36°55'08.076" N	30°53'09.096" E
24	36.91851° N	30.88613° E	36°55'06.636" N	30°53'10.068" E
25	36.91839° N	30.88560° E	36°55'06.204" N	30°53'08.160" E
26	36.91879° N	30.88534° E	36°55'07.644" N	30°53'07.224" E
27	36.91920° N	30.88508° E	36°55'09.120" N	30°53'06.288" E
28	36.91960° N	30.88482° E	36°55'10.560" N	30°53'05.352" E
29	36.91942° N	30.88431° E	36°55'09.912" N	30°53'03.516" E
30	36.91903° N	30.88456° E	36°55'08.508" N	30°53'04.416" E
31	36.91862° N	30.88480° E	36°55'07.032" N	30°53'05.280" E
32	36.91822° N	30.88507° E	36°55'05.592" N	30°53'06.252" E
33	36.91809° N	30.88455° E	36°55'05.124" N	30°53'04.380" E
34	36.91850° N	30.88428° E	36°55'06.600" N	30°53'03.408" E
35	36.91889° N	30.88403° E	36°55'08.004" N	30°53'02.508" E
36	36.91929° N	30.88375° E	36°55'09.444" N	30°53'01.500" E

Çalışma kapsamında 11 farklı tarihte bitki boyu ölçüm işlemi gerçekleştirilmiştir. Bitki boyu ölçümünün yapıldığı her tarih için ortalama bitki boyu hesaplanmıştır. Arazide ölçülen mısır boyları Çizelge 3.16'da, ortalama mısır boyları ise Şekil 3.25'te gösterilmiştir.

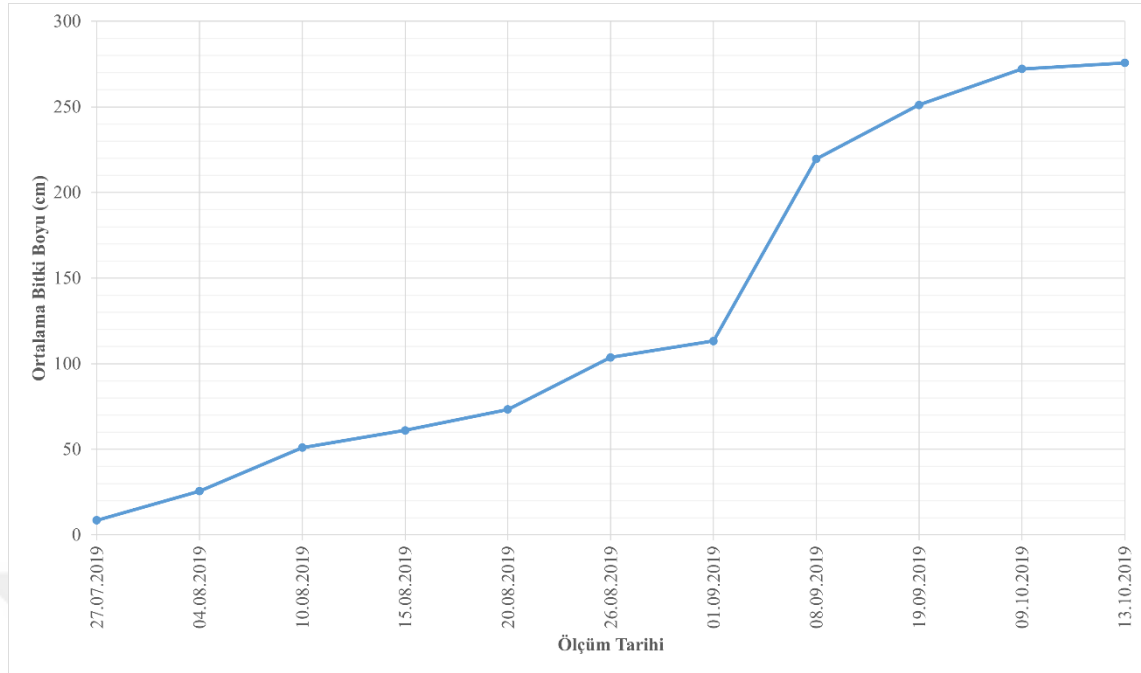
Çizelge 3.16. Arazide ölçülen mısır boyları

Bitki Boyları (cm)											
Nokta No. Tarih	27.07.2019	04.08.2019	10.08.2019	15.08.2019	20.08.2019	26.08.2019	01.09.2019	08.09.2019	19.09.2019	09.10.2019	13.10.2019
1	7.5	28	47	49	76	85.5	109	184	251	271	274
2	8.5	27.5	59	91.5	89	84	139.5	230	253	273	277
3	10.5	28	66.5	66	66.5	115	139	206	249	275	276
4	7.5	30.5	68.5	67	76.5	108.5	128	243	250	274	278
5	11	32	31	68.5	67.5	134	103	234	254	271	273
6	7	21	37	58	51	126.5	116	238	247	270	274
7	10	26	62	67	64	89.5	132	229	253	275	274
8	10.5	27.5	54	60	65	119	120	216	250	272	277
9	4	17	48	52	47.5	107	115	206	246	268	273
10	9.5	24	51	56.5	76	97	156	224	243	274	272
11	6	18	53.5	46	75.5	92	82	208	251	270	276
12	8	25	29	41	73	132.5	79	212	253	269	278
13	8.5	27.5	54	71	80	91	45	216	252	272	271
14	6.5	21	39	69.5	74	105	73	201	248	269	276
15	8	27	51	27.5	72.5	67.5	92	209	256	275	277
16	9	29	53	70	102.5	106	96	205	243	267	274
17	10.5	27	61	80	91.5	102	143	219	251	268	277
18	8.5	26	48	49.5	76.5	105	140	237	249	271	278
19	9	23.5	55.5	71.5	71	108	135	246	258	274	280

(Devamı Arkada)

Çizelge 3.16'nın devamı

Bitki Boyları (cm)											
Nokta No. Tarih	27.07.2019	04.08.2019	10.08.2019	15.08.2019	20.08.2019	26.08.2019	01.09.2019	08.09.2019	19.09.2019	09.10.2019	13.10.2019
20	8	20.5	50	60.5	69.5	99	113	225	244	273	275
21	9	26	50.5	58	71.5		133	230	255	275	276
22	6	29.5	53.5	56.5	77		108.5	204	243	269	272
23	11	27	48	61.5	71		126	216	257	273	275
24	8.5	24	54	67	73.5		96.5	223	252	274	277
25	10	22	47.5	64	70.5		94	228	253	272	274
26	9.5	26	50	58.5	74		131.5	242	261	275	278
27	7	24.5	54.5	59	78.5		109.5	203	248	271	275
28	8.5	21	51	62.5	72.5		123.5	217	254	275	276
29	8.5	26	53	59	71.5		127.5	209	251	273	277
30	5.5	29.5	49.5	60.5	79		115.5	232	263	276	279
31	8	30	56	66.5	75		107	211	256	272	273
32	9	27.5	48.5	63	70		88	218	244	269	275
33	11.5	23	51	61	72		110.5	219	245	270	273
34	8	22.5	53.5	64	73.5		121	226	247	275	280
35	9.5	25.5	48	59.5	69		104	215	254	276	275
36	9	29	48.5	57	74.5		125.5	224	256	273	278
Ortalama	8.5	25.5	51.0	61.1	73.3	103.7	113.3	219.6	251.1	272.2	275.6



Şekil 3.25. Ortalama mısır boyları

3.3.2. Uydu görüntülerinin işlenmesi

Uzaktan algılama görüntüleri, yapılarında sistematik ya da rastlantısal hatalar barındırırlar. Bu nedenle, bu hataların giderilmesi ve uygulamada kullanılabilmesi için birtakım düzeltmelerin yapılması gerekir. Bu düzeltme işlemleri çoğu zaman “ön işleme” olarak da adlandırılır. Çünkü bu işlemler, görüntülerden özel bilgiler elde etmek için daha sonraki adımlarda yapılan “işleme ve analiz” işlemlerinden daha önce yapılır (KTÜ 2016).

Ön işlem, veri analizinin ilk aşamasıdır. Ön işlemlerin amacı, algılayıcı ve platformdan dolayı oluşan radyometrik ve geometrik bozulmaları ortadan kaldırmaktır (Yomralıoğlu 2005). Bu nedenle ön işlemler, görüntüyü belirli bir koordinat sistemine oturtmaya yarayan “geometrik düzeltme” ve algılanan görüntüde objeyi temsil etmeyen yansımaların giderilmesini amaçlayan “radyometrik düzeltme” gibi işlem adımlarını içermektedir (KTÜ 2016).

Uydu görüntüleri, genellikle belirli düzeltmeleri yapıldıktan sonra kullanıcılara sunulmaktadır. Kullanıcılara sunulmadan önce yapılan düzeltmeler, uydu görüntüsünün ürün seviyesine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu nedenle uydu görüntüsünün ürün seviyesi, kullanıcılar tarafından uygulanacak işlem adımlarını belirlemektedir.

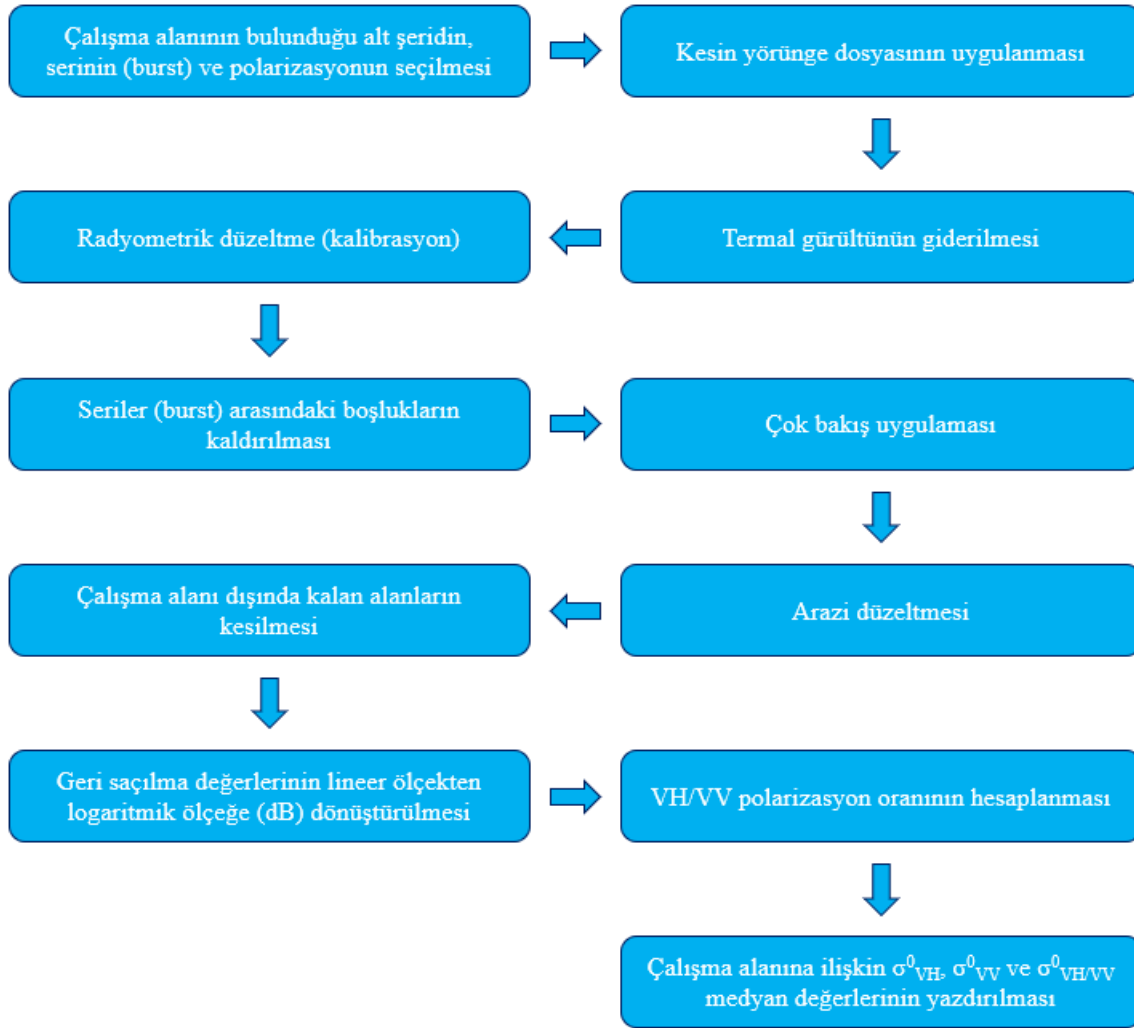
3.3.2.1. SAR (Sentinel-1) uydu görüntülerinin işlenmesi

SAR görüntülerinin ön işleme tabi tutulması çok önemlidir. Çünkü amaç, sensör tarafından gönderilen mikrodalga sinyalinin, yeryüzünden saçıldıktan sonra sensör tarafından kaydedilen gerçek yoğunluğunu türetmektir (Dimov vd. 2016).

Bu çalışma kapsamında; geri saçılma değerlerinin hesaplanması için ayrı, interferometrik uyumluluk değerlerinin hesaplanması için ayrı ve bitki boylarının hesaplanması için ayrı olmak üzere, Sentinel-1 uydu görüntülerine toplamda 3 farklı ön işlem adımı uygulanmıştır.

- **Geri saçılma değerlerinin hesaplanması için Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları**

Geri saçılma değerlerinin hesaplanması için Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları Şekil 3.26’da gösterilmiştir. Uygulanan işlem adımlarına ilişkin bilgiler ise aşağıda listelenmiştir:



Şekil 3.26. Geri saçılma değerlerinin hesaplanması için Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları

Çalışma alanının bulunduğu alt şeridin, serinin (burst) ve polarizasyonun seçilmesi: Şekil 3.13a’da da görüldüğü üzere, Sentinel-1 uydusunun IW modunda elde ettiği görüntülerin Seviye-1 SLC ürünleri 3 alt şeritten (IW1, IW2 ve IW3) ve bir veri serisinden (burst) oluşmaktadır. Bu nedenle, işlem sürecinin hızlandırılması için yalnızca

çalışma alanının bulunduğu alt şeridin ve serinin (burst) seçilmesi gerekmektedir. Bu çalışma kapsamında, çalışma alanının bulunduğu alt şerit ve seri (burst) seçim işlemi Çizelge 3.17’de yer alan bilgilere göre gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, çalışmada kullanılan Sentinel-1 uydu görüntüleri çift polarizasyona (VV+VH) sahip olup (Çizelge 3.9), bu işlem adımı her iki polarizasyon da seçilmiştir.

Çizelge 3.17. Çalışma alanının bulunduğu alt şerit ve seri (burst) bilgileri

Yörünge Yönü	Görece Yörünge Numarası	Çalışma Alanının Bulunduğu Alt Şerit	Çalışma Alanının Bulunduğu Seri (Burst)	Uydu Adı
Yükselen	58	IW3	8	Sentinel-1A
				Sentinel-1B
Yükselen	160	IW1	5	Sentinel-1A
			8	Sentinel-1B
Alçalan	65	IW2	5	Sentinel-1A
			4	Sentinel-1B

Kesin yörünge dosyasının uygulanması: Zamanlama hataları ve konumlandırma belirsizlikleri önemli piksel konum hatalarına neden olabilmektedir. Dolayısıyla dünya yüzeyindeki her bir görüntü pikselinin konumunun yüksek kaliteli tahmini için kesin sensör konumu ve hız vektörleri bilinmelidir (Loew ve Mauser 2007). Ancak, SAR ürünlerinin meta verilerinde sağlanan yörünge durum vektörleri genellikle doğru değildir (Filipponi 2019), çünkü uydular yörüngelerinden kayabilmektedirler (Dingle Robertson vd. 2020a). Uyduların kesin yörüngelerine ise kesin yörünge hesaplandıktan sonra, yani ürünün üretilmesinden günler veya haftalar sonra erişilebilmektedir (Filipponi 2019).

Kesin yörünge dosyası, doğru uydu konumu ve hız bilgisi sağlar (Filipponi 2019). Bu nedenle kesin yörünge dosyasının uygulanması çok önemlidir. SNAP yazılımında kesin yörünge dosyaları otomatik olarak indirilmekte ve bu bilgiler ışığında ürünün meta verisindeki yörünge durum vektörleri güncellenmektedir (Filipponi 2019).

Termal gürültünün giderilmesi: Termal gürültü, radar sensörünün elektronik devrelerinden kaynaklanmaktadır ve mikrodalgadaki ana gürültü kaynaklarından biridir. Termal gürültü, esas olarak sinyal gürültü oranı (SNR) düşük olduğunda sinyali etkilemektedir (Baup vd. 2019). Bu nedenle benzer polarizasyonlarda termal gürültünün etkisi neredeyse hiç fark edilmemektedir (Park vd. 2018). Ancak, çapraz polarizasyon termal gürültüden önemli ölçüde etkilenmektedir (Park vd. 2018; Baup vd. 2019).

Termal gürültü, özellikle düşük geri saçılmalara sahip çapraz polarizasyon görüntülerinin analiz edilmesini zorlaştırmaktadır. Bu nedenle, çapraz polarizasyondan yararlı bilgiler elde etmek için hassas termal gürültü düzeltmeleri gerekmektedir (Park vd. 2018).

Sentinel-1 uydusunun Seviye-1 ürünleri, her veri seti için bir gürültü Arama Tablosu (LUT) sağlar (ESA 2016j, k, l). Arama Tablosu'ndaki bu bilgiler, termal gürültünün giderilmesinde kullanılır. Termal gürültünün giderilmesinde (3.1)'deki bağıntı kullanılmaktadır (ESA 2016j, k, l):

$$noise(i) = \frac{\eta_i}{A_i^2} \quad (3.1)$$

Bu bağıntıda;

$noise(i) = \beta_i^0, \sigma_i^0, \gamma_i^0$ veya orijinal DN_i 'den biri için kalibre edilmiş gürültü profilini,

η_i = Arama Tablosu'ndaki gürültüyü,

A_i = β Sıfır(i), σ Sıfır(i), γ Sıfır(i) veya $dn(i)$ 'den birini temsil etmektedir.

Radyometrik düzeltme (kalibrasyon): SAR sensörleri, gönderdikleri elektromanyetik sinyale karşılık yüzeyden gelen geri saçılmaları kaydeder. Kaydedilen bu geri saçılmalar piksel başına yoğunluk biçimindedir (Portnoi 2017). Yoğunluk değerleri, geri saçılma katsayısı olarak bilinen fiziksel bir miktara dönüştürülmelidir (Portnoi 2017; Useya ve Chen 2019). Kalibrasyon, dijital piksel değerlerini lineer birimlerde geri saçılma katsayılarına dönüştürür (El Hajj vd. 2019; Filippini 2019).

Kalibrasyonun amacı; dijital piksel değerlerinin, yüzeyin radar geri saçılmasıyla doğrudan ilişkili olabileceği görüntüleri sağlamaktır (Anonymous 5; ESA 2016j, k, l). Kalibre edilmemiş SAR görüntüleri nitel kullanım için yeterli olsa da kalibre edilmiş SAR görüntüleri SAR verilerinin nicel kullanımı için gereklidir. Bu nedenle, farklı sensörlerle veya aynı sensörle ancak farklı zamanlarda, farklı modlarda elde edilen veya farklı işlemciler tarafından işlenen SAR görüntüleri arasında bir karşılaştırma yapılmak istenildiğinde, radyometrik kalibrasyonun yapılması gerekmektedir (Anonymous 5).

Radyometrik düzeltmeleri yapılmadan kullanıcılara sunulan Sentinel-1 uydusunun Seviye-1 ürünleri, önemli radyometrik sapmalar içermektedir. Sentinel-1 uydu görüntülerinin piksel değerlerinin, yüzeyin gerçek geri saçılmasını temsil etmesi için radyometrik düzeltmenin yapılması gerekmektedir (Anonymous 5). Dijital piksel değerlerini radyometrik olarak kalibre edilmiş geri saçılmalara dönüştürmek için gerekli tüm bilgiler Seviye-1 ürününde mevcuttur. Seviye-1 ürünleri; β_i^0, σ_i^0 ve γ_i^0 üretmek veya dijital sayıya (DN_i) geri dönmek için 4 kalibrasyon Arama Tablosu sağlar. Bu sayede, görüntü yoğunluğu değerleri geri saçılma katsayılarına basit bir şekilde dönüştürülebilmektedir. Radyometrik kalibrasyonun gerçekleştirilmesinde (3.2)'deki bağıntı kullanılmaktadır (ESA 2016j, k, l):

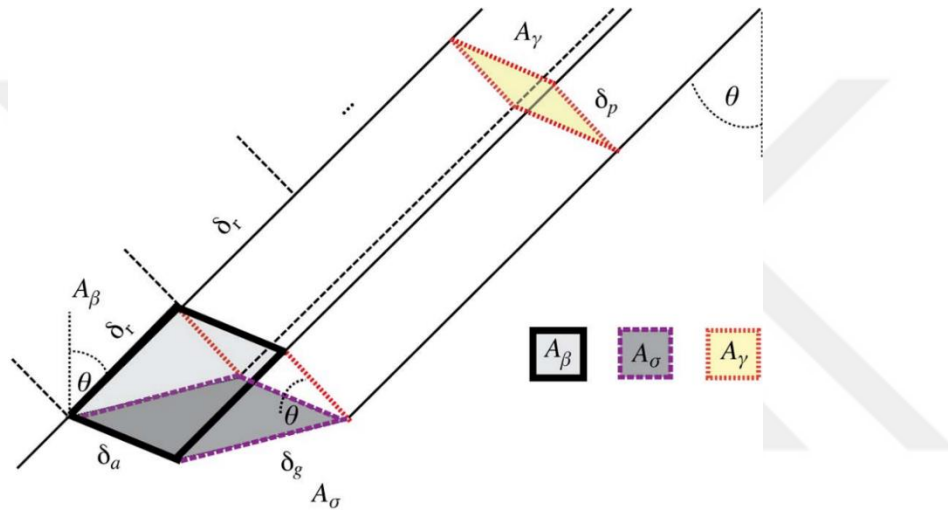
$$value(i) = \frac{|DN_i|^2}{A_i^2} \quad (3.2)$$

Bu bağıntıda;

$\text{value}(i) = \beta^0_i, \sigma^0_i, \gamma^0_i$ veya orijinal DN_i 'den birini,

$A_i = \text{betaSıfır}(i), \text{sigmaSıfır}(i), \text{gamaSıfır}(i)$ veya $\text{dn}(i)$ 'den birini temsil etmektedir.

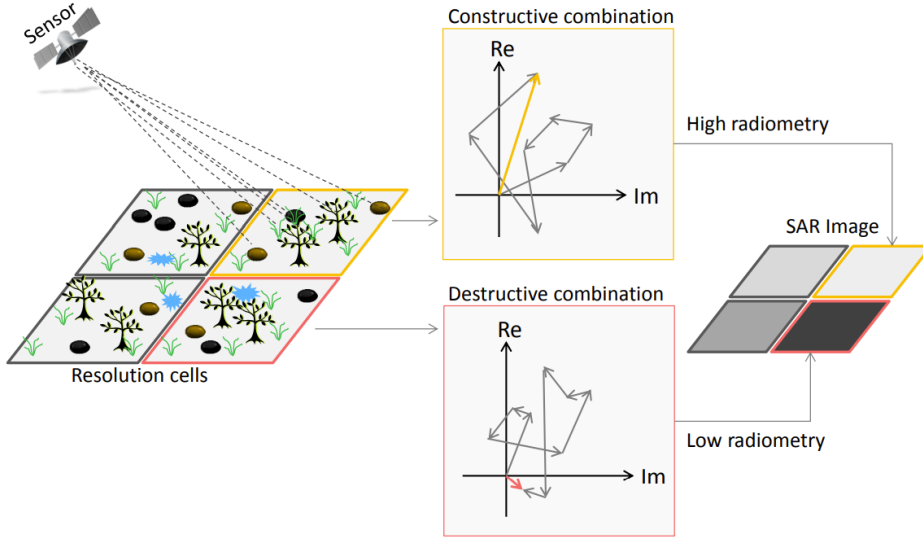
Bilimsel çalışmalarda, yüzey özelliklerine ilişkin bilgileri yorumlamak için genellikle Sigma Sıfır (σ^0) kullanılmaktadır (Anonymous 5). Bu nedenle bu çalışmada, dijital piksel değerleri radyometrik olarak kalibre edilmiş Sigma Sıfır geri saçılma katsayılarına dönüştürülmüştür. Sigma Sıfır, yatay düzleme göre tanımlanmakta olup (ESA 2016f, g, h, j, k, l) (Şekil 3.27), birim alan başına hedeften kaydedilen radar sinyallerinin gücünü açıklayan bir ölçüdür (Karjalainen vd. 2004).



Şekil 3.27. SAR geri saçılması için normalleştirme alanları (Small 2011)

Seriler (burst) arasındaki boşlukların kaldırılması: Şekil 3.13a'da da görüldüğü üzere, Sentinel-1 uydusunun IW modunda elde ettiği görüntülerin Seviye-1 SLC ürünleri 3 alt şeritten (IW1, IW2 ve IW3) ve bir veri serisinden (burst) oluşmaktadır. Seriler (burst) arasında da siyah dolgulu kısımlar, yani veri boşlukları bulunmaktadır. Bu sorun, Sentinel-1 uydusunun IW ve EW modlarında kullandığı TOPSAR tekniğinden kaynaklanmaktadır. SNAP yazılımı, seriler (burst) arasındaki bu veri boşluklarının kaldırılmasına olanak tanımaktadır.

Çok bakış uygulaması: SAR görüntülerinde tuz ve biber benzeri tanecikli dokular bulunmaktadır. SAR görüntülerinin doğası gereği var olan ve “benek” adı verilen bu dokular, görüntünün kalitesini düşürmekte ve görüntünün yorumlanmasını zorlaştırmaktadır (Salepci vd. 2017). Beneklerin kaynağı, bir çözünürlük hücresi içindeki birçok farklı saçıcıdan gelen saçılmalardır (Lee vd. 1994; Gagnon ve Jouan 1997; Eineder ve Bamler 2017a) (Şekil 3.28). Bu olgu, SAR görüntülerinde pikselden piksele değişen parlaklık seviyelerine (Şekil 3.28) ve homojen yüzeylerde dahi tanecikli bir görünüme yol açmaktadır (Eineder ve Bamler 2017a).



Şekil 3.28. SAR görüntülerinde benek (Salepci vd. 2017)

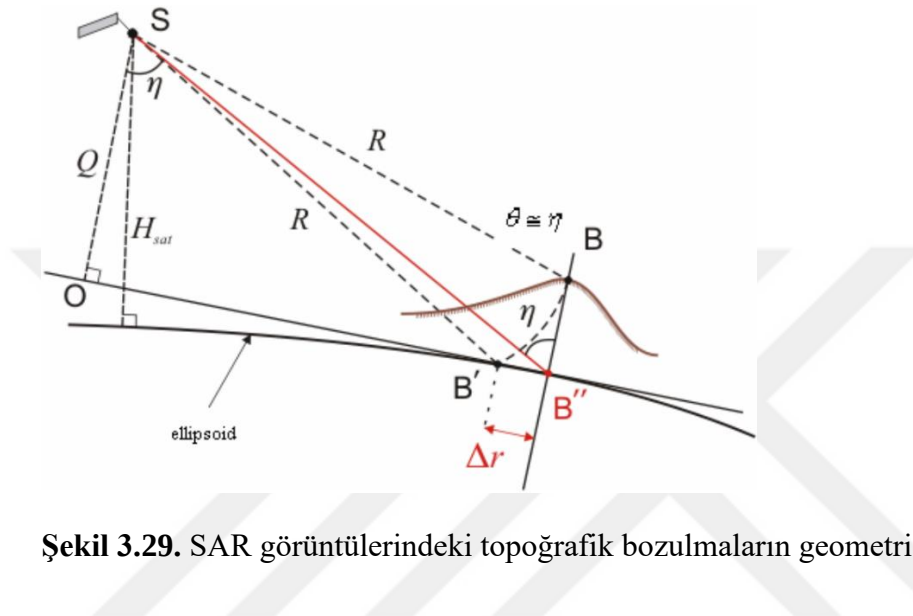
Benek etkisinin giderilmesi için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir (Lee vd. 1994). Çok bakış uygulaması da bu yöntemlerden biridir. Çok bakış yöntemi beneklerin istatistiksel özelliklerini hesaba katmadığından uygulanması kolaydır (Yuan vd. 2018). Çok bakış yöntemi, menzilde ve/veya azimutta kayan bir pencere ile görüntünün ortalamasını almaktadır.

Çizelge 3.7’de de belirtildiği üzere, Sentinel-1 uydusunun Seviye-1 SLC ürünleri doğal piksel aralığındadır. Bu nedenle, menzil (rg) ve azimuttaki (az) piksel boyutları aynı değildir (Çizelge 3.8). Bu çalışma kapsamında, piksellerin aynı boyuta getirilmesi (kare piksellerin oluşturulması) için çok bakış uygulaması gerçekleştirilmiştir. Çok bakış uygulaması ile uydu görüntülerinde bulunan benek etkisi de bir miktar azaltılmıştır. Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan çok bakış sayıları Çizelge 3.18’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.18. Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan çok bakış sayıları

Yörünge Yönü	Görece Yörünge Numarası	Çok Bakış Sayısı $rg \times az$	Uydu Adı
Yükselen	58	4×1	Sentinel-1A
			Sentinel-1B
Yükselen	160	3×1	Sentinel-1A
			Sentinel-1B
Alçalan	65	4×1	Sentinel-1A
			Sentinel-1B

Arazi düzeltmesi: SAR sensörleri 0°'den büyük açılarla görüntü elde etmektedir (Filipponi 2019). SAR sensörlerinin yana bakan geometrileri ve yeryüzünün topoğrafik varyasyonları nedeniyle SAR görüntülerinde topoğrafik bozulmalar meydana gelmektedir (Bayanudin ve Jatmiko 2016). SAR görüntülerindeki topoğrafik bozulmaların geometrisi Şekil 3.29'da gösterilmiştir. Bu şekilde, referans elipsoit üzerinde h yüksekliğine sahip bir B noktasının; gerçek konumu B" olmasına rağmen SAR görüntüsünde B' konumunda görüntülendiği görülmektedir. B' ve B" arasındaki Δr farkı ise topoğrafik bozulmaların etkisini göstermektedir (Cossu vd. 2007).



Şekil 3.29. SAR görüntülerindeki topoğrafik bozulmaların geometrisi (Cossu vd. 2007)

Arazi düzeltmeleri, görüntünün geometrik temsilinin gerçek dünyaya mümkün olduğunca yakın olmasını ve meydana gelen topoğrafik bozulmaların giderilmesini sağlar (Filipponi 2019). Arazi düzeltmesi ile görüntü bilinen bir koordinat sistemine dönüştürülür (Dingle Robertson vd. 2020a). Yüksek konum doğruluğu elde etmek için ise Range-Doppler Arazi Düzeltmesi algoritması kullanılmalıdır (Small ve Schubert 2008, 2019). Range-Doppler Arazi Düzeltmesi algoritması, her pikselin konumunu düzeltmek ve topoğrafik bozulmaları gidermek için bir Sayısal Yükseklik Modeli (DEM) kullanır. Algoritma ayrıca, kesin coğrafi konum bilgisini türetmek için DEM ile birlikte meta verilerde bulunan yörünge durum vektörü bilgilerini de kullanır (Filipponi 2019).

Bu çalışmada, Sentinel-1 uydu görüntülerinin arazi düzeltmelerinin gerçekleştirilmesi için Small ve Schubert (2008, 2019) tarafından önerilen Range-Doppler Arazi Düzeltmesi algoritması kullanılmıştır. Algoritmada kullanılacak DEM için SNAP yazılımında otomatik olarak indirilebilen ve 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip SRTM 1sec HGT verisi seçilmiştir. Sentinel-1 uydu görüntüleri, Sentinel-2 uydu görüntüleri ile aynı koordinat sistemine, yani UTM/WGS84 projeksiyonuna dönüştürülmüştür. Arazi düzeltmeleri gerçekleştirilen görüntülerin piksel aralıkları ise 13.96 m'dir.

Çalışma alanı dışında kalan alanların kesilmesi: Bu çalışma kapsamında, uydu görüntüsünün tamamıyla ilgilenilmediği için çalışma alanı dışında kalan alanlar kesilmiştir. Çalışma alanı çok küçük bir alan olduğu için bu işlem çalışma alanının dışında kalan bazı alanları da kapsayacak şekilde, Çizelge 3.19'daki koordinatlar kullanılarak çizilen bir poligon yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Çizelge 3.19. Çalışma alanı dışında kalan alanların kesilmesinde kullanılan coğrafi koordinatlar

Nokta No	COĞRAFİ KOORDİNATLAR (WGS84)	
	Ondalık Derece	
	Enlem	Boylam
1	36.924881946761290° N	30.871169118233762° E
2	36.925349379160960° N	30.897401287152817° E
3	36.911720466752250° N	30.897775583162556° E
4	36.911253264388336° N	30.871548075443624° E

Geri saçılma değerlerinin lineer ölçekten logaritmik ölçeğe (dB) dönüştürülmesi: Bu işlem, SAR uydu görüntülerinin daha iyi görselleştirilmesi ve daha iyi yorumlanması için önemli bir adımdır. Geri saçılma değerlerinin lineer ölçekten logaritmik ölçeğe dönüştürülmesinde (3.3)'teki bağıntı kullanılmaktadır (Anonymous 6):

$$\sigma^0 (dB) = 10 \times \log_{10} \sigma^0 \quad (3.3)$$

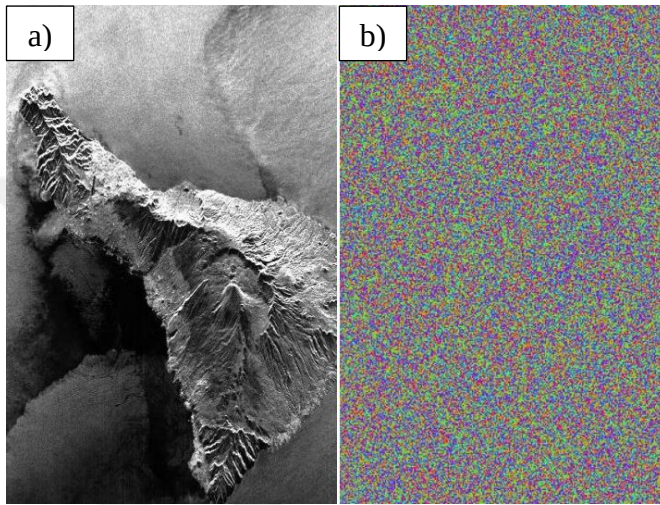
VH/VV polarizasyon oranının hesaplanması: Çalışmada kullanılan Sentinel-1 uydu görüntüleri çift polarizasyona (VV+VH) sahip olup (Çizelge 3.9), bu çalışma kapsamında her iki polarizasyon da kullanılmıştır. Yapılan kaynak taraması sonucunda, tarımsal uygulamalarda polarizasyon oranlarının da sıklıkla kullanıldığı gözlenmiştir. Bu nedenle bu çalışmada, VH/VV polarizasyon oranı da hesaplanmıştır. Geri saçılma değerleri bir önceki işlem adımında logaritmik ölçeğe (dB) dönüştürüldüğü için VH/VV polarizasyon oranının hesaplanmasında (3.4)'teki bağıntı kullanılmıştır (Pandžić vd. 2020):

$$\sigma_{VH/VV}^0 = \sigma_{VH}^0 - \sigma_{VV}^0 \quad (3.4)$$

Çalışma alanına ilişkin σ_{VH}^0 , σ_{VV}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$ medyan değerlerinin yazdırılması: Bu çalışma kapsamında, piksellerin aynı boyuta getirilmesi (kare piksellerin oluşturulması) için çok bakış uygulaması gerçekleştirilmiştir. Bu işlem sonucu görüntüde bulunan benek etkisi bir miktar azaltılmış olsa da, görüntü üzerinde benek etkisi hâlâ mevcuttur. Benek etkisi, mekânsal çözünürlüğün kaybedilmesi pahasına tamamen ortadan kaldırılabılır (Woodhouse 2006). Ancak bu çalışmada, çalışma alanı küçük bir alan olduğu için mekânsal çözünürlüğün daha fazla kaybedilmemesi adına benek filtresi uygulanmamıştır. Bu nedenle, görüntü üzerinde hâlâ mevcut olan benek etkisinin giderilmesi ve elde edilen verilerin alan bazlı değerlendirilmesi için çalışma alanına ilişkin σ_{VH}^0 , σ_{VV}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$ medyan değerleri yazdırılmıştır.

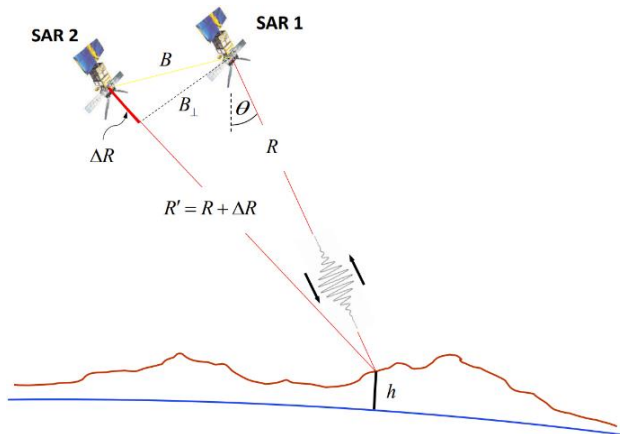
- **İnterferometrik uyumluluk değerlerinin hesaplanması için Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları**

SAR sensörleri, elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesindeki dalga boylarında elektromanyetik enerji gönderir ve dünya yüzeyinden geri saçılan enerjinin genliğini ve fazını kaydeder (Karjalainen vd. 2004, 2008; ESA 2016o, p, r). Genlik, radar sinyalinin gücüdür (ESA 2016s, t, u; Auer ve Bamler 2017); faz, bir tam sinüs dalgası döngüsünün (tek bir SAR dalga boyu) bir parçası olup (ESA 2016s, t, u), sensör ile hedef arasındaki mesafe ile ilişkilidir (Braun 2021; TRE ALTAMIRA 2021). Genlik ve faz görüntülerine ilişkin birer örnek Şekil 3.30'da gösterilmiştir.



Şekil 3.30. Genlik ve faz görüntülerine ilişkin birer örnek; **a)** Genlik (yoğunluk) görüntüsü örneği; **b)** Faz görüntüsü örneği (Eineder ve Bamler 2017b; EO College 2019)

Bu çalışmada, interferometrik uyumluluk değerlerinin hesaplanması için İnterferometrik SAR (InSAR) tekniği kullanılmıştır. InSAR tekniği, aynı alanın biraz farklı sensör konumlarından elde edilen iki karmaşık SAR görüntüsü arasındaki faz farkından yararlanır (ESA 2016s, t, u; Braun 2021a) (Şekil 3.31) ve sensör ile hedef arasındaki mesafe bilgisini verir (ESA 2016s, t, u).



Şekil 3.31. InSAR tekniği (Eineder ve Bamler 2017b, c)

Bitki örtüsüyle kaplı alanlarda en önemli dekorelasyon kaynaklarından birisi zamansal dekorelasyondur (Engdahl vd. 2001; Mestre-Quereda vd. 2020). Zamansal dekorelasyon, uydu görüntü çiftlerinin elde edildiği zaman aralığında yüzeyde meydana gelen değişiklikler nedeniyle faz kalitesindeki bozulmayı ifade eder. Bu değişiklikler; bitkilerin büyümesinden, fenolojik değişikliklerden ve kanopi elemanlarının geometrisini veya dielektrik özelliklerini değiştiren meteorolojik olaylardan (yağış, rüzgâr...) kaynaklanmaktadır (Lopez-Sanchez vd. 2017). Dolayısıyla en iyi sonuçlar, iki uydu görüntüsü arasındaki zaman farkının en aza indirilmesiyle elde edilebilir (Srivastava vd. 2006; Lopez-Sanchez vd. 2017). Bu nedenle bu çalışmada, interferometrik uyumluluk değerlerinin hesaplanması için ardışık olarak elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftleri kullanılmıştır. Uydu görüntü çiftlerinin interferometrik özelliklerine ilişkin bilgiler Çizelge 3.20’de gösterilmiştir.

Çizelge 3.20. Uydu görüntü çiftlerinin interferometrik özellikleri

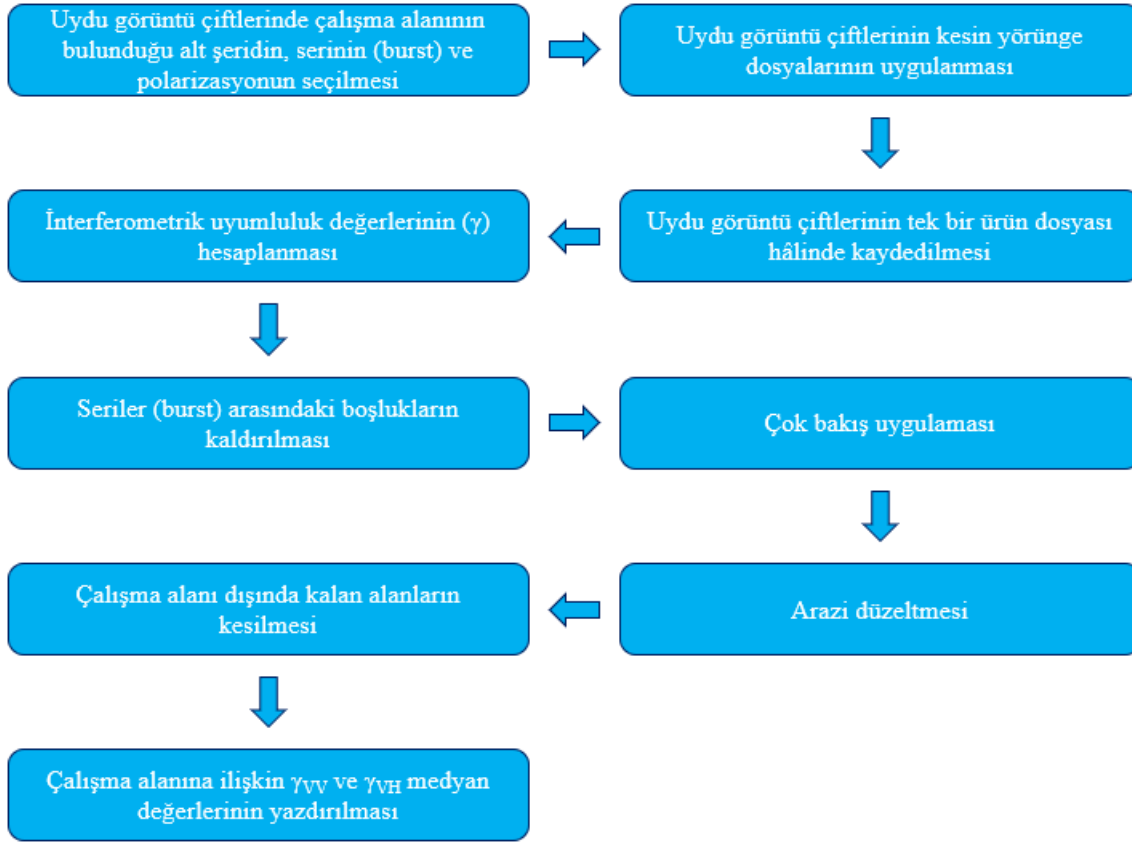
Yörünge Yönü	Görece Yörünge Numarası	Uydu Görüntü Çiftlerinin Tarihleri		Zamansal Baz Uzunluğu (gün)	Dik Baz Uzunluğu (m)	Yükseklik Belirsizliği (m)
		1. Uydu Görüntüsü	2. Uydu Görüntüsü			
Yükselen	58	09.07.2019	15.07.2019	6	120.07	132.87
		15.07.2019	21.07.2019		43.65	364.94
		21.07.2019	27.07.2019		31.84	500.29
		27.07.2019	02.08.2019		146.84	108.48
		02.08.2019	08.08.2019		210.91	75.64
		08.08.2019	14.08.2019		111.73	142.58
		14.08.2019	20.08.2019		58.58	272.31
		20.08.2019	26.08.2019		29.05	549.19
		26.08.2019	01.09.2019		73.00	218.22
		01.09.2019	07.09.2019		144.98	110.03
		07.09.2019	13.09.2019		153.06	104.22
		13.09.2019	19.09.2019		45.07	353.93
		19.09.2019	25.09.2019		62.48	255.34
		25.09.2019	01.10.2019		28.77	554.49
		01.10.2019	07.10.2019		31.92	499.05
		07.10.2019	13.10.2019		134.52	118.41
		13.10.2019	19.10.2019		77.04	206.77
		19.10.2019	25.10.2019		60.50	263.28
		25.10.2019	31.10.2019		32.19	495.46
		31.10.2019	06.11.2019		8.04	1961.43
		06.11.2019	12.11.2019		14.06	1121.81

(Devamı Arkada)

Çizelge 3.20'nin devamı

Yörünge Yönü	Görece Yörünge Numarası	Uydu Görüntü Çiftlerinin Tarihleri		Zamansal Baz Uzunluğu (gün)	Dik Baz Uzunluğu (m)	Yükseklik Belirsizliği (m)
		1. Uydu Görüntüsü	2. Uydu Görüntüsü			
Yükselen	160	10.07.2019	16.07.2019	6	27.36	582.62
		16.07.2019	22.07.2019		88.18	180.75
		22.07.2019	28.07.2019		20.44	779.63
		28.07.2019	03.08.2019		68.14	233.91
		03.08.2019	09.08.2019		135.19	117.90
		09.08.2019	15.08.2019		114.91	138.70
		15.08.2019	21.08.2019		83.51	190.86
		21.08.2019	27.08.2019		44.59	353.33
		27.08.2019	02.09.2019		22.54	706.99
		02.09.2019	08.09.2019		68.88	231.39
		08.09.2019	14.09.2019		72.55	219.68
		14.09.2019	20.09.2019		47.54	335.29
		20.09.2019	26.09.2019		36.55	431.02
		26.09.2019	02.10.2019		18.33	869.53
		02.10.2019	08.10.2019		88.57	177.88
		08.10.2019	14.10.2019		90.98	175.18
		14.10.2019	20.10.2019		156.30	101.97
		20.10.2019	26.10.2019		195.50	81.52
		26.10.2019	01.11.2019		82.10	194.12
		01.11.2019	07.11.2019		79.93	199.39
		07.11.2019	13.11.2019		76.55	206.35
Alçalan	65	10.07.2019	16.07.2019	6	38.21	410.70
		16.07.2019	22.07.2019		57.49	272.97
		22.07.2019	28.07.2019		9.31	1685.59
		28.07.2019	03.08.2019		9.22	1701.62
		03.08.2019	09.08.2019		31.78	495.62
		09.08.2019	15.08.2019		50.86	308.55
		15.08.2019	21.08.2019		26.30	596.64
		21.08.2019	27.08.2019		55.26	285.05
		27.08.2019	02.09.2019		31.37	500.22
		02.09.2019	08.09.2019		16.54	952.40
		08.09.2019	20.09.2019	12	14.35	1093.41
		20.09.2019	26.09.2019	6	86.51	182.05
		26.09.2019	02.10.2019		30.63	514.17
		02.10.2019	08.10.2019		63.93	245.46
		08.10.2019	14.10.2019		39.74	394.84
		14.10.2019	20.10.2019		66.97	234.29
		20.10.2019	26.10.2019		49.37	317.84
		26.10.2019	01.11.2019		37.16	423.80
		01.11.2019	07.11.2019		91.38	172.36
		07.11.2019	13.11.2019		129.37	121.29

İnterferometrik uyumluluk değerlerinin hesaplanması için Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları Şekil 3.32’de gösterilmiştir. Uygulanan işlem adımlarına ilişkin bilgiler ise aşağıda listelenmiştir:



Şekil 3.32. İnterferometrik uyumluluk değerlerinin hesaplanması için Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları

Uydu görüntü çiftlerinde çalışma alanının bulunduğu alt şeridin, serinin (burst) ve polarizasyonun seçilmesi: Şekil 3.13a’da da görüldüğü üzere, Sentinel-1 uydusunun IW modunda elde ettiği görüntülerin Seviye-1 SLC ürünleri 3 alt şeritten (IW1, IW2 ve IW3) ve bir veri serisinden (burst) oluşmaktadır. InSAR tekniğinin uygulanabilmesi için ise uydu görüntü çiftlerinin aynı alanı kapsamaları gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, hem InSAR tekniğinin uygulanabilmesi hem de işlem sürecinin hızlandırılması için yalnızca çalışma alanının bulunduğu alt şerit ve seri (burst) seçilmiştir. Bu işlem, Çizelge 3.18’de yer alan bilgilere göre gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.18’de yalnızca uydu adları belirtilmiş olup, tarih bilgileri Çizelge 3.9’da mevcuttur.

Daha önce de belirtildiği üzere, çalışmada kullanılan Sentinel-1 uydu görüntüleri çift polarizasyona (VV+VH) sahiptir. InSAR tekniğinin uygulanabilmesi için ise bu işlem adımı bu polarizasyonlardan yalnızca birisinin seçilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu işlem adımı VV ve VH polarizasyonları ayrı ayrı seçilmiş ve aşağıda listelenen işlem adımları her iki polarizasyon için de ayrı ayrı uygulanmıştır.

Uydu görüntü çiftlerinin kesin yörünge dosyalarının uygulanması: Zamanlama hataları ve konumlandırma belirsizlikleri önemli piksel konum hatalarına neden olabilmektedir. Dolayısıyla dünya yüzeyindeki her bir görüntü pikselinin konumunun yüksek kaliteli tahmini için kesin sensör konumu ve hız vektörleri bilinmelidir (Loew ve Mauser 2007). Ancak, SAR ürünlerinin meta verilerinde sağlanan yörünge durum vektörleri genellikle doğru değildir (Filipponi 2019), çünkü uydular yörüngelerinden kayabilmektedirler (Dingle Robertson vd. 2020a). Uyduların kesin yörüngelerine ise kesin yörünge hesaplandıktan sonra, yani ürünün üretilmesinden günler veya haftalar sonra erişilebilmektedir (Filipponi 2019).

Kesin yörünge dosyası, doğru uydu konumu ve hız bilgisi sağlar (Filipponi 2019). Bu nedenle kesin yörünge dosyasının uygulanması çok önemlidir. SNAP yazılımında kesin yörünge dosyaları otomatik olarak indirilmekte ve bu bilgiler ışığında ürünün meta verisindeki yörünge durum vektörleri güncellenmektedir (Filipponi 2019).

Uydu görüntü çiftlerinin tek bir ürün dosyası hâlinde kaydedilmesi: İnterferometrik uyumluluk değerlerinin hesaplanması için gerekli olan bu aşamada, uydu görüntü çiftleri hassas bir şekilde üst üste bindirilir ve tek bir ürün dosyası hâlinde kaydedilir. Bu işlem, iki ürünün yörüngeleri ile bir DEM kullanılarak gerçekleştirilir. Bu çalışma kapsamında, uydu görüntü çiftlerinin tek bir ürün dosyası hâlinde kaydedilmesinde kullanılacak DEM için SNAP yazılımında otomatik olarak indirilebilen ve 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip SRTM 1sec HGT verisi seçilmiştir.

İnterferometrik uyumluluk değerlerinin (γ) hesaplanması: İnterferometrik uyumluluk, iki SAR görüntüsü arasındaki faz farkını temsil eder (Srivastava vd. 2006). Dolayısıyla interferometrik uyumluluk, interferogramın kalitesinin (Eineder ve Bamler 2017b; Amherdt vd. 2021) veya tam tersine interferogramda bulunan gürültünün bir göstergesidir (Engdahl vd. 2001; Srivastava vd. 2006; Amherdt vd. 2021). Şekil 3.33'te bir interferometrik uyumluluk görüntüsü örneği gösterilmiştir.

İnterferometrik uyumluluk değeri, fazdaki değişikliklerin seviyesini gösterir ve 0 ile 1 arasında değişir (Srivastava vd. 2006): 0, iki sinyalin tamamen uyumsuz olduğunu; 1 ise iki sinyalin tamamen özdeş olduğunu gösterir (Engdahl vd. 2001; Srivastava vd. 2006). İnterferometrik uyumluluk değerlerinin hesaplanmasında (3.5)'teki bağıntı kullanılmaktadır (Rocca vd. 2014):

$$\gamma = \frac{E[u_1 u_2^*]}{\sqrt{E[|u_1|^2]E[|u_2|^2]}} \quad (3.5)$$

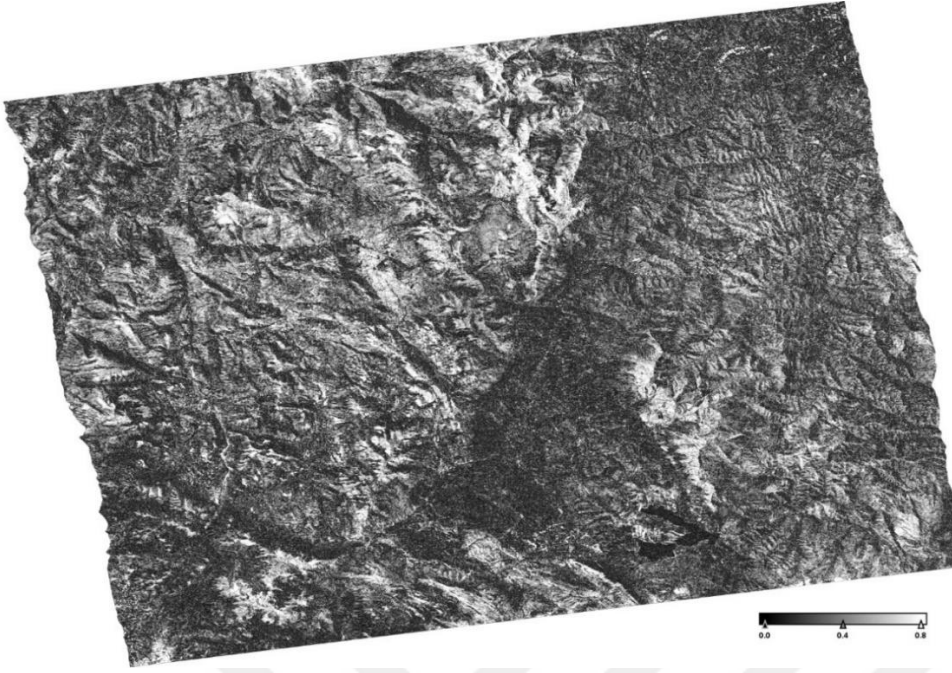
Bu bağıntıda;

γ = interferometrik uyumluluk değerini,

u_1 ve u_2 = iki karmaşık SAR uydu görüntüsünü,

$*$ = karmaşık eşleniğini,

$E[.]$ = beklenen değeri temsil etmektedir.



Şekil 3.33. İnterferometrik uyumluluk görüntüsü örneği (EO College 2019)

Seriler (burst) arasındaki boşlukların kaldırılması: Şekil 3.13a’da da görüldüğü üzere, Sentinel-1 uydusunun IW modunda elde ettiği görüntülerin Seviye-1 SLC ürünleri 3 alt şeritten (IW1, IW2 ve IW3) ve bir veri serisinden (burst) oluşmaktadır. Seriler (burst) arasında da siyah dolgulu kısımlar, yani veri boşlukları bulunmaktadır. Bu sorun, Sentinel-1 uydusunun IW ve EW modlarında kullandığı TOPSAR tekniğinden kaynaklanmaktadır. SNAP yazılımı, seriler (burst) arasındaki bu veri boşluklarının kaldırılmasına olanak tanımaktadır.

Çok bakış uygulaması: Çizelge 3.7’de de belirtildiği üzere, Sentinel-1 uydusunun Seviye-1 SLC ürünleri doğal piksel aralığındadır. Bu nedenle, menzil (rg) ve azimuttaki (az) piksel boyutları aynı değildir (Çizelge 3.8). Bu çalışma kapsamında, piksellerin aynı boyuta getirilmesi (kare piksellerin oluşturulması) ve interferometrik uyumluluk görüntüsünde bulunan gürültülerin bir miktar azaltılması için çok bakış uygulaması gerçekleştirilmiştir. İnterferometrik uyumluluk görüntülerine uygulanan çok bakış sayıları Çizelge 3.18’de gösterilmiştir.

Arazi düzeltmesi: SAR sensörleri 0° ’den büyük açılarla görüntü elde etmektedir (Filipponi 2019). SAR sensörlerinin yana bakan geometrileri ve yeryüzünün topoğrafik varyasyonları nedeniyle SAR görüntülerinde topoğrafik bozulmalar meydana gelmektedir (Bayanudin ve Jatmiko 2016). SAR görüntülerindeki topoğrafik bozulmaların geometrisi Şekil 3.29’da gösterilmiştir. Bu şekilde, referans elipsoit üzerinde h yüksekliğine sahip bir B noktasının; gerçek konumu B" olmasına rağmen SAR görüntüsünde B' konumunda görüntülendiği görülmektedir. B' ve B" arasındaki Δr farkı ise topoğrafik bozulmaların etkisini göstermektedir (Cossu vd. 2007).

Arazi düzeltmeleri, görüntünün geometrik temsilinin gerçek dünyaya mümkün olduğunca yakın olmasını ve meydana gelen topoğrafik bozulmaların giderilmesini sağlar (Filipponi 2019). Arazi düzeltmesi ile görüntü bilinen bir koordinat sistemine dönüştürülür (Dingle Robertson vd. 2020a). Yüksek konum doğruluğu elde etmek için ise Range-Doppler Arazi Düzeltmesi algoritması kullanılmalıdır (Small ve Schubert 2008, 2019). Range-Doppler Arazi Düzeltmesi algoritması, her pikselin konumunu düzeltmek ve topoğrafik bozulmaları gidermek için bir DEM kullanır. Algoritma ayrıca, kesin coğrafi konum bilgisini türetmek için DEM ile birlikte meta verilerde bulunan yörünge durum vektörü bilgilerini de kullanır (Filipponi 2019).

Bu çalışmada, interferometrik uyumluluk görüntülerinin arazi düzeltmelerinin gerçekleştirilmesi için Small ve Schubert (2008, 2019) tarafından önerilen Range-Doppler Arazi Düzeltmesi algoritması kullanılmıştır. Algoritmada kullanılacak DEM için SNAP yazılımında otomatik olarak indirilebilen ve 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip SRTM 1sec HGT verisi seçilmiştir. İnterferometrik uyumluluk görüntüleri, Sentinel-1 ve Sentinel-2 uydu görüntüleri ile aynı koordinat sistemine, yani UTM/WGS84 projeksiyonuna dönüştürülmüştür. Arazi düzeltmeleri gerçekleştirilen görüntülerin piksel aralıkları ise 13.96 m'dir.

Çalışma alanı dışında kalan alanların kesilmesi: Bu çalışma kapsamında, interferometrik uyumluluk görüntüsünün tamamıyla ilgilenilmediği için çalışma alanı dışında kalan alanlar kesilmiştir. Çalışma alanı çok küçük bir alan olduğu için bu işlem çalışma alanının dışında kalan bazı alanları da kapsayacak şekilde, Çizelge 3.19'daki koordinatlar kullanılarak çizilen bir poligon yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

Çalışma alanına ilişkin γ_{VV} ve γ_{VH} medyan değerlerinin yazdırılması: İnterferometrik uyumluluk görüntüsünde bulunan gürültülerin giderilmesi ve elde edilen verilerin alan bazlı değerlendirilmesi için çalışma alanına ilişkin γ_{VV} ve γ_{VH} medyan değerleri yazdırılmıştır.

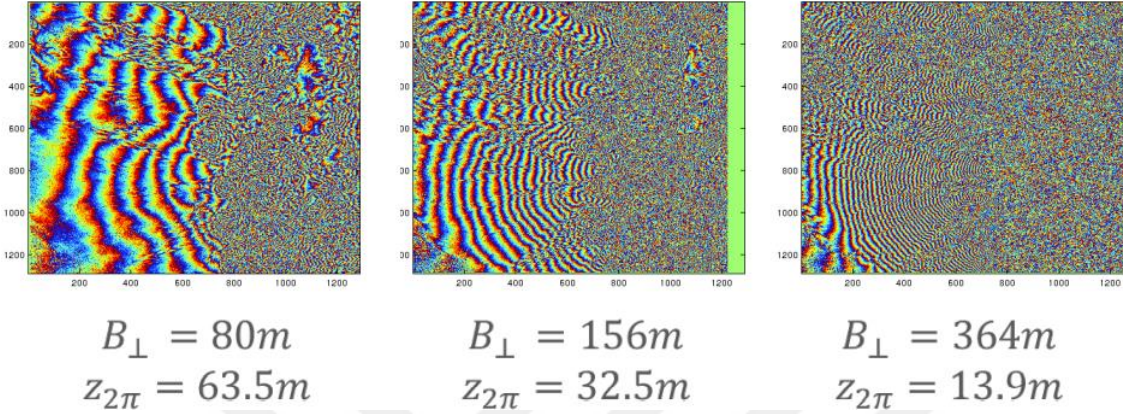
- **Bitki boylarının hesaplanması için Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları**

Topoğrafyaya duyarlılık, uydu görüntü çiftleri arasındaki dik baz uzunluğuna bağlıdır. Dik baz uzunluğu ne kadar büyükse, herhangi bir yükseklik farkı için interferogramda bulunan kontur sayısı da o kadar fazla olur (Grunfeld Brook 2019) (Şekil 3.34). Şekil 3.34'te, dik baz uzunluğu arttıkça kontur sayılarının arttığı, dolayısıyla dik baz uzunluğu arttıkça topoğrafyaya duyarlılığın arttığı görülmektedir.

Dik baz uzunluğu arttıkça, yükseklik belirsizliği (1 faz döngüsü için yükseklik bilgisi) azalır (Eineder ve Bamler 2017c) (Şekil 3.34). Daha küçük yükseklik belirsizlikleri, arazinin topoğrafik özelliklerini daha kesin bir şekilde tanımlar (Braun 2021b). Bu nedenle, daha küçük yükseklik belirsizlikleri ve daha büyük dik baz uzunlukları, bitki boylarının hesaplanması için daha yüksek hassasiyet sağlar (Erten vd. 2016a; Hütt vd. 2016). Ancak Çizelge 3.20'de de görüldüğü üzere; ardışık olarak elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftleri arasındaki dik baz uzunlukları genellikle çok küçüktür. Dik baz uzunluğu ne kadar küçük olursa, topoğrafya tahmini o kadar az doğru olur (Kovács vd. 2019). Büyük dik baz uzunluklarına sahip Sentinel-1

uydu görüntü çiftlerini bulmak oldukça zor olduğundan (Braun 2021a), Sentinel-1 uydu görüntüleri DEM üretimi için çok uygun değildir (Kovács vd. 2019).

$$\frac{d\phi}{dz} = - \frac{4\pi B_{\perp}}{\lambda R_1 \sin \theta}$$



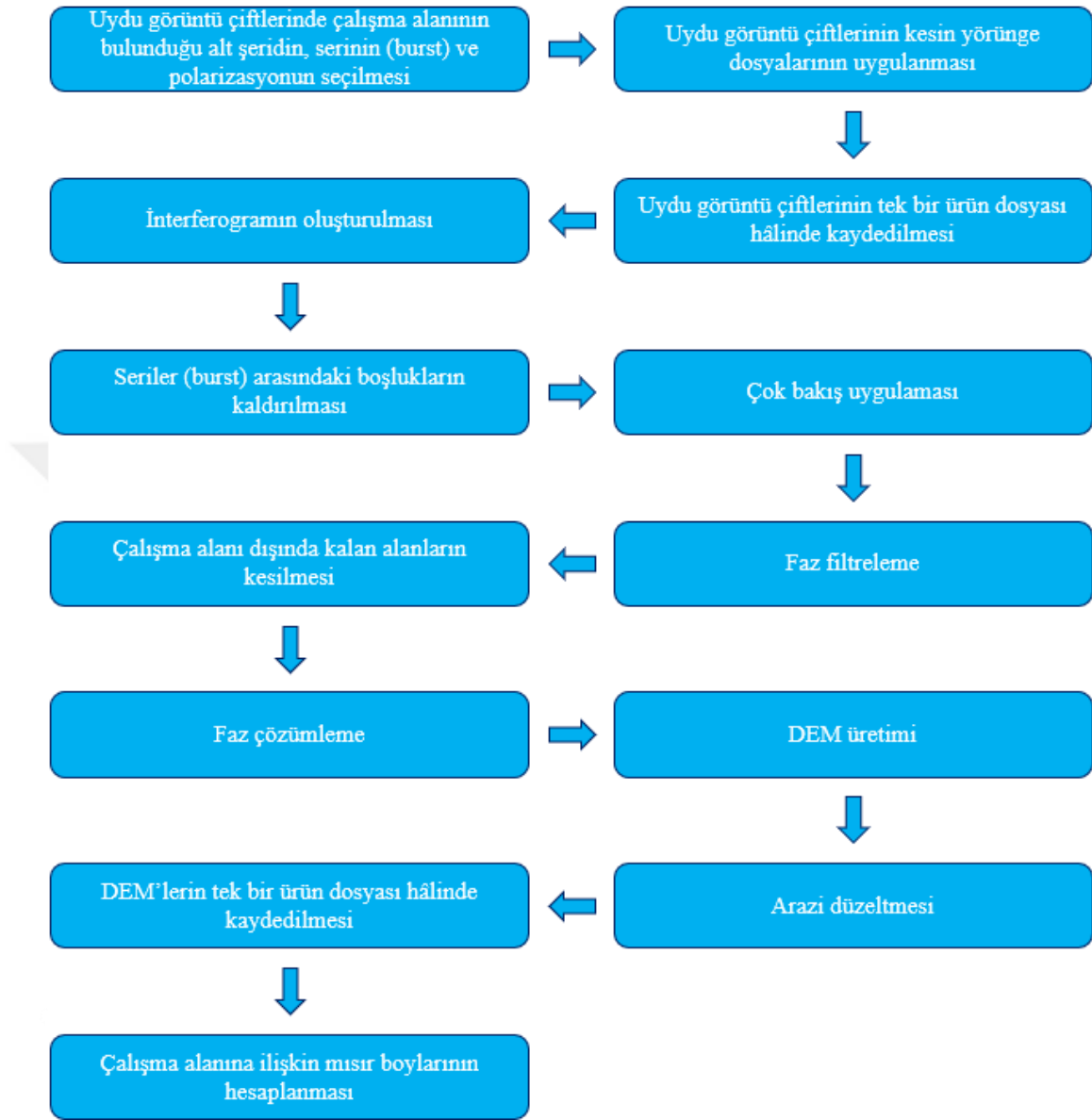
Şekil 3.34. Topoğrafyaya duyarlılık (Grunfeld Brook 2019)

Bu çalışmada, mısır boylarının hesaplanması için Çizelge 3.20’de kalın punto ile yazılmış olan 2 uydu görüntü çifti kullanılmıştır. Bu uydu görüntü çiftleri, çalışmada kullanılan uydu görüntü çiftleri arasında en büyük dik baz uzunluğu değerlerine ve en küçük yükseklik belirsizliği değerlerine sahiptir. Bu çalışma kapsamında, her iki uydu görüntü çiftinden (02.08.2019 – 08.08.2019 ve 20.10.2019 – 26.10.2019) de DEM üretilmiştir. İlk uydu görüntü çiftinden (02.08.2019 – 08.08.2019) üretilen DEM, bitki boylarının ortalama 0.33 m olduğu aşamayı temsil etmektedir. Bu DEM, Sayısal Arazi Modeli (DTM) olarak kabul edilmiştir. İkinci uydu görüntü çiftinden (20.10.2019 – 26.10.2019) üretilen DEM, bitki boylarının ortalama 2.75 m olduğu aşamayı temsil etmektedir. Bu DEM ise Sayısal Yüzey Modeli (DSM) olarak kabul edilmiştir. Bu DEM’ler tek bir ürün dosyası hâlinde kaydedildikten sonra, DSM’den DTM çıkarılarak bitki boyları hesaplanmış ve çalışma alanına ilişkin ortalama mısır boyu değeri yazdırılmıştır.

Bitki boylarının hesaplanması için Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları Şekil 3.35’te gösterilmiştir. Uygulanan işlem adımlarına ilişkin bilgiler ise aşağıda listelenmiştir:

Uydu görüntü çiftlerinde çalışma alanının bulunduğu alt şeridin, serinin (burst) ve polarizasyonun seçilmesi: Şekil 3.13a’da da görüldüğü üzere, Sentinel-1 uydusunun IW modunda elde ettiği görüntülerin Seviye-1 SLC ürünleri 3 alt şeritten (IW1, IW2 ve IW3) ve bir veri serisinden (burst) oluşmaktadır. InSAR tekniğinin uygulanabilmesi için ise uydu görüntü çiftlerinin aynı alanı kapsamaları gerekmektedir. Bu nedenle bu çalışmada, hem InSAR tekniğinin uygulanabilmesi hem de işlem sürecinin hızlandırılması için yalnızca çalışma alanının bulunduğu alt şerit ve seri (burst) seçilmiştir. Bu işlem,

Çizelge 3.18’de yer alan bilgilere göre gerçekleştirilmiştir. Çizelge 3.18’de yalnızca uydu adları belirtilmiş olup, tarih bilgileri Çizelge 3.9’da mevcuttur.



Şekil 3.35. Bitki boylarının hesaplanması için Sentinel-1 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları

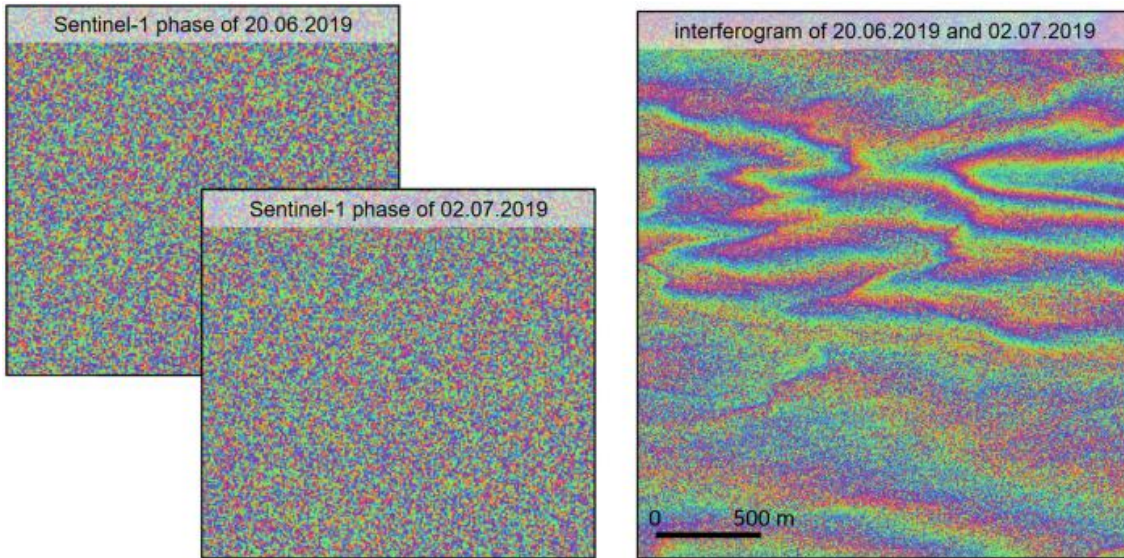
Daha önce de belirtildiği üzere, çalışmada kullanılan Sentinel-1 uydu görüntüleri çift polarizasyona (VV+VH) sahiptir. InSAR tekniğinin uygulanabilmesi için ise bu işlem adımı bu polarizasyonlardan yalnızca birisinin seçilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu işlem adımı daha yüksek interferometrik uyumluluk değerine sahip VV polarizasyonu seçilmiştir.

Uydu görüntü çiftlerinin kesin yörünge dosyalarının uygulanması: Zamanlama hataları ve konumlandırma belirsizlikleri önemli piksel konum hatalarına neden olabilmektedir. Dolayısıyla dünya yüzeyindeki her bir görüntü pikselinin konumunun yüksek kaliteli tahmini için kesin sensör konumu ve hız vektörleri bilinmelidir (Loew ve Mauser 2007). Ancak, SAR ürünlerinin meta verilerinde sağlanan yörünge durum vektörleri genellikle doğru değildir (Filipponi 2019), çünkü uydular yörüngelerinden kayabilmektedirler (Dingle Robertson vd. 2020a). Uyduların kesin yörüngelerine ise kesin yörünge hesaplandıktan sonra, yani ürünün üretilmesinden günler veya haftalar sonra erişilebilmektedir (Filipponi 2019).

Kesin yörünge dosyası, doğru uydu konumu ve hız bilgisi sağlar (Filipponi 2019). Bu nedenle kesin yörünge dosyasının uygulanması çok önemlidir. SNAP yazılımında kesin yörünge dosyaları otomatik olarak indirilmekte ve bu bilgiler ışığında ürünün meta verisindeki yörünge durum vektörleri güncellenmektedir (Filipponi 2019).

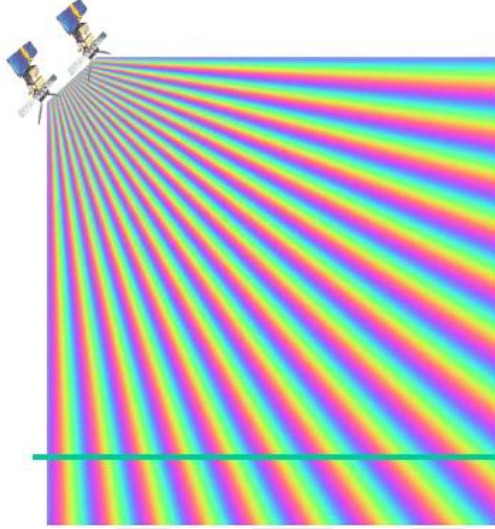
Uydu görüntü çiftlerinin tek bir ürün dosyası hâlinde kaydedilmesi: İnterferogramın oluşturulması için gerekli olan bu aşamada, uydu görüntü çiftleri hassas bir şekilde üst üste bindirilir ve tek bir ürün dosyası hâlinde kaydedilir. Bu işlem, iki ürünün yörüngeleri ile bir DEM kullanılarak gerçekleştirilir. Bu çalışma kapsamında, uydu görüntü çiftlerinin tek bir ürün dosyası hâlinde kaydedilmesinde kullanılacak DEM için SNAP yazılımında otomatik olarak indirilebilen ve 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip SRTM 1sec HGT verisi seçilmiştir.

İnterferogramın oluşturulması: İki karmaşık SAR uydu görüntüsünün fazları birleştirilerek topoğrafyayla yüksek oranda ilişkili interferogram oluşturulabilir (ESA 2016s, t, u; Braun 2021a) (Şekil 3.36). İnterferogram; birinci görüntünün, ikinci görüntünün karmaşık eşleniği ile çarpılmasıyla oluşturulur (Braun 2021a).



Şekil 3.36. İki karmaşık uydu görüntüsünün fazlarının birleştirilmesiyle oluşturulan interferogram örneği (Braun 2021b)

İnterferogram oluşturulurken düz dünya fazının çıkarılması gerekmektedir. Düz dünya fazı, referans yüzeyinin eğriliğinden dolayı interferometrik sinyalde bulunan fazdır (Şekil 3.37). Düz dünya fazı, yörünge ve meta veri bilgileri kullanılarak tahmin edilir ve interferogramdan çıkarılır (Braun 2021a).



Şekil 3.37. Düz dünya fazı (Eineder ve Bamler 2017c)

Seriler (burst) arasındaki boşlukların kaldırılması: Şekil 3.13a’da da görüldüğü üzere, Sentinel-1 uydusunun IW modunda elde ettiği görüntülerin Seviye-1 SLC ürünleri 3 alt şeritten (IW1, IW2 ve IW3) ve bir veri serisinden (burst) oluşmaktadır. Seriler (burst) arasında da siyah dolgulu kısımlar, yani veri boşlukları bulunmaktadır. Bu sorun, Sentinel-1 uydusunun IW ve EW modlarında kullandığı TOPSAR tekniğinden kaynaklanmaktadır. SNAP yazılımı, seriler (burst) arasındaki bu veri boşluklarının kaldırılmasına olanak tanımaktadır.

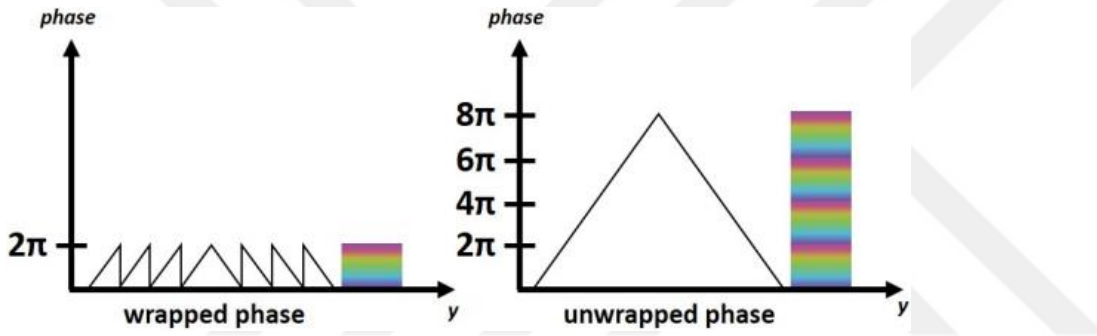
Çok bakış uygulaması: Çizelge 3.7’de de belirtildiği üzere, Sentinel-1 uydusunun Seviye-1 SLC ürünleri doğal piksel aralığındadır. Bu nedenle, menzil (rg) ve azimuttaki (az) piksel boyutları aynı değildir (Çizelge 3.8). Bu çalışma kapsamında, piksellerin aynı boyuta getirilmesi (kare piksellerin oluşturulması) ve fazda bulunan gürültülerin bir miktar azaltılması için çok bakış uygulaması gerçekleştirilmiştir. Faz görüntülerine uygulanan çok bakış sayıları Çizelge 3.18’de gösterilmiştir.

Bu işlem adımında dikkat edilmesi gereken bir husus bulunmaktadır. SNAP yazılımında faz görüntüleri için çok bakış uygulaması gerçekleştirilmek istendiğinde, görüntü dosyasında bulunan faz ve yoğunluk bantlarının seçilmemesi gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında çok bakış uygulaması gerçekleştirilirken yoğunluk ve faz bantları seçilmemiş; çok bakış uygulaması gerçekleştirildikten sonra elde edilen karmaşık I ve Q bantlarından yoğunluk ve faz bantları üretilmiştir.

Faz filtreleme: Faz filtreleme, fazda bulunan gürültüleri büyük ölçüde azaltan ve faz çözümü doğruluğunu artıran bir ön işlem adımıdır. Bu çalışma kapsamında, faz filtreleme için Goldstein ve Werner (1998) tarafından önerilen Goldstein Faz Filtreleme algoritması kullanılmıştır.

Çalışma alanı dışında kalan alanların kesilmesi: İnterferometrik uyumluluğu düşük alanlar, faz çözümü aşamasında hatalara yol açmaktadır (Kovács vd. 2019; Braun 2021a). Bu çalışma kapsamında, faz çözümü hatalarının önlenmesi ve işlem sürecinin hızlandırılması için (Braun 2021a) çalışma alanı dışında kalan alanlar kesilmiştir. Çalışma alanı çok küçük bir alan olduğu için bu işlem çalışma alanının dışında kalan bazı alanları da kapsayacak şekilde, Çizelge 3.19'daki koordinatlar kullanılarak çizilen bir poligon yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

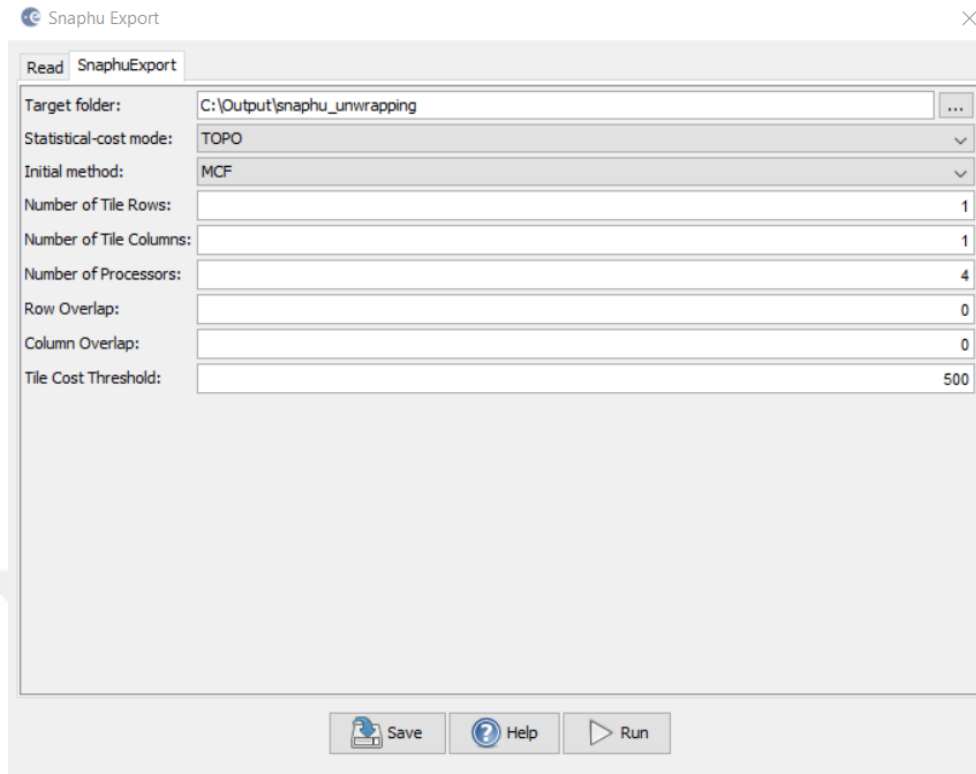
Faz çözümü: 2 boyutlu interferometrik fazın topoğrafik yüksekliklerle ilişkilendirilmesi için faz çözümü gereklidir (Braun 2021a). Faz çözümü prensibi Şekil 3.38'de gösterilmiştir.



Şekil 3.38. Faz çözümü prensibi (Braun 2021a)

Bu çalışmada, faz çözümü işleminin gerçekleştirilmesi için SNAP yazılımında SNAPHU Unwrapping eklentisi (2.0.4 versiyonu) kullanılmıştır. İlk olarak, faz görüntüsü SNAPHU'ya aktarılmıştır (Şekil 3.39). Daha sonra, SNAPHU'ya aktarılan faz görüntüsünün faz çözümü işlemi gerçekleştirilmiştir. Son olarak ise SNAPHU ile çözümlenen faz görüntüsü SNAP yazılımına aktarılmıştır.

DEM üretimi: Bu işlem adımı ile çözümlenen faz görüntüsündeki radyan piksel değerleri, eğik menzilde metre cinsindeki yükseklik değerlerine dönüştürülür. Eğik menzildeki (sensör ile piksel arasındaki) bu yükseklik değerlerinin, yer menziline doğru seviyeye yerleştirilmesi için harici bir DEM kullanılır (Braun 2021a). Bu çalışma kapsamında, DEM üretimi için kullanılacak harici DEM için SNAP yazılımında otomatik olarak indirilebilen ve 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip SRTM 1sec HGT verisi seçilmiştir.



Şekil 3.39. Faz görüntüsünün SNAPHU'ya aktarılmasında kullanılan parametreler

Arazi düzeltmesi: SAR sensörleri 0° 'den büyük açılarla görüntü elde etmektedir (Filipponi 2019). SAR sensörlerinin yana bakan geometrileri ve yeryüzünün topoğrafik varyasyonları nedeniyle SAR görüntülerinde topoğrafik bozulmalar meydana gelmektedir (Bayanudin ve Jatmiko 2016). SAR görüntülerindeki topoğrafik bozulmaların geometrisi Şekil 3.29'da gösterilmiştir. Bu şekilde, referans elipsoit üzerinde h yüksekliğine sahip bir B noktasının; gerçek konumu B" olmasına rağmen SAR görüntüsünde B' konumunda görüntülendiği görülmektedir. B' ve B" arasındaki Δr farkı ise topoğrafik bozulmaların etkisini göstermektedir (Cossu vd. 2007).

Arazi düzeltmeleri, görüntünün geometrik temsilinin gerçek dünyaya mümkün olduğunca yakın olmasını ve meydana gelen topoğrafik bozulmaların giderilmesini sağlar (Filipponi 2019). Arazi düzeltmesi ile görüntü bilinen bir koordinat sistemine dönüştürülür (Dingle Robertson vd. 2020a). Yüksek konum doğruluğu elde etmek için ise Range-Doppler Arazi Düzeltmesi algoritması kullanılmalıdır (Small ve Schubert 2008, 2019). Range-Doppler Arazi Düzeltmesi algoritması, her pikselin konumunu düzeltmek ve topoğrafik bozulmaları gidermek için bir DEM kullanır. Algoritma ayrıca, kesin coğrafi konum bilgisini türetmek için DEM ile birlikte meta verilerde bulunan yörünge durum vektörü bilgilerini de kullanır (Filipponi 2019).

Bu çalışmada, DEM verilerinin arazi düzeltmelerinin gerçekleştirilmesi için Small ve Schubert (2008, 2019) tarafından önerilen Range-Doppler Arazi Düzeltmesi algoritması kullanılmıştır. Algoritmada kullanılacak DEM için SNAP yazılımında otomatik olarak indirilebilen ve 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip SRTM 1sec HGT verisi seçilmiştir. DEM verileri, Sentinel-1 ve Sentinel-2 uydu görüntüleri ile aynı

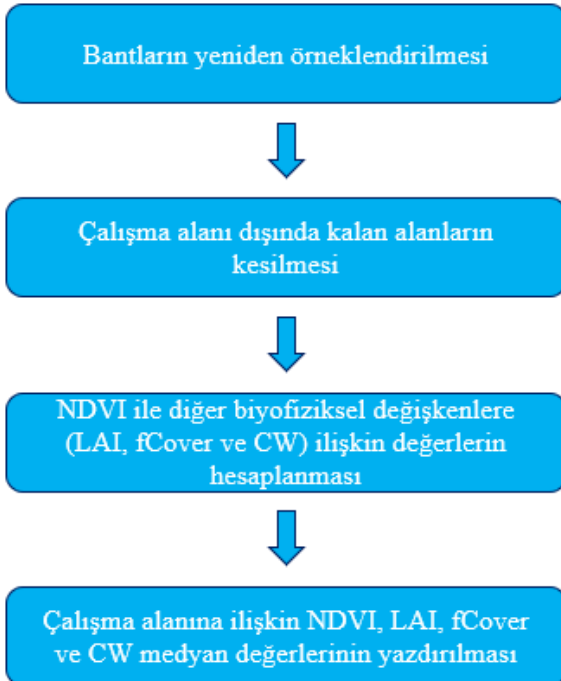
koordinat sistemine, yani UTM/WGS84 projeksiyonuna dönüştürülmüştür. Arazi düzeltmeleri gerçekleştirilen görüntülerin piksel aralıkları ise 13.96 m'dir.

DEM'lerin tek bir ürün dosyası hâlinde kaydedilmesi: Bu işlem adımı, bitki boylarının hesaplanması için DEM'ler üst üste bindirilerek tek bir ürün dosyası hâlinde kaydedilmiştir. Bu işlem, iki ürünün yörüngeleri ile bir DEM kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu çalışma kapsamında, uydu görüntü çiftlerinin tek bir ürün dosyası hâlinde kaydedilmesinde kullanılacak DEM için SNAP yazılımında otomatik olarak indirilebilen ve 30 m mekânsal çözünürlüğe sahip SRTM 1sec HGT verisi seçilmiştir.

Çalışma alanına ilişkin mısır boylarının hesaplanması: Çalışma kapsamında, her iki uydu görüntü çiftinden (02.08.2019 – 08.08.2019 ve 20.10.2019 – 26.10.2019) de DEM üretilmiştir. İlk uydu görüntü çiftinden (02.08.2019 – 08.08.2019) üretilen DEM, bitki boylarının ortalama 0.33 m olduğu aşamayı temsil etmektedir. Bu DEM, Sayısal Arazi Modeli (DTM) olarak kabul edilmiştir. İkinci uydu görüntü çiftinden (20.10.2019 – 26.10.2019) üretilen DEM, bitki boylarının ortalama 2.75 m olduğu aşamayı temsil etmektedir. Bu DEM ise Sayısal Yüzey Modeli (DSM) olarak kabul edilmiştir. Bu DEM'ler tek bir ürün dosyası hâlinde kaydedildikten sonra, DSM'den DTM çıkarılarak mısır boyları hesaplanmış ve çalışma alanına ilişkin ortalama bitki boyu değeri yazdırılmıştır.

3.3.2.2. Multispektral (Sentinel-2) uydu görüntülerinin işlenmesi

Bu çalışma kapsamında; NDVI ile diğer biyofiziksel değişkenlere (LAI, fCover ve CW) ilişkin değerlerin hesaplanması için Sentinel-2 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları Şekil 3.40'ta gösterilmiştir. Uygulanan işlem adımlarına ilişkin bilgiler ise aşağıda listelenmiştir:



Şekil 3.40. Sentinel-2 uydu görüntülerine uygulanan işlem adımları

Bantların yeniden örneklendirilmesi: Multispektral uydu görüntüleri birden fazla spektral banda sahiptir (Nandibewoor vd. 2015). Sentinel-2 uydu görüntüleri de Şekil 3.16 ve Çizelge 3.11’de görüldüğü üzere 13 spektral banda sahiptir. Bu 13 spektral bandın 4’ü 10 m çözünürlüğe, 6’sı 20 m çözünürlüğe, 3’ü ise 60 m çözünürlüğe sahiptir (Şekil 3.16; Çizelge 3.11). Ancak biyofiziksel değişkenlere (LAI, fCover ve CW) ilişkin değerlerin hesaplanması için bu bantların tamamının aynı çözünürlüğe sahip olması gerekmektedir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında bantlar yeniden örneklendirilmiş ve tüm bantların aynı çözünürlüğe sahip olması sağlanmıştır. Yeniden örneklendirme işlemi sonucu elde edilen çözünürlükler ise 10 m’dir.

Çalışma alanı dışında kalan alanların kesilmesi: Bu çalışma kapsamında, uydu görüntüsünün tamamıyla ilgilenilmediği için çalışma alanı dışında kalan alanlar kesilmiştir. Çalışma alanı çok küçük bir alan olduğu için bu işlem çalışma alanının dışında kalan bazı alanları da kapsayacak şekilde, Çizelge 3.19’daki koordinatlar kullanılarak çizilen bir poligon yardımıyla gerçekleştirilmiştir.

NDVI ile diğer biyofiziksel değişkenlere (LAI, fCover ve CW) ilişkin değerlerin hesaplanması: Bitki örtüsü indeksleri, bitki örtüsünün spektral değişkenliğini tanımlama yeteneğine sahiptir (Khaliq vd. 2018). Bitki örtüsü indeksleri, bitki büyümesini ve bitki durumunu izlemek için genellikle görünür bantlar (çoğunlukla kırmızı bant) ile yakın kızılötesi bant arasındaki yansıma farklarından yararlanır (Sun vd. 2021).

Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI), tarımsal uygulamalarda en çok kullanılan bitki indekslerinden birisidir (Bhandari vd. 2012; Nandibewoor vd. 2015). NDVI ile bitki örtüsüne sahip alanlar tespit edilebilir ve bitki örtüsünün canlılığı yorumlanabilir. Bu çalışmada, Rouse vd. (1974) tarafından önerilen; bitki büyümesinin ve bitki durumunun izlenmesi için sıklıkla kullanılan bitki indeksi olan NDVI kullanılmıştır.

NDVI değeri -1 ila +1 arasında değişir (Nandibewoor vd. 2015; Alvino vd. 2020; Mehta 2020; EO College 2021a): -1 ila 0 arasındaki değerler yeşil bitki örtüsünün olmadığı alanları, 0’a yakın pozitif değerler yeşil bitki örtüsünün seyrek olduğu alanları (EO College 2021a), 1’e yakın değerler ise yeşil bitki örtüsünün yoğun olduğu alanları gösterir (Alvino vd. 2020; Mehta 2020; EO College 2021a). NDVI değerlerinin hesaplanmasında (3.6)’daki bağıntı kullanılmaktadır (Rouse vd. 1974):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (3.6)$$

Bu bağıntıda;

NIR = elektromanyetik spektrumun yakın kızılötesi bölgesindeki yansımayı,

RED = elektromanyetik spektrumun kırmızı bölgesindeki yansımayı temsil etmektedir.

Sentinel-2 uydusunun bantları ve bu bantların elektromanyetik spektrumda (EMS) yer aldığı bölgeler Çizelge 3.11’de gösterilmiştir. Dolayısıyla bu çalışma kapsamında, Sentinel-2 uydu görüntülerinden NDVI değerlerinin hesaplanması için (3.7)’deki bağıntı kullanılmıştır:

$$NDVI = \frac{B8 - B4}{B8 + B4} \quad (3.7)$$

Yapılan kaynak taraması sonucu, tarımsal uygulamalarda SAR görüntülerinden elde edilen geri saçılma değerlerinin NDVI dışında LAI, kanopi kapallılığı ve kanopi su içeriği gibi biyofiziksel değişken değerleriyle de karşılaştırıldığı gözlenmiştir. Bu nedenle bu çalışmada; Yaprak Alan İndeksi (LAI), bitki örtüsü oranı (fCover) ve kanopi su içeriği (CW) de hesaplanmıştır.

Optik uydu görüntüleri, bitki örtüsünün biyofiziksel değişkenlerine ilişkin bilgilerin tahmin edilmesi için önemli bir veri kaynağıdır (Zhang vd. 2019). LAI gibi biyofiziksel değişkenler, bitkinin gerçek ve ölçülebilir özelliklerini temsil eder (EO College 2021b). LAI, bitki gelişiminin (Kross vd. 2015; Hosseini vd. 2021) ve ürün verimliliğinin (Jiao vd. 2010, 2011; Hosseini vd. 2015, 2021; Mandal vd. 2019) önemli bir göstergesidir. Bu nedenle LAI, bitki büyümesinin ve bitki durumunun izlenmesinde büyük önem taşımaktadır (Sukawattanavijit vd. 2017; Liao vd. 2018).

LAI, birim yatay zemin alanı başına kanopinin yeşil elemanlarının toplam alanının yarısıdır. Dolayısıyla LAI, bitki örtüsünün kalınlığını ölçmektedir (Anonymous 7). fCover, yeşil bitki örtüsüyle kaplı zeminin oranıdır. Dolayısıyla fCover, bitki örtüsünün mekânsal kapsamını ölçmektedir (Anonymous 8, 9; ICPAC 2020). fCover değeri 0 ila 1 arasında değişir: 0 bitki örtüsüz toprağı, 1 tamamen bitki örtüsüyle kaplı alanı gösterir (ICPAC 2020). CW ise birim zemin alanı başına düşen su kütlesidir (g/m^2) (Weiss ve Baret 2016).

Bu çalışma kapsamında; LAI, fCover ve CW değerleri, SNAP yazılımında bulunan Biyofiziksel İşlemci kullanılarak hesaplanmıştır. LAI ve fCover görüntüleri 10 m çözünürlüğe, CW görüntüsü ise 20 m çözünürlüğe sahiptir.

Çalışma alanına ilişkin NDVI, LAI, fCover ve CW medyan değerlerinin yazdırılması: Bu çalışma kapsamında, elde edilen verilerin alan bazlı değerlendirilmesi için çalışma alanına ilişkin NDVI, LAI, fCover ve CW medyan değerleri yazdırılmıştır.

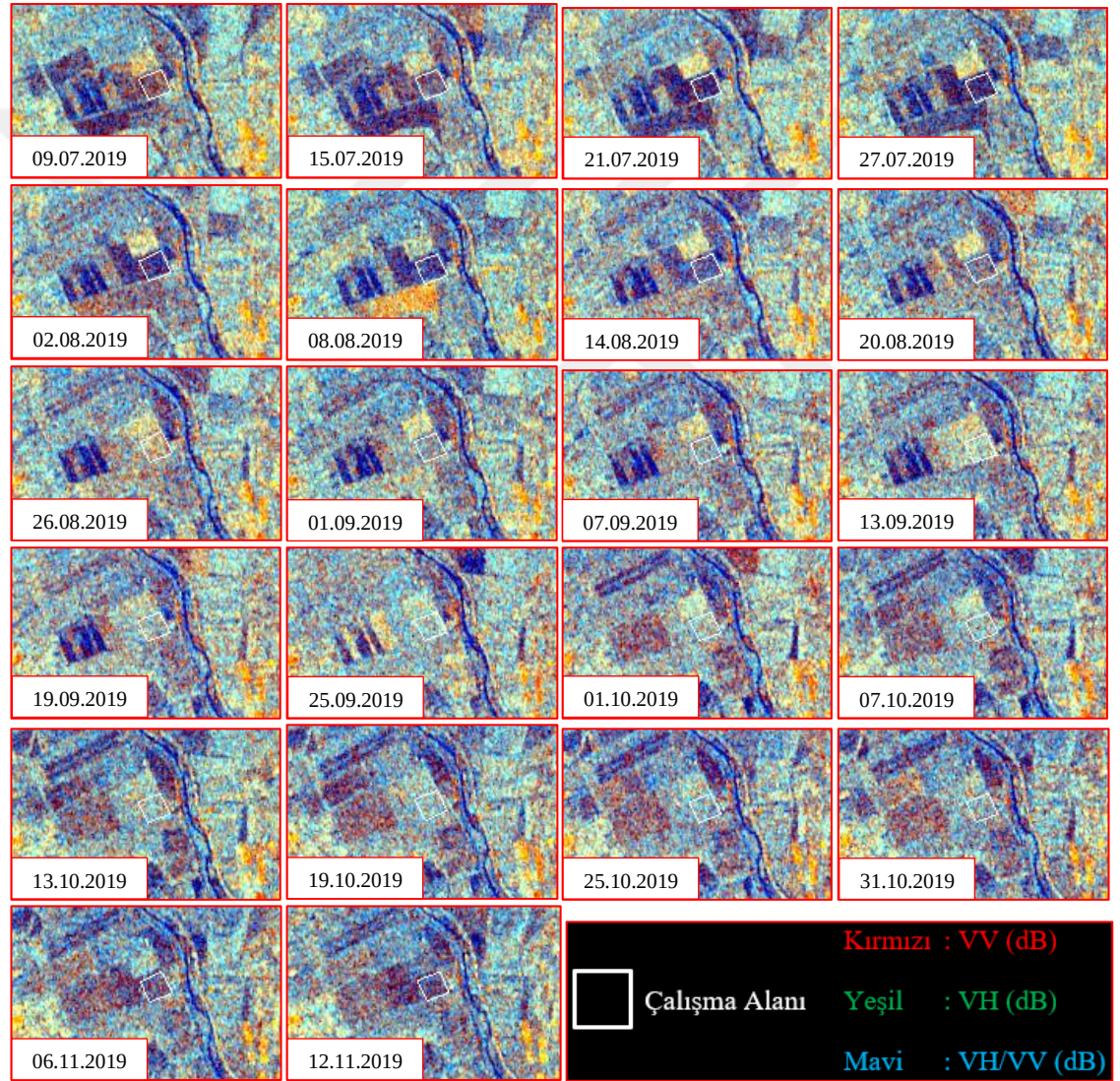
3.3.3. Uydu görüntülerinden elde edilen değerlerin analiz edilmesi

SAR sensörleri tüm hava koşullarında, gece ve gündüz dünya yüzeyi hakkında bilgi elde edebilmektedir (Hütt vd. 2016; Jagdhuber vd. 2017). Ancak bulut örtüsünün ve sisin mevcudiyeti, optik sensörlerin dünya yüzeyi hakkında bilgi elde etmesini engellemektedir (Brosinsky vd. 2019). Bu nedenle, çalışmada kullanılan Sentinel-1 uydu görüntülerinin tamamından elde edilen değerler analiz edilmiş ve yorumlanmıştır; çalışma alanının üzerinde bulut örtüsünün veya sisin mevcut olduğu ve Çizelge 3.13’te kalın punto ile yazılmış olan Sentinel-2 uydu görüntülerinden elde edilen değerler ise, bu çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmamıştır.

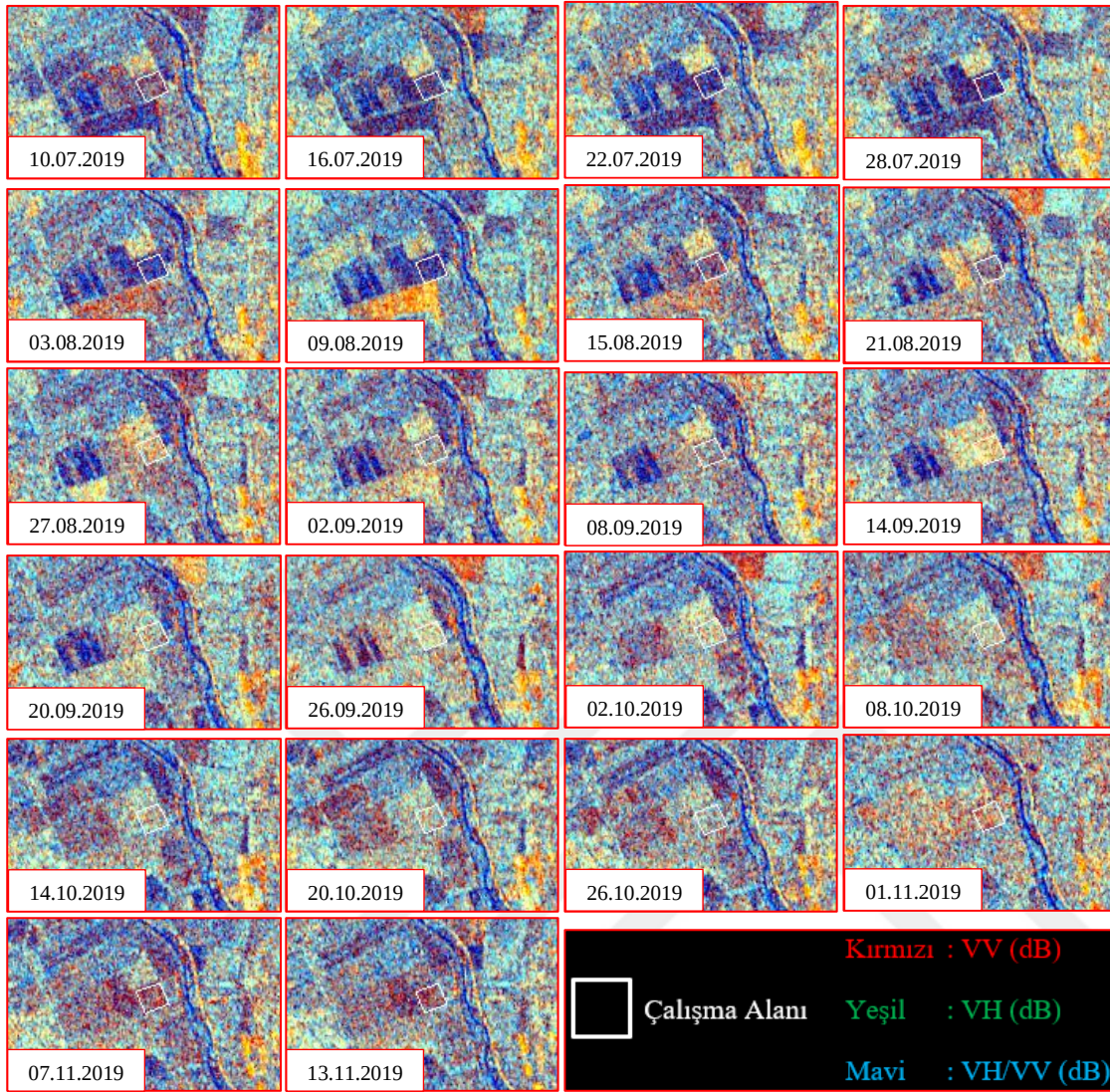
4. BULGULAR VE TARTIŞMA

4.1. SAR (Sentinel-1) Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Değerler

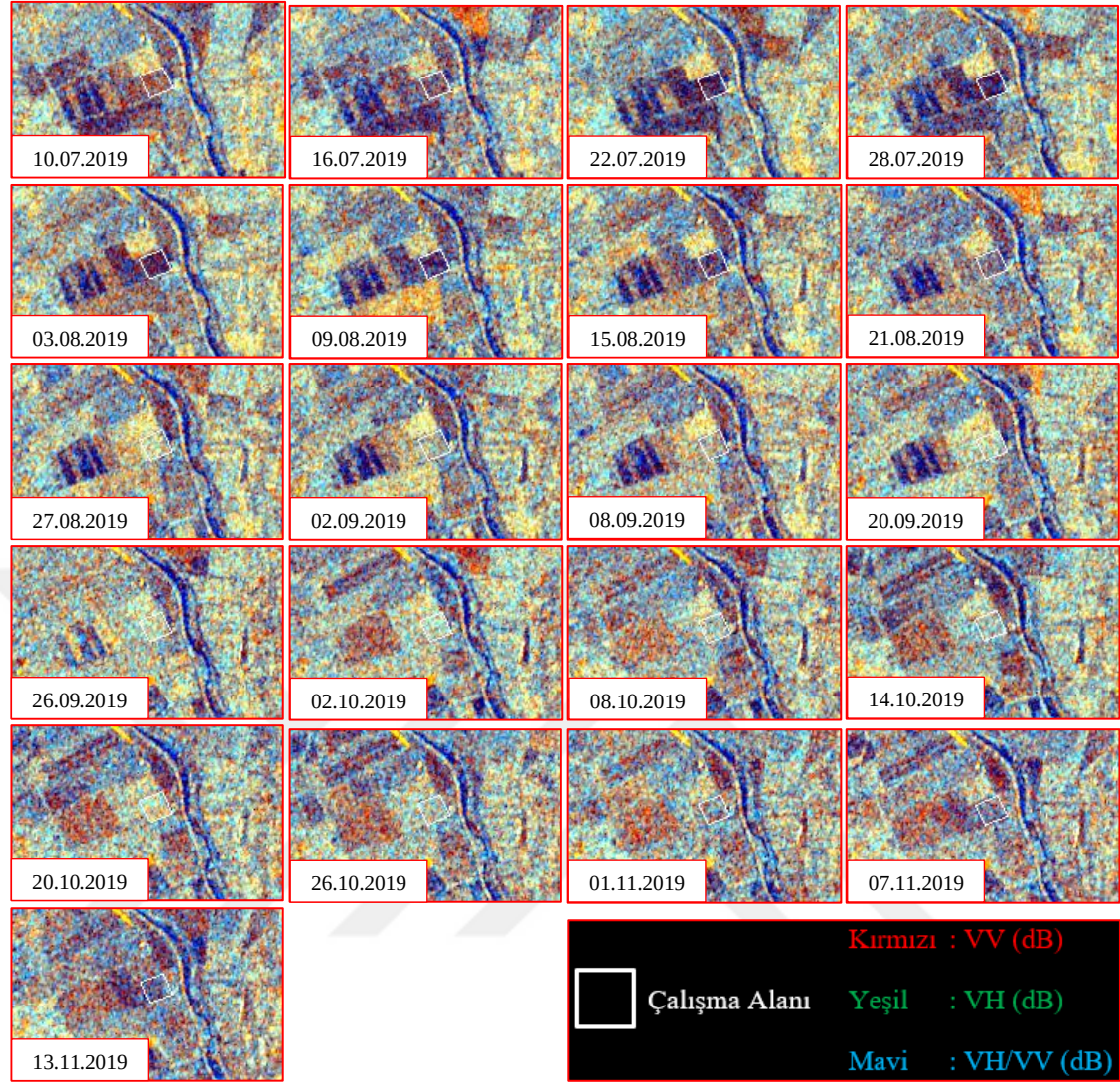
Yükselen yörünge yönünde, görece 58 numaralı (Yükselen-58) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV, VH ve VH/VV bant kombinasyonları kullanılarak oluşturulan renkli görüntüleri Şekil 4.1’de; yükselen yörünge yönünde, görece 160 numaralı (Yükselen-160) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV, VH ve VH/VV bant kombinasyonları kullanılarak oluşturulan renkli görüntüleri Şekil 4.2’de; alçalan yörünge yönünde, görece 65 numaralı (Alçalan-65) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV, VH ve VH/VV bant kombinasyonları kullanılarak oluşturulan renkli görüntüleri ise Şekil 4.3’te gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV, VH ve VH/VV bant kombinasyonları kullanılarak oluşturulan renkli görüntüleri



Şekil 4.2. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV, VH ve VH/VV bant kombinasyonları kullanılarak oluşturulan renkli görüntüleri



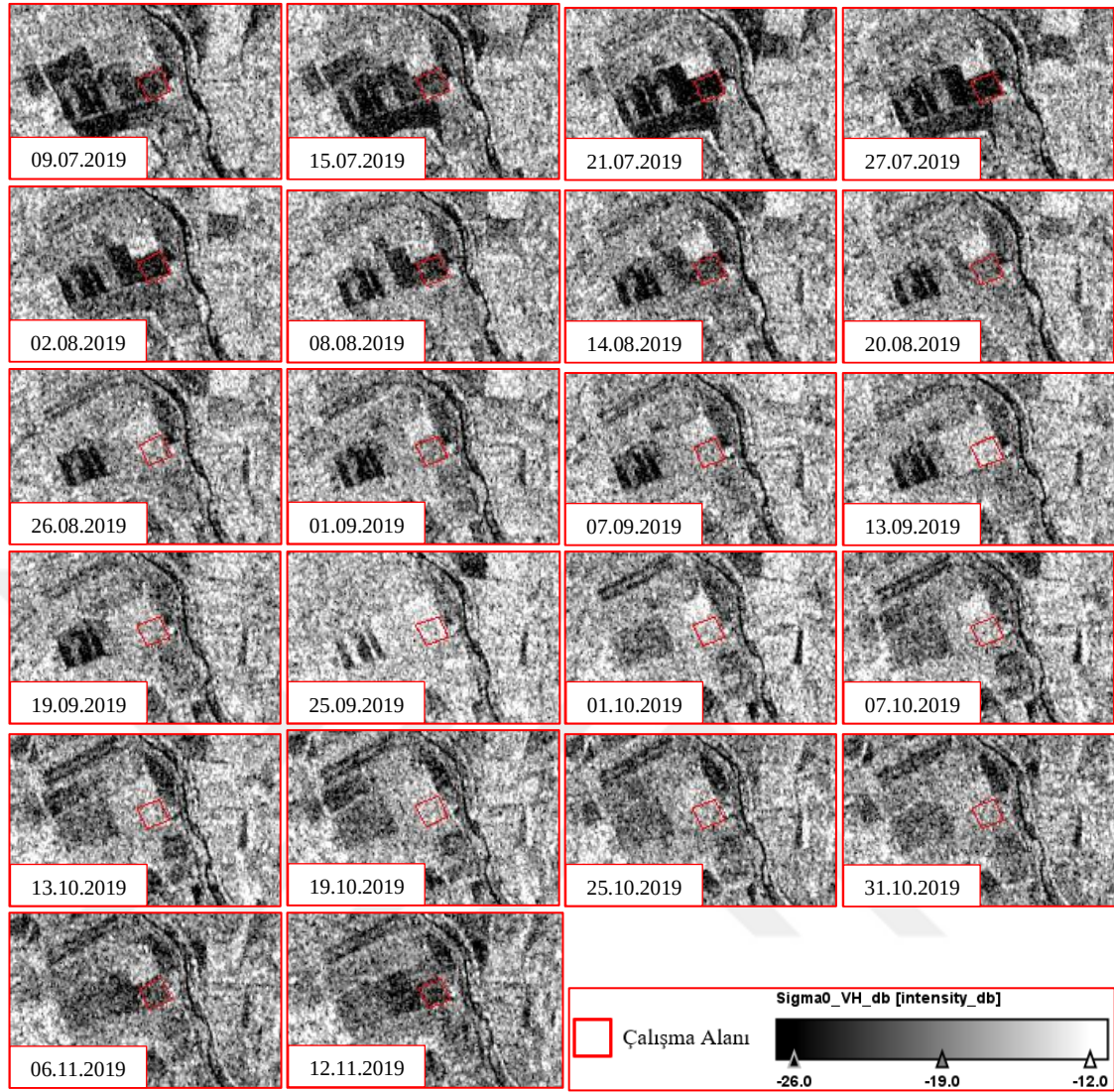
Şekil 4.3. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV, VH ve VH/VV bant kombinasyonları kullanılarak oluşturulan renkli görüntüleri

4.1.1. Sentinel-1 uydu görüntülerinden elde edilen geri saçılma değerleri

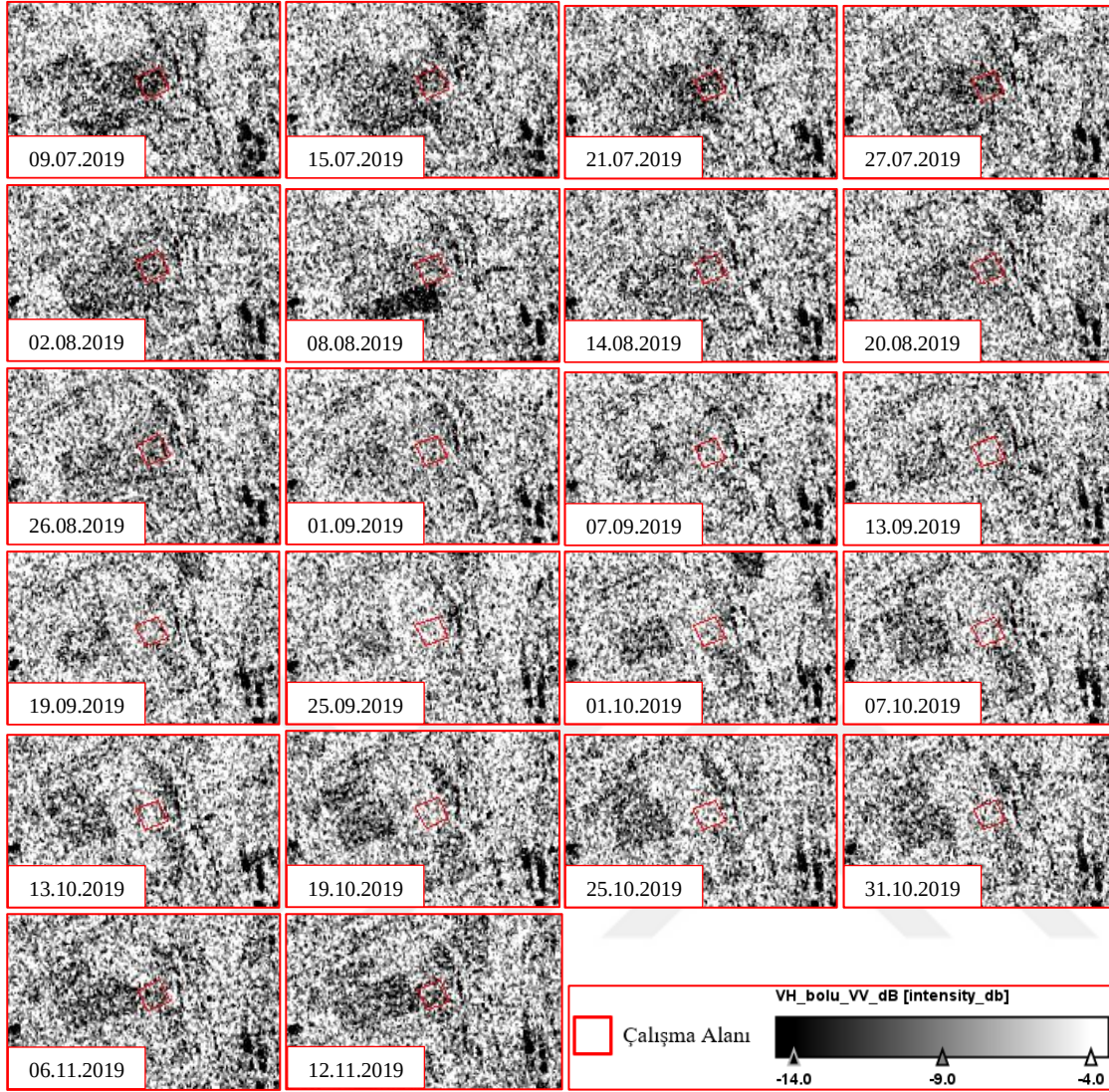
Yükselen yörünge yönünde, görece 58 numaralı (Yükselen-58) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV bandına ilişkin görüntüleri Şekil 4.4'te, VH bandına ilişkin görüntüleri Şekil 4.5'te, VH/VV bandına ilişkin görüntüleri ise Şekil 4.6'da; yükselen yörünge yönünde, görece 160 numaralı (Yükselen-160) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV bandına ilişkin görüntüleri Şekil 4.7'de, VH bandına ilişkin görüntüleri Şekil 4.8'de, VH/VV bandına ilişkin görüntüleri ise Şekil 4.9'da; alçalan yörünge yönünde, görece 65 numaralı (Alçalan-65) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV bandına ilişkin görüntüleri Şekil 4.10'da, VH bandına ilişkin görüntüleri Şekil 4.11'de, VH/VV bandına ilişkin görüntüleri ise Şekil 4.12'de gösterilmiştir.



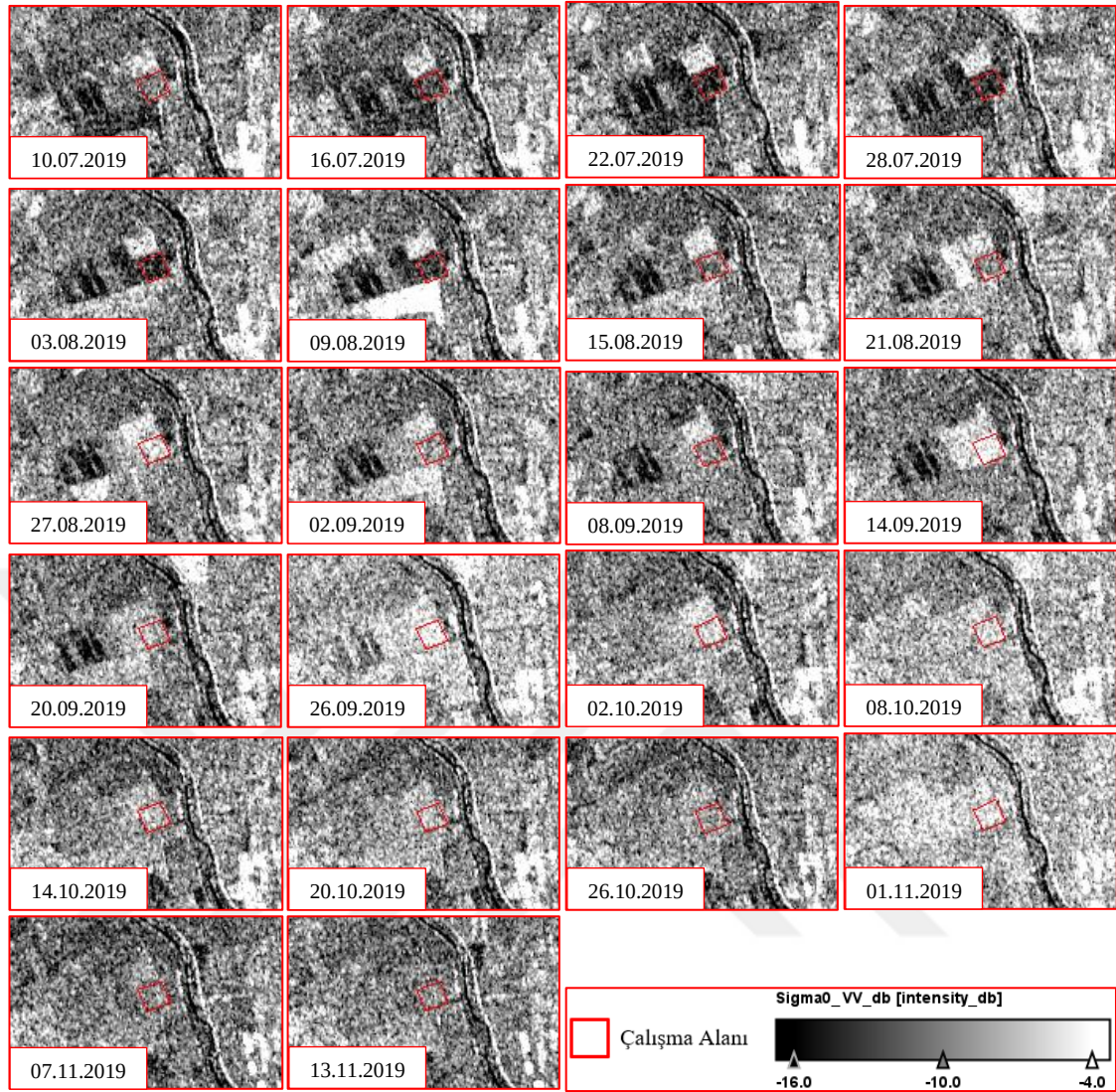
Şekil 4.4. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV bandına ilişkin görüntüleri



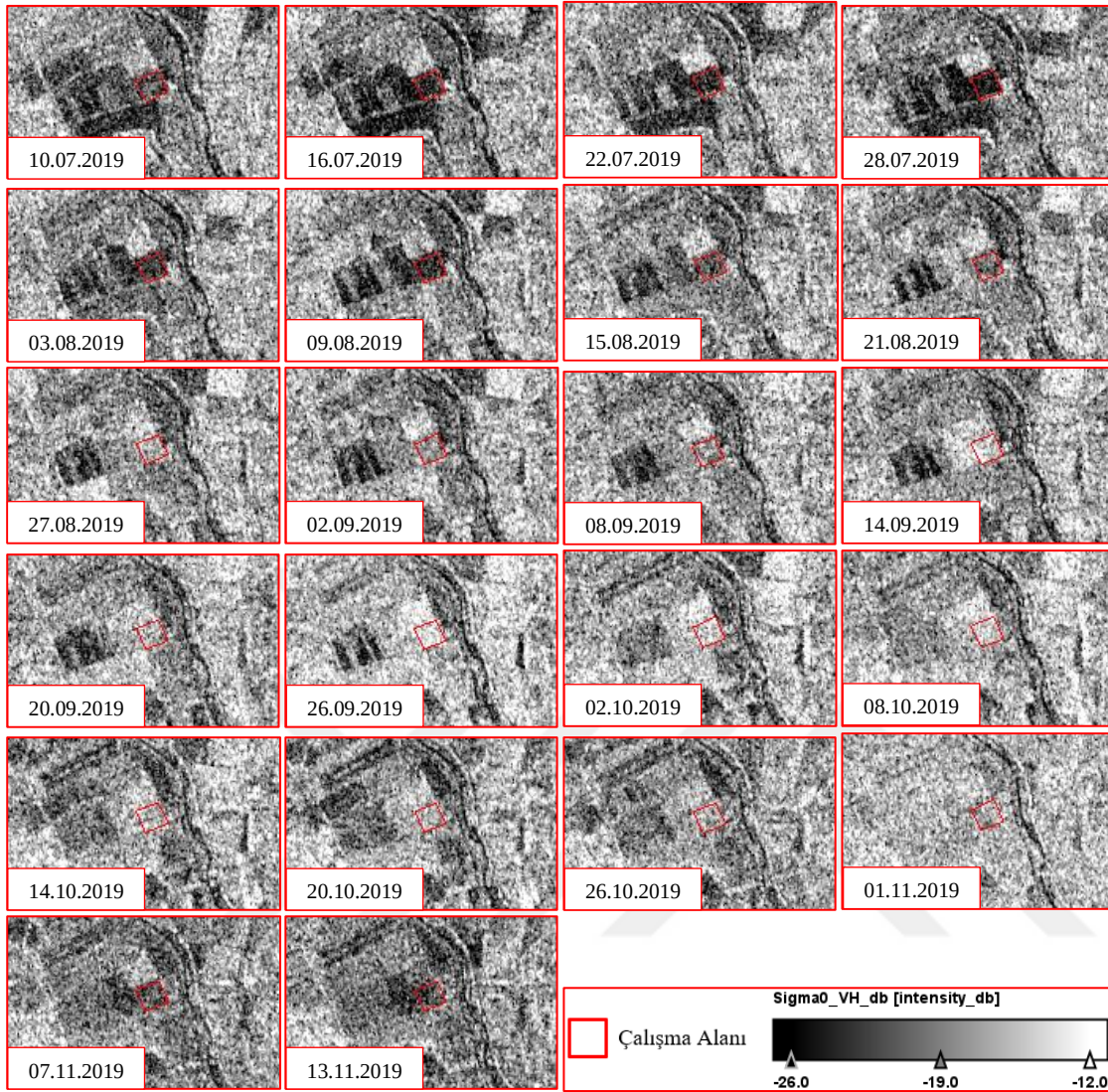
Şekil 4.5. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VH bandına ilişkin görüntüleri



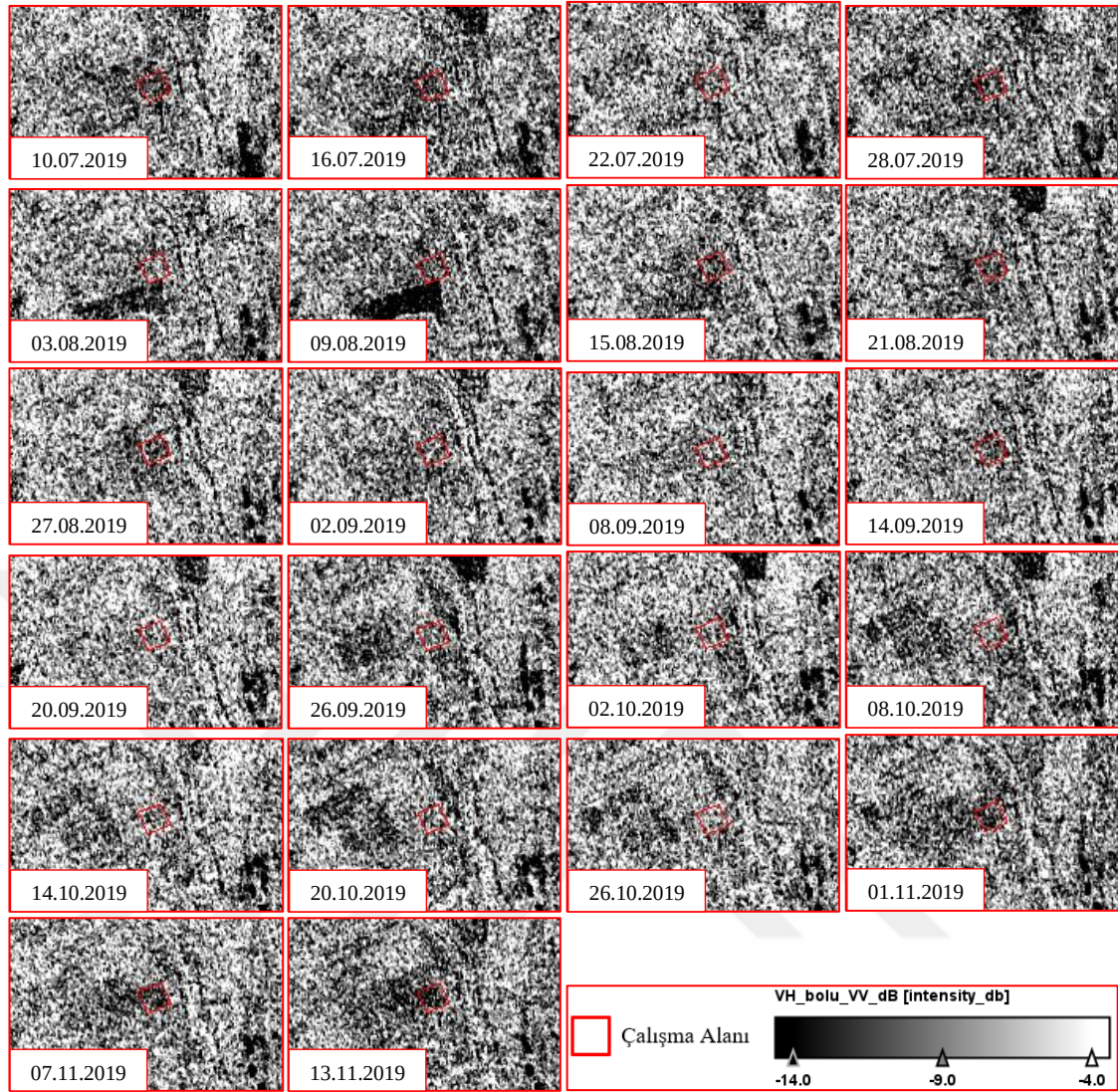
Şekil 4.6. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VH/VV bandına ilişkin görüntüleri



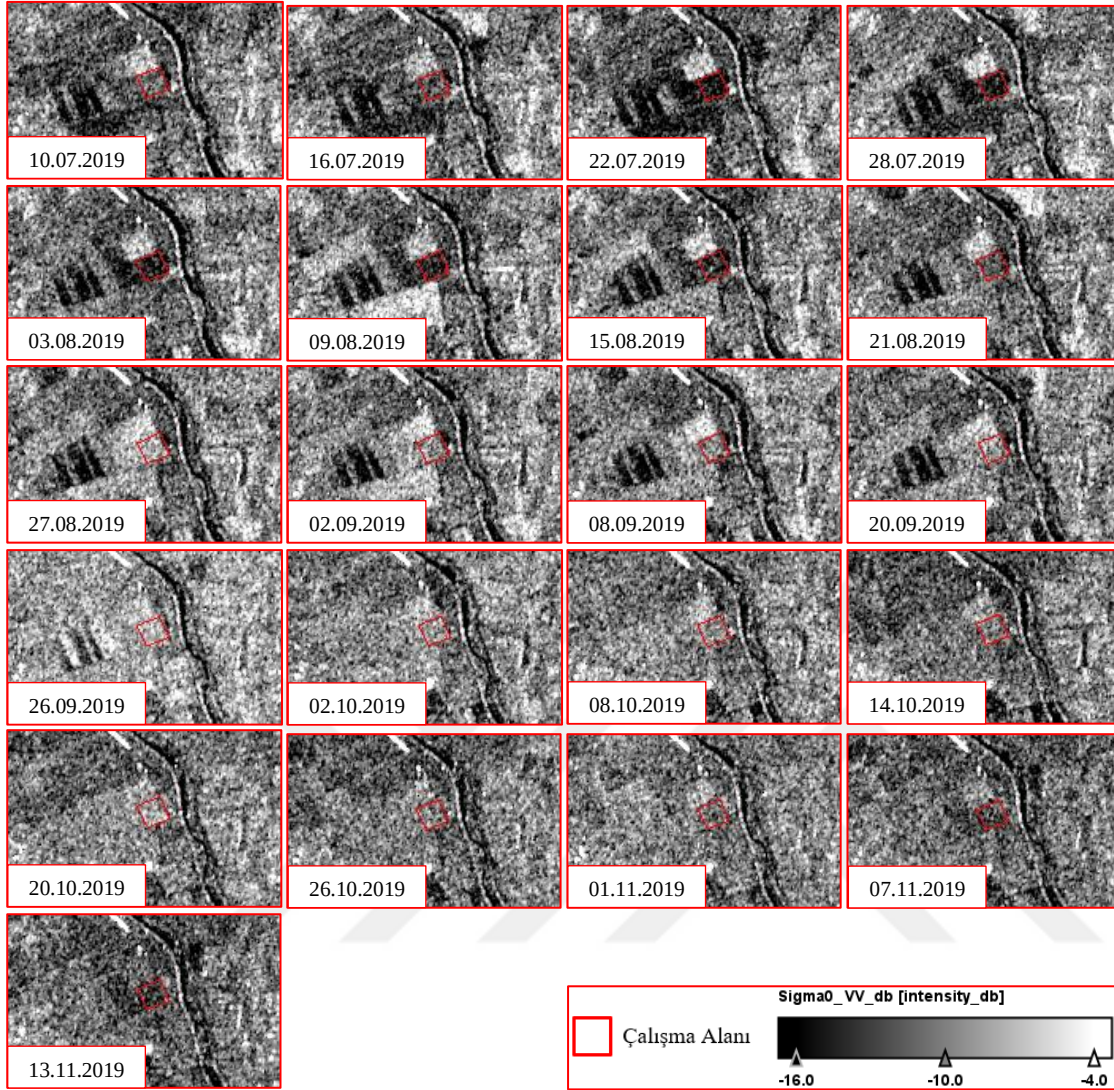
Şekil 4.7. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV bandına ilişkin görüntüleri



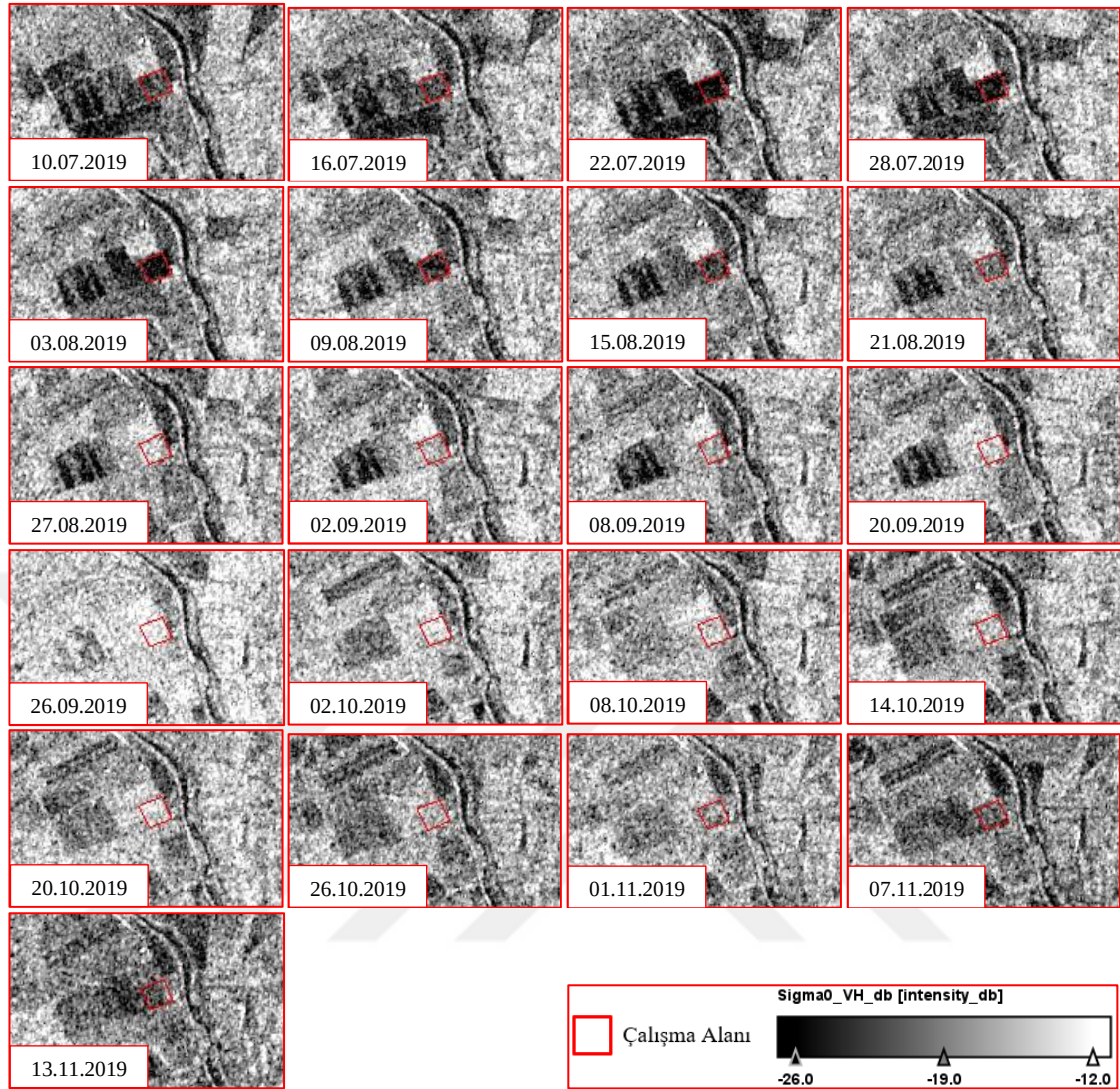
Şekil 4.8. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VH bandına ilişkin görüntüleri



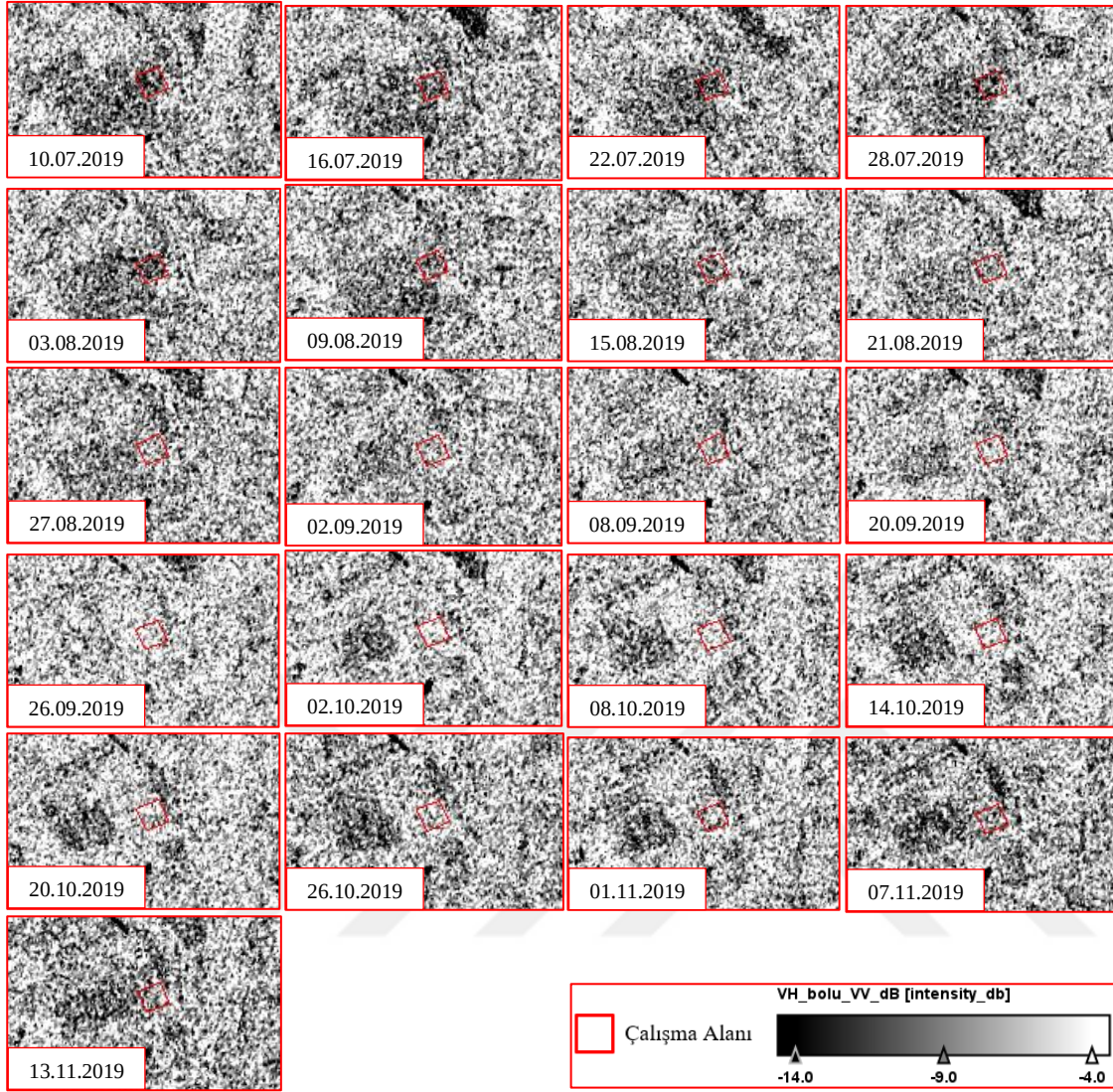
Şekil 4.9. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VH/VV bandına ilişkin görüntüleri



Şekil 4.10. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VV bandına ilişkin görüntüleri

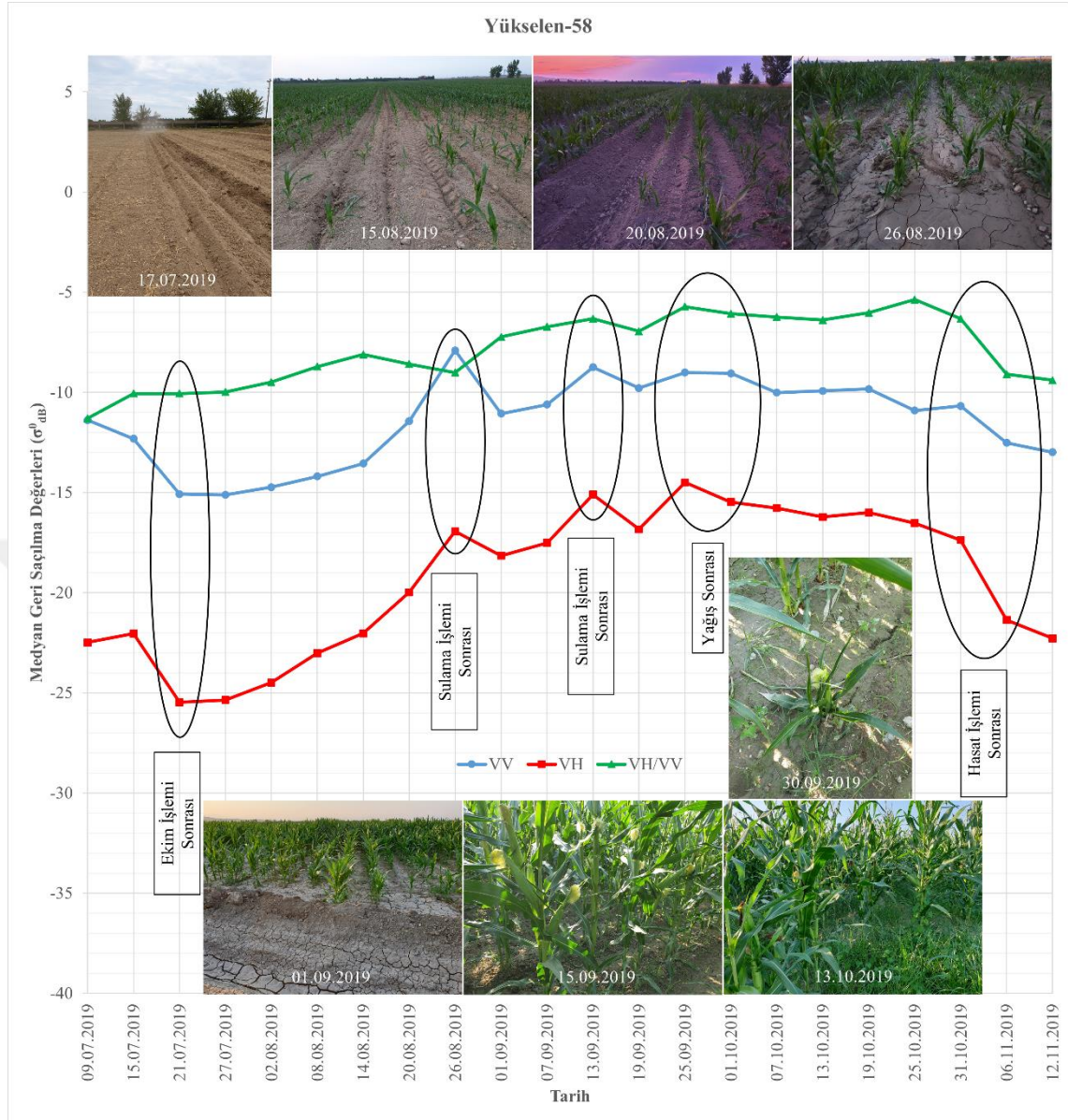


Şekil 4.11. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VH bandına ilişkin görüntüleri

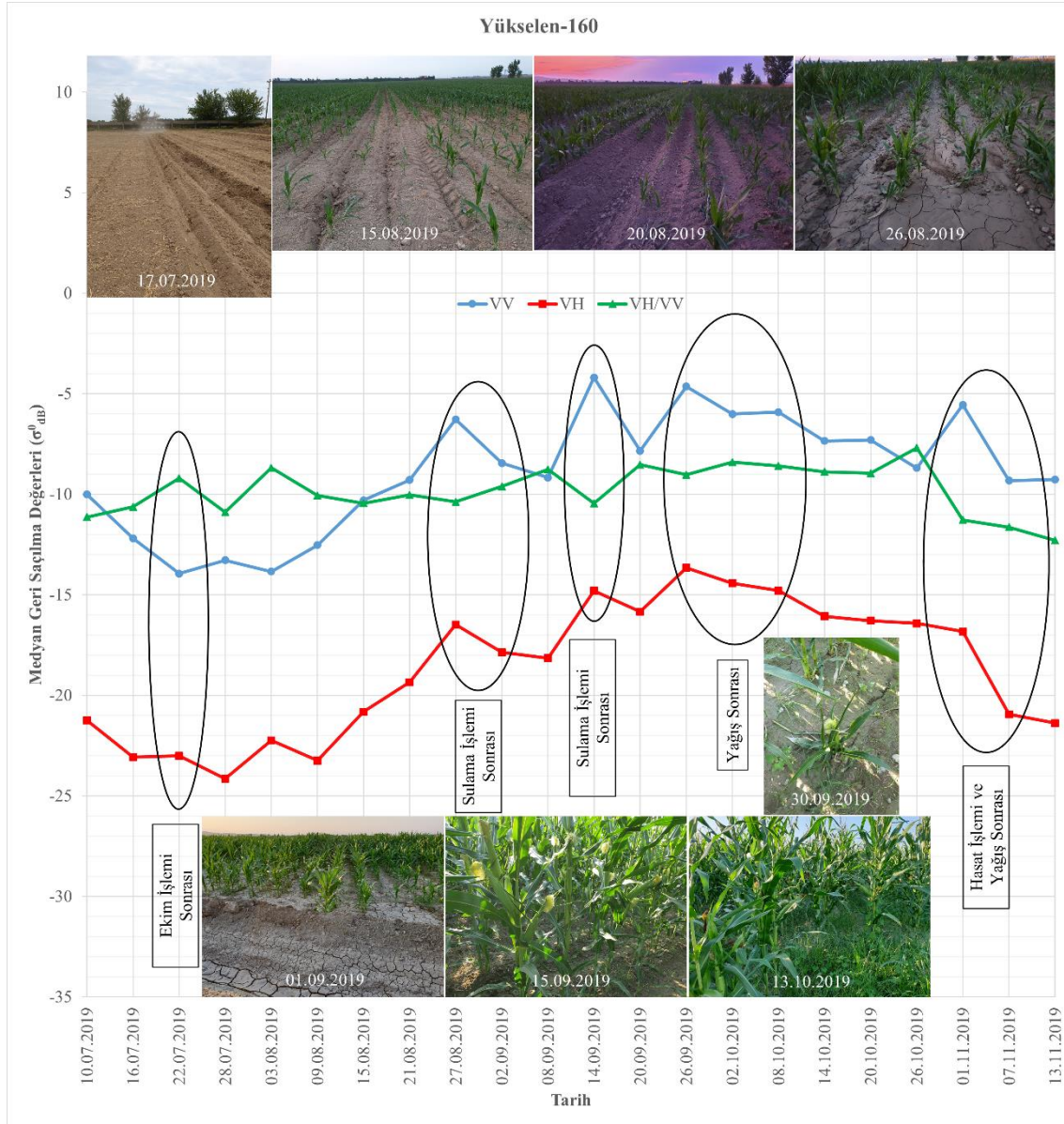


Şekil 4.12. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin VH/VV bandına ilişkin görüntüleri

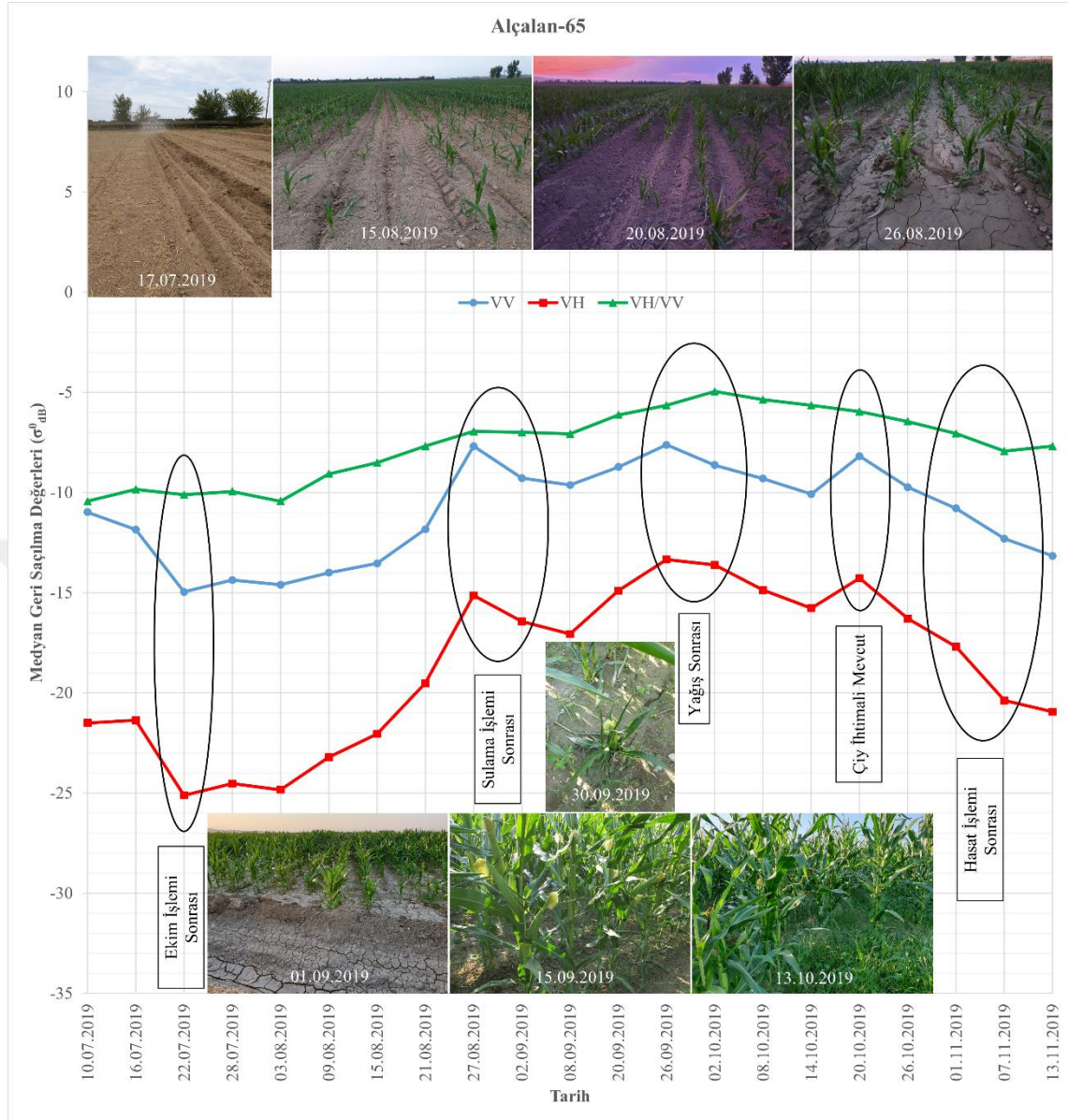
Yükselen yörünge yönünde, görece 58 numaralı (Yükselen-58) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin çalışma alanına ilişkin medyan geri saçılma değerleri (σ_{VV}^0 , σ_{VH}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$) Şekil 4.13'te; yükselen yörünge yönünde, görece 160 numaralı (Yükselen-160) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin çalışma alanına ilişkin medyan geri saçılma değerleri (σ_{VV}^0 , σ_{VH}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$) Şekil 4.14'te; alçalan yörünge yönünde, görece 65 numaralı (Alçalan-65) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin çalışma alanına ilişkin medyan geri saçılma değerleri (σ_{VV}^0 , σ_{VH}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$) ise Şekil 4.15'te gösterilmiştir.



Şekil 4.13. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin çalışma alanına ilişkin medyan geri saçılma değerleri (σ_{VV}^0 , σ_{VH}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$)



Şekil 4.14. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin çalışma alanına ilişkin medyan geri saçılma değerleri (σ_{VV}^0 , σ_{VH}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$)



Şekil 4.15. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin çalışma alanına ilişkin medyan geri saçılma değerleri (σ_{VV}^0 , σ_{VH}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$)

Ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra oluşan sıra araları sık ise; yüzey, ekim (sıra) yönüne bakılmaksızın radar görüntüsünde pürüzsüz görünme eğilimindedir. Ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra oluşan sıra araları derinse; radarın bakış yönüne göre ekim (sıra) yönü önemli hâle gelir. Ekim (sıra) yönü radarın bakış yönüne paralel ise; yüzey, radar görüntüsünde pürüzsüz görünme eğilimindedir. Ekim (sıra) yönü radarın bakış yönüne dik ise; yüzey çok pürüzlü hâle gelir ve geri saçılmanın çok yüksek olmasına, dolayısıyla radar görüntüsünde o alanın çok parlak olmasına neden olur (Formaggio vd. 2001) (Şekil 2.7).

Bu çalışma kapsamında, Şekil 3.4 ve Şekil 3.14 incelendiğinde; özellikle yükselen yörünge yönünde (Yükselen-58 ve Yükselen-160) elde edilen uydu görüntülerinde radarın bakış yönünün ekim (sıra) yönüne neredeyse dik olduğu görülmektedir. Buna rağmen, 17.07.2019 tarihinde gerçekleştirilen ekim işleminden sonra, 3 farklı yörüngeden (Yükselen-58, Yükselen-160 ve Alçalan-65) 21.07.2019 ve 22.07.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin σ_{VV}^0 değerlerinde düşüş gözlenmiştir (Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15). 17.07.2019 tarihinde gerçekleştirilen ekim işleminden sonra, Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntüsünün σ_{VH}^0 değeri hariç; Yükselen-58 ve Alçalan-65 yörüngelerinden 21.07.2019 ve 22.07.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin σ_{VH}^0 değerlerinde de düşüş gözlenmiştir (Şekil 4.13, Şekil 4.15). Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinde çalışma alanı IW1’de, Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinde çalışma alanı IW2’de, Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinde ise çalışma alanı IW3’te yer almaktadır (Çizelge 3.9, Çizelge 3.17). Bu nedenle, diğer yörüngelerden elde edilen uydu görüntülerine kıyasla, Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinde çalışma alanının bulunduğu alt şerit daha küçük bir geliş açısıyla elde edilmiştir (Çizelge 3.8). Dolayısıyla 17.07.2019 tarihinde gerçekleştirilen ekim işleminden sonra, Yükselen-160 yörüngesinden 22.07.2019 tarihinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntüsünün σ_{VH}^0 değerinin sabit kalmasının nedeni, küçük geliş açılarında ekim (sıra) yönü etkilerinin daha az olmasıyla ve çapraz polarizasyonun ekim (sıra) yönünden daha az etkilenmesiyle açıklanabilir (McNairn ve Brisco 2004).

Bu çalışmada, Veloso vd. (2017) tarafından da gözlemlendiği gibi, ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin σ_{VV}^0 ve σ_{VH}^0 değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Ancak Veloso vd. (2017) tarafından gözlenen aksine, bu çalışmada $\sigma_{VH/VV}^0$ değerlerinde düşüş gözlenmemiş olup; ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntüsünün $\sigma_{VH/VV}^0$ değeri ile Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntüsünün $\sigma_{VH/VV}^0$ değerinin sabit kaldığı, Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntüsünün $\sigma_{VH/VV}^0$ değerinin ise arttığı gözlenmiştir (Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15).

SAR geri saçılmaları dinamiktir (Verma vd. 2019). Yani ekimden hasada doğru bitki yapısı geliştikçe geri saçılma değerleri de değişir (Hosseini vd. 2019; Verma vd. 2019). Genel olarak, mısır gibi geniş yapraklı bitkiler için bitki büyüdükçe geri saçılma değerleri artar (Soria-Ruiz vd. 2009; Verma vd. 2019; Alonso-González vd. 2020). Öte yandan, C-bant radar sinyalinin daha büyük biyokütleyle sahip bitkiler tarafından zayıflatıldığı bilinmektedir (Soria-Ruiz vd. 2007). Bu nedenle, geri saçılma değerleri yüksek LAI veya biyokütlede doyumluğa ulaşabilir. Bu, ürün bitki maddesini biriktirmeye devam ederken radar geri saçılmalarının artık bu artışlara yanıt vermediği anlamına gelir (Steele-Dunne vd. 2017). Dolayısıyla bitki biyokütlesindeki ve geometrisindeki küçük değişiklikler nedeniyle, geri saçılma değerlerinde hiç değişiklik gözlenmez veya çok az değişiklik görülür (Verma vd. 2019).

Bu çalışma kapsamında, Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin geri saçılma değerleri incelendiğinde; σ_{VV}^0 , σ_{VH}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$ değerlerinin, 27.07.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 8 cm’yi biraz aşındırmaya kadar) düşük seyrettiği; 02.08.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 25 cm’yi aştıktan sonra)

19.09.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 250 cm'yi aşındırmaya kadar) arttığı; 19.09.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 250 cm'yi aşındırmadan sonra) doymuşluğa ulaştığı ve 19.10.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 275 cm'yi biraz aşındırmaya kadar) yaklaşık olarak aynı seviyelerde seyrettiği gözlenmiştir. σ^0_{VH} değerinin, bitkiler hasat edilinceye kadar (25.10.2019 tarihine kadar, ortalama bitki boyu 275 cm) aynı seviyelerde kaldığı; σ^0_{VV} değerinin, bitkiler hasat edilmeden hemen önce 25.10.2019 tarihinde (ortalama bitki boyu 275 cm) biraz düşüş gösterdiği; $\sigma^0_{VH/VV}$ değerinin ise bitkiler hasat edilmeden hemen önce 25.10.2019 tarihinde (ortalama bitki boyu 275 cm) biraz artış gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.13).

Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin geri saçılma değerleri incelendiğinde; σ^0_{VV} değerlerinin 03.08.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 25 cm'ye ulaşındırmaya kadar), σ^0_{VH} değerlerinin ise 09.08.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 50 cm'ye ulaşındırmaya kadar) düşük seyrettiği; σ^0_{VV} değerlerinin 09.08.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 50 cm'yi aşındırmadan sonra), σ^0_{VH} değerlerinin ise 15.08.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 60 cm'yi aşındırmadan sonra) 20.09.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 250 cm'yi aşındırmaya kadar) arttığı gözlenmiştir. σ^0_{VV} ve σ^0_{VH} değerlerinin, 20.09.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 250 cm'yi aşındırmadan sonra) doymuşluğa ulaştığı ve 20.10.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 275 cm) yaklaşık olarak aynı seviyelerde seyrettiği gözlenmiştir. σ^0_{VH} değerinin, bitkiler hasat edilinceye kadar (26.10.2019 tarihine kadar, ortalama bitki boyu 275 cm) aynı seviyelerde kaldığı; σ^0_{VV} değerinin ise bitkiler hasat edilmeden hemen önce 26.10.2019 tarihinde (ortalama bitki boyu 275 cm) biraz düşüş gösterdiği gözlenmiştir. $\sigma^0_{VH/VV}$ değerleri için ise net bir eğilim gözlenmemiştir (Şekil 4.14).

Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin geri saçılma değerleri incelendiğinde; σ^0_{VV} , σ^0_{VH} ve $\sigma^0_{VH/VV}$ değerlerinin, 03.08.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 25 cm'ye ulaşındırmaya kadar) düşük seyrettiği; 09.08.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 50 cm'yi aşındırmadan sonra) 20.09.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 250 cm'yi aşındırmaya kadar) arttığı gözlenmiştir. σ^0_{VH} ve $\sigma^0_{VH/VV}$ değerlerinin, 08.10.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 270 cm'yi aşındırmadan sonra) bitkiler hasat edilinceye kadar (26.10.2019 tarihine kadar, ortalama bitki boyu 275 cm) düşüş gösterdiği; σ^0_{VV} değerlerinin ise bitkiler hasat edilinceye kadar (26.10.2019 tarihine kadar, ortalama bitki boyu 275 cm) yaklaşık olarak aynı seviyelerde seyrettiği gözlenmiştir (Şekil 4.15).

Bu çalışmada, diğer çalışmalarda da gözlemlendiği gibi, bitki büyüdükçe geri saçılma değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Erken büyüme aşamasında bitki büyümesine en iyi tepkiyi, Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin geri saçılma değerleri (özellikle VH polarizasyonu) göstermiştir (Şekil 4.13). Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, geri saçılma değerlerinin mısır büyümesindeki değişikliklere duyarsız olduğunu bildiren McNairn vd. (2002)'nin elde ettiği sonuçlarla çelişmektedir. Ayrıca bu çalışmada, Veloso vd. (2017) tarafından da gözlemlendiği gibi, geri saçılma değerlerinin mısır boyu 250 cm'yi aşındırmaya kadar artmaya devam ettiği gözlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, mısır boyu yaklaşık 1 m'yi aşındırmadan sonra geri saçılma değerlerinin doymuşluğa ulaşarak mısır boyundaki değişikliklere duyarsız hâle geldiğini bildiren McNairn vd. (2000)'in elde ettiği sonuçlarla çelişmektedir. Bu çelişki, bu

çalışmada kullanılan polarizasyonlar (VV, VH ve VH/VV) ile McNairn vd. (2000) tarafından kullanılan polarizasyonun (HH) farklı olmasından kaynaklanıyor olabilir.

SAR sinyali bulutların varlığından etkilenmez, ancak yağmura ve bitki örtüsü üzerindeki su damllarına karşı hassastır (Beriaux vd. 2021). Bu nedenle, görüntü elde etme periyodundaki yağış, yansıtıcı geri saçılma değerlerine neden olabilir (Ashmitha Nihar vd. 2019). Ayrıca, toprak nemi de SAR geri saçılmasını etkiler (Hosseini vd. 2019).

Bu çalışma kapsamında, 22.08.2019 tarihinde gerçekleştirilen sulama işlemi sonucunda; artan toprak nemi nedeniyle 3 farklı yörüngeden (Yükselen-58, Yükselen-160 ve Alçalan-65) 26.08.2019 ve 27.08.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin σ_{VV}^0 ve σ_{VH}^0 değerlerinde artış gözlenmiştir (Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15). Öte yandan, 22.08.2019 tarihinde gerçekleştirilen sulama işleminin ardından, 01.09.2019 tarihinde araziye gidilmiş ve bu tarih itibarıyla da toprağın nemli olduğu bilgisi kaydedilmiştir. Toprağın nemli olması nedeniyle, Yükselen-160 ve Alçalan-65 yörüngelerinden 02.09.2019 tarihinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin σ_{VV}^0 ve σ_{VH}^0 değerlerinin de yüksek geldiği gözlenmiştir (Şekil 4.14, Şekil 4.15). Bu, Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerine kıyasla, Yükselen-160 ve Alçalan-65 yörüngelerinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin mısır kanopisine daha fazla nüfuz ettiği ve toprak nemine daha duyarlı olduğu anlamına gelmektedir. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerine kıyasla, Yükselen-160 ve Alçalan-65 yörüngelerinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinde çalışma alanının bulunduğu alt şerit daha küçük geliş açısıyla elde edildiği için; bu yörüngelerden elde edilen görüntülerde, radar sinyallerinin mısır kanopisine daha fazla nüfuz ederek toprak nemine daha duyarlı hâle gelmiş olması beklenebilir bir durumdur.

09.09.2019 – 13.09.2019 tarihleri arasında gerçekleştirilen sulama işlemi sonucunda; artan toprak nemi nedeniyle Yükselen-58 ve Yükselen-160 yörüngelerinden 13.09.2019 ve 14.09.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin σ_{VV}^0 ve σ_{VH}^0 değerlerinde artış gözlenmiştir (Şekil 4.13, Şekil 4.14). Ancak, Alçalan-65 yörüngesinden 14.09.2019 tarihinde elde edilmiş bir Sentinel-1 uydu görüntüsünün mevcut olmaması nedeniyle; 09.09.2019 ila 13.09.2019 tarihleri arasında gerçekleştirilen sulama işleminin etkisi, bu yörüngeden elde edilen uydu görüntülerinin geri saçılma değerlerinde gözlenememiştir (Şekil 4.15). Sulama işlemleri sonucu, artan toprak nemi nedeniyle özellikle 13.09.2019 ve 14.09.2019 tarihlerinde elde edilen bu yüksek geri saçılma değerleri, iyi gelişmiş bitkiler için bile toprak katkısının göz ardı edilmemesi gerektiğini bildiren Macelloni vd. (2001)'i doğrular niteliktedir. Çünkü, bu tarihlerde ortalama bitki boyu 240 cm'nin üzerinde olup, bu tarih aralığında herhangi bir yağış bilgisi de bulunmamaktadır. Geri saçılma değerlerinin, mısır kanopisi en yüksek biyokütleye sahipken bile toprak nemine duyarlı olduğu Joseph vd. (2010) ve El Hajj vd. (2019) tarafından da gözlenmiştir. Geri saçılma değerlerinin toprak nemine duyarlılığı, toprak neminin de katkılarını içeren toprak-bitki örtüsü yolu boyunca meydana gelen saçılmadan kaynaklanmaktadır (Joseph vd. 2010; El Hajj vd. 2019).

25.09.2019 tarihinde gerçekleşen 7.2 mm'lik yağış ile 26.09.2019 tarihinde gerçekleşen 69.4 mm'lik yağış sonucunda; 3 farklı yörüngeden (Yükselen-58, Yükselen-160 ve Alçalan-65) 25.09.2019 ve 26.09.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin σ_{VV}^0 ve σ_{VH}^0 değerlerinde artış gözlenmiştir (Şekil 4.13, Şekil 4.14, Şekil 4.15). Bu yağışların ardından, 30.09.2019 tarihinde araziye gidilmiş ve bu tarih itibarıyla da toprağın oldukça nemli olduğu bilgisi kaydedilmiştir. Öte yandan; 01.10.2019, 03.10.2019 ve 05.10.2019 tarihlerinde 0.2 mm'lik, 06.10.2019 tarihinde 3.8 mm'lik, 07.10.2019 ve 08.10.2019 tarihlerinde de 0.2 mm'lik yağış bilgileri mevcuttur. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin geri saçılma değerleri incelendiğinde; 01.10.2019 tarihindeki σ_{VV}^0 değerinin, 25.09.2019 tarihine benzer şekilde yüksek geldiği görülmektedir (Şekil 4.13). Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin geri saçılma değerleri incelendiğinde; 02.10.2019 ve 08.10.2019 tarihlerindeki σ_{VV}^0 ve σ_{VH}^0 değerlerinin, 26.09.2019 tarihine yakın bir şekilde yüksek geldiği görülmektedir (Şekil 4.14). Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin geri saçılma değerleri incelendiğinde; 02.10.2019 tarihindeki σ_{VH}^0 değerinin, 26.09.2019 tarihine benzer bir şekilde yüksek geldiği görülmektedir (Şekil 4.15). Elde edilen bu yüksek geri saçılma değerlerinin nedeni; hafif yağışlar sonucu bitki yapraklarında kalan su damlacıkları olabileceği gibi, radar sinyallerinin mısır kanopisine nüfuz ederek toprak nemine duyarlı hâle gelmiş olması da olabilir.

Bu çalışmada, diğer çalışmalarda da gözlemlendiği gibi, yağış nedeniyle σ_{VV}^0 ve σ_{VH}^0 değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, yağışın geri saçılma değerlerinde düşüşe yol açtığını, bunun da yer gerçeği verileriyle doğrulandığını bildiren Selvaraj vd. (2019)'un elde ettiği sonuçlarla çelişmektedir.

Ayrıca, Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin $\sigma_{VH/VV}^0$ değerleri hariç, Yükselen-58 ve Alçalan-65 yörüngelerinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin $\sigma_{VH/VV}^0$ değerlerinin; ekim işlemi sonrası oluşan toprak pürüzlülüğünden, sulama işlemleri sonrası artan toprak neminden ve yağıştan çok fazla etkilenmediği gözlenmiştir (Şekil 4.13, Şekil 4.15). Benzer sonuçlar Blaes vd. (2006), Veloso vd. (2017), Khabbazan vd. (2019), Holtgrave vd. (2020) ve Pandžić vd. (2020) tarafından da gözlenmiştir.

Yapraklarda bulunan su, geri saçılma değerlerini artırır. Dolayısıyla sabahın erken saatlerinde elde edilen görüntüler sırasında çiy olup olmadığı düşünülmelidir (McNairn ve Jiao 2018).

Bu çalışma kapsamında, Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin geri saçılma değerleri incelendiğinde; 20.10.2019 tarihinde elde edilen σ_{VV}^0 ve σ_{VH}^0 değerlerinin yüksek geldiği gözlenmiştir (Şekil 4.15). Elde edilen bu yüksek geri saçılma değerlerinin nedeni; 19.10.2019 tarihinde gerçekleşen 0.4 mm'lik yağış sonucu bitki yapraklarında kalan su damlacıkları olabilir. Ancak bu etki, yükselen yörünge yönünde (Yükselen-58 ve Yükselen-160) 19.10.2019 ve 20.10.2019 tarihlerinde elde edilen uydu görüntülerinde görülmemektedir (Şekil 4.13, Şekil 4.14). Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntüleri, saat 06:59'da elde edilmiştir (Çizelge 3.9). Bu nedenle, elde edilen bu yüksek geri saçılma değerlerinin nedeni, büyük ihtimalle sabahın erken saatlerinde meydana gelen çiy nedeniyle bitki yapraklarında bulunan su damlacıklarıdır.

Ürün hasadı, bitkinin çoğunun uzaklaştırılmasına bağlı olarak geri saçılma değerlerinde güçlü bir azalma ile ilişkilidir. Ürün hasat edildikten sonra, farklı polarizasyonlarda saçılma bileşenlerinin artışı temsil eden ek bir artış da görülebilir. Bazı durumlarda, bitkinin alt kısmı hasattan sonra tarlada bırakılır ve bu da geri saçılmanın bu artışına katkıda bulunur (Alonso-González vd. 2020). Anız, kalan örtüye bağlı olarak olgun ürünlere kıyasla potansiyel olarak benzer bir geri saçılma değerleriyle sonuçlanır (Meroni vd. 2021).

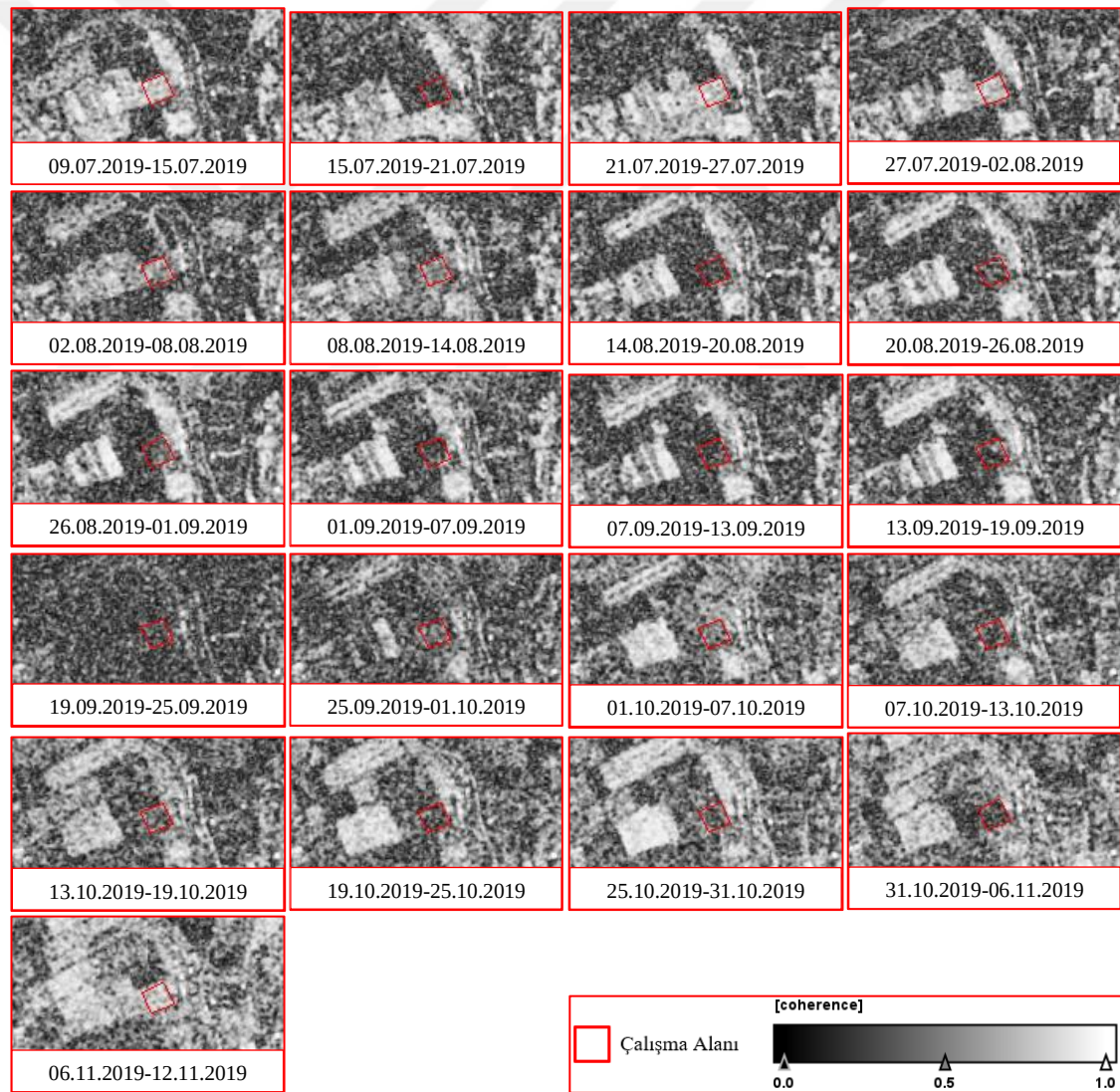
Bu çalışma kapsamında, Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin geri saçılma değerleri incelendiğinde; 31.10.2019 tarihinde gerçekleştirilen hasat işleminden sonra, 31.10.2019 tarihinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin σ_{VV}^0 değerinin neredeyse sabit kaldığı; σ_{VH}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$ değerlerinin ise biraz düşüş gösterdiği gözlenmiştir. 06.11.2019 tarihinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntüsünün σ_{VV}^0 , σ_{VH}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$ değerlerinin ise sert bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.13). Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin geri saçılma değerleri incelendiğinde; 31.10.2019 tarihinde gerçekleştirilen hasat işleminden sonra, 01.11.2019 tarihinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntüsünün σ_{VH}^0 değerinin neredeyse sabit kaldığı; $\sigma_{VH/VV}^0$ değerinin sert bir düşüş gösterdiği; σ_{VV}^0 değerinin ise arttığı gözlenmiştir. 07.11.2019 tarihinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntüsünün σ_{VV}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$ değerlerinin biraz düşüş gösterdiği; σ_{VH}^0 değerinin ise sert bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.14). Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin geri saçılma değerleri incelendiğinde ise; 31.10.2019 tarihinde gerçekleştirilen hasat işleminden sonra, 01.11.2019 ve 07.11.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin σ_{VV}^0 , σ_{VH}^0 ve $\sigma_{VH/VV}^0$ değerlerinin kademeli olarak azaldığı gözlenmiştir (Şekil 4.15).

McNairn vd. (2001) tarafından, mısır kalıntıları için çapraz polarize geri saçılmanın sıra yönü etkilerine duyarlı olmadığı, ancak benzer polarize geri saçılmanın sıra yönü etkilerine duyarlı olduğu bildirilmiştir. Daha önce de belirtildiği üzere, özellikle yükselen yörünge yönünde (Yükselen-58 ve Yükselen-160) elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinde radarın bakış yönü ekim (sıra) yönüne neredeyse diktir. Dolayısıyla Yükselen-160 yörüngesinden 01.11.2019 tarihinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntüsünün σ_{VV}^0 değerinde görülen artış, muhtemelen 01.11.2019 tarihinde görüntü elde edilmeden hemen önce gerçekleşen 0.4 mm'lik yağışın ardından meydana gelen çift sekme saçılmasından kaynaklanmaktadır.

Bu çalışmada, hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra 3 farklı yörüngeden (Yükselen-58, Yükselen-160 ve Alçalan-65) elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin geri saçılma değerlerinde net bir eğilim gözlenmemiştir. Genel olarak, hasat işlemi gerçekleştirildikten hemen sonra elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin geri saçılma değerlerinde düşüş gözlenmemiş olup, sonraki görüntülerin geri saçılma değerlerinde düşüş gözlenmiştir. Bu, muhtemelen hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra tarlada kalan yeşil kalıntıların zamanla kurummasından kaynaklanmaktadır (Veloso vd. 2017).

4.1.2. Sentinel-1 uydu görüntülerinden elde edilen interferometrik uyumluluk değerleri

Yükselen yörünge yönünde, görece 58 numaralı (Yükselen-58) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VV polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri Şekil 4.16'da, VH polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri ise Şekil 4.17'de; yükselen yörünge yönünde, görece 160 numaralı (Yükselen-160) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VV polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri Şekil 4.18'de, VH polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri ise Şekil 4.19'da; alçalan yörünge yönünde, görece 65 numaralı (Alçalan-65) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VV polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri Şekil 4.20'de, VH polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri ise Şekil 4.21'de gösterilmiştir.



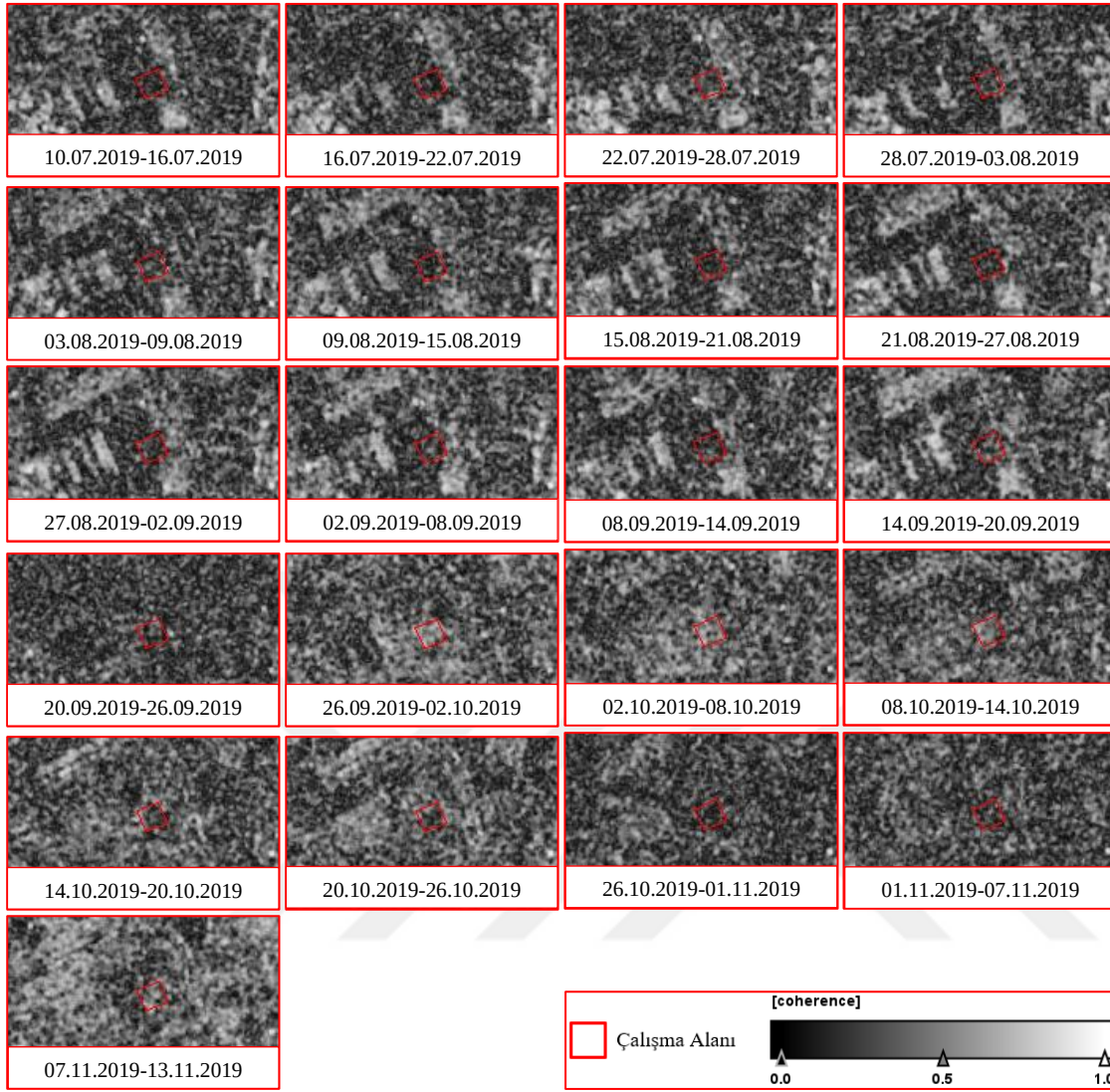
Şekil 4.16. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VV polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri



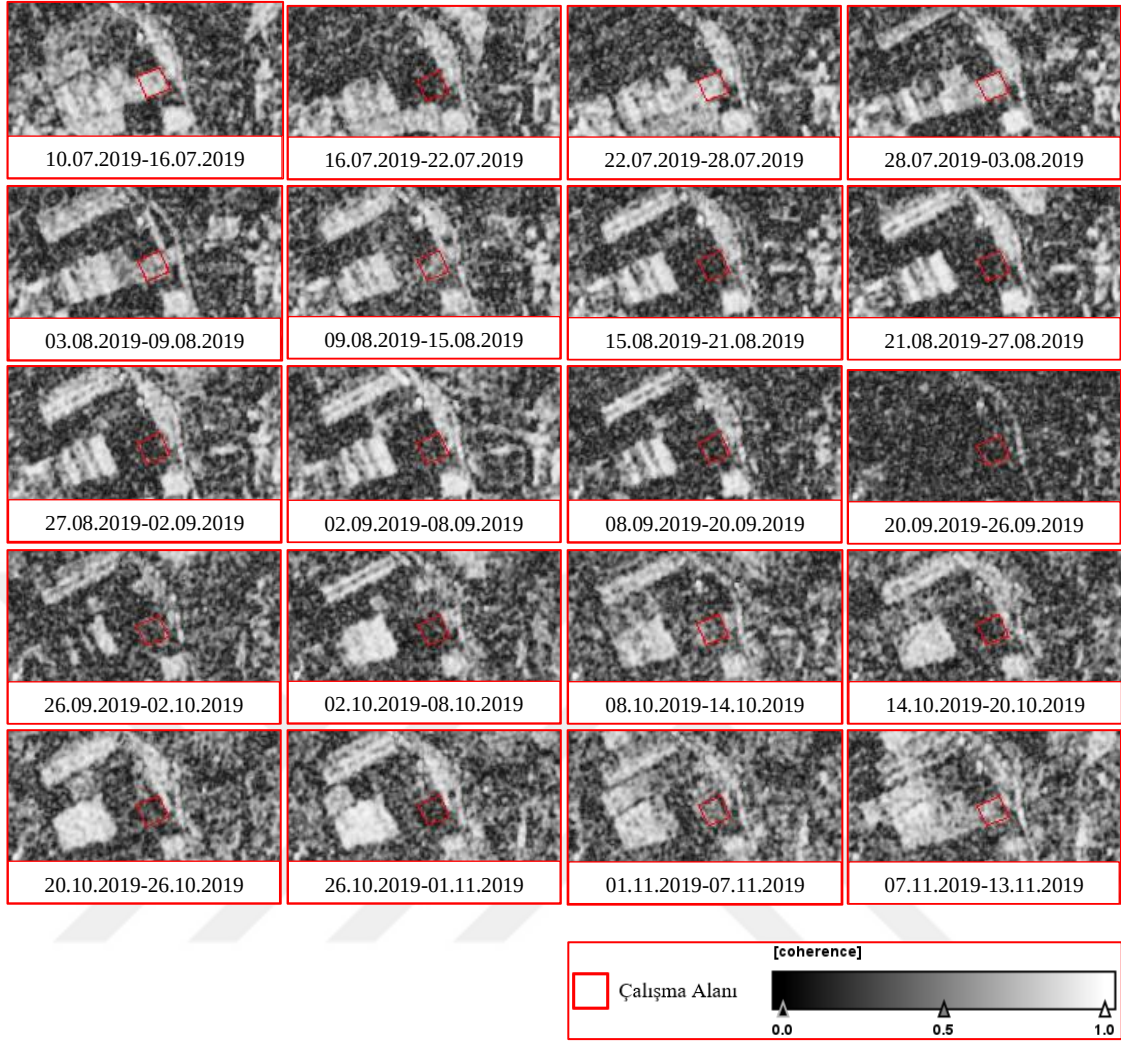
Şekil 4.17. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VH polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri



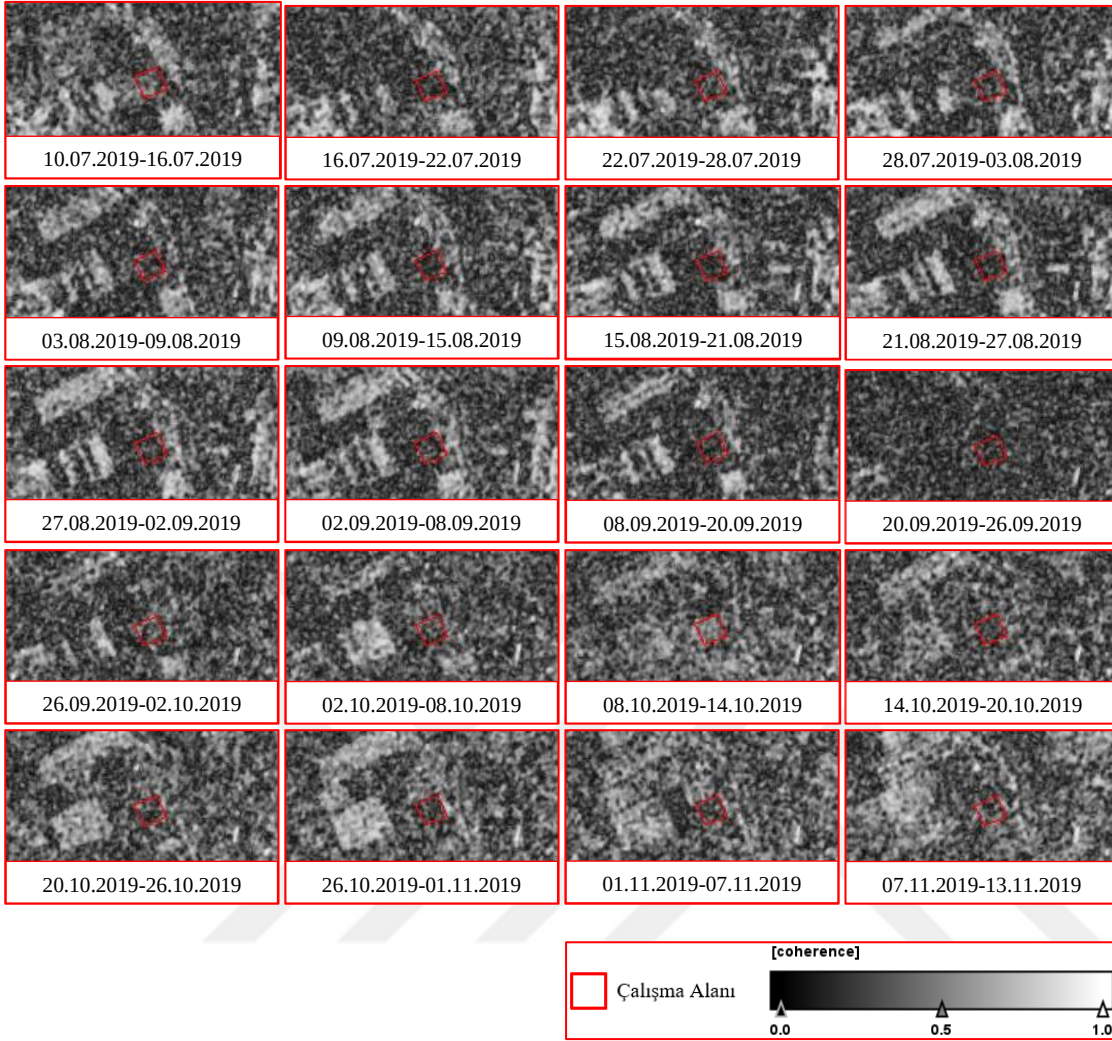
Şekil 4.18. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VV polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri



Şekil 4.19. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VH polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri

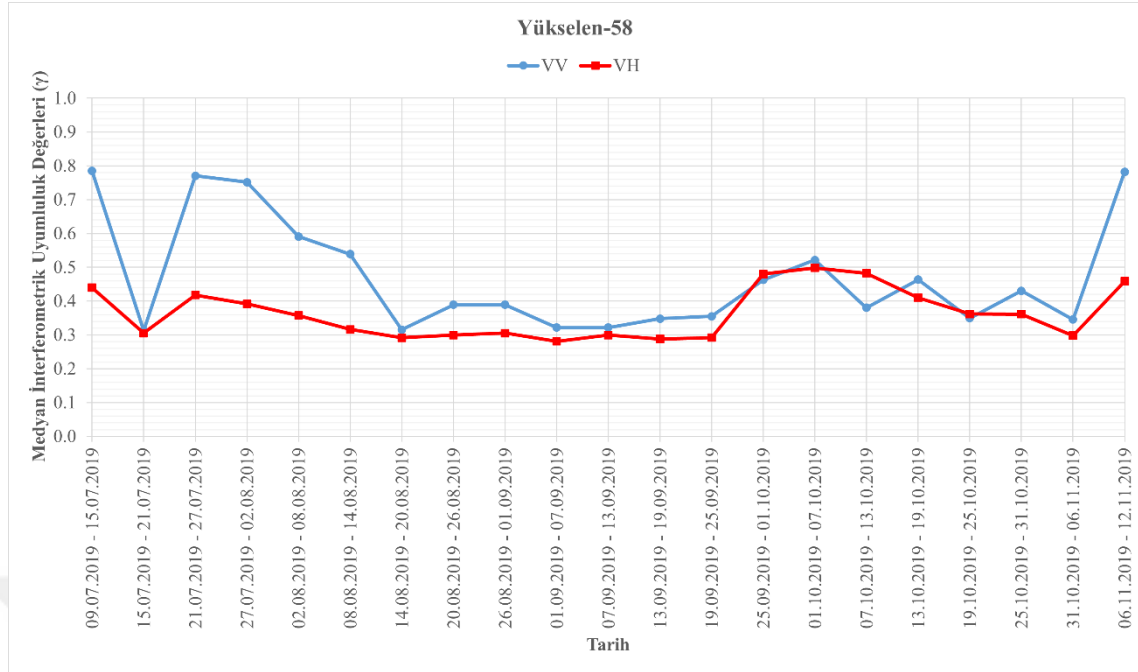


Şekil 4.20. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VV polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri

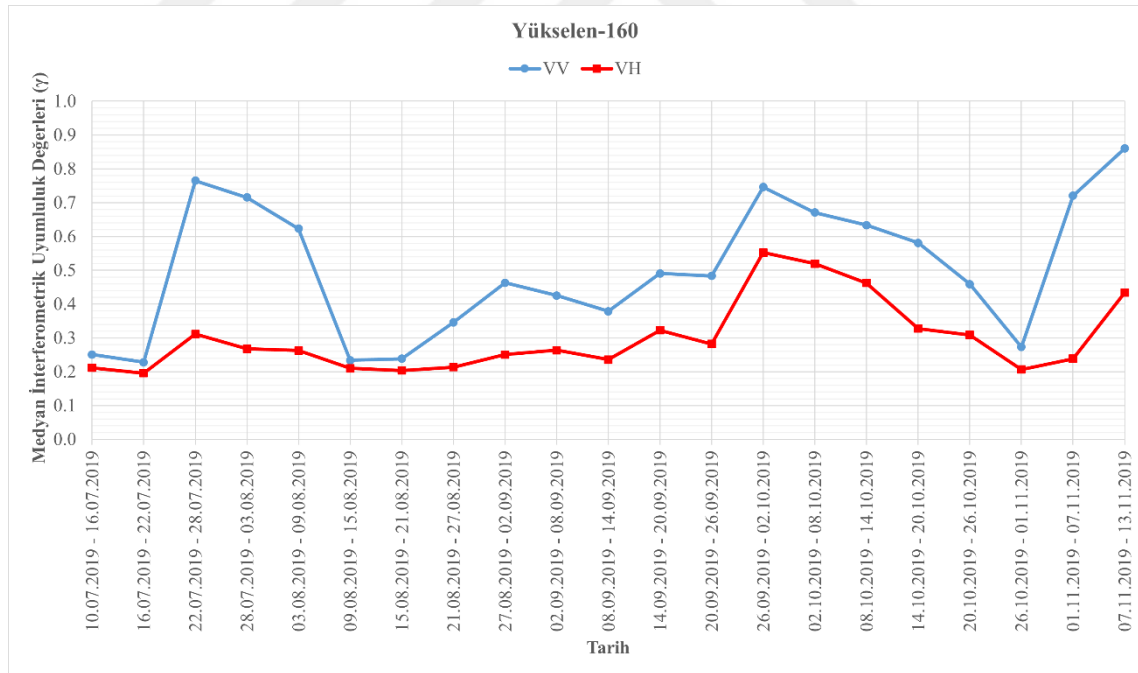


Şekil 4.21. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin VH polarizasyonu kullanılarak türetilen interferometrik uyumluluk görüntüleri

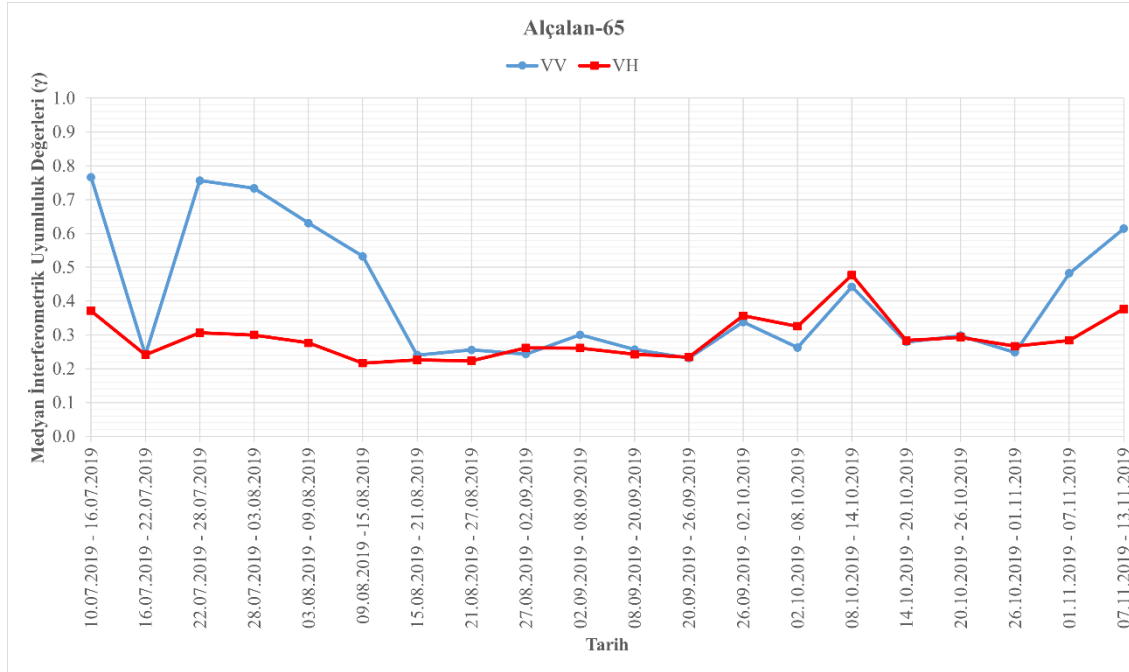
Yükselen yörünge yönünde, görece 58 numaralı (Yükselen-58) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin çalışma alanına ilişkin medyan interferometrik uyumluluk değerleri (γ_{VV} ve γ_{VH}) Şekil 4.22’de; yükselen yörünge yönünde, görece 160 numaralı (Yükselen-160) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin çalışma alanına ilişkin medyan interferometrik uyumluluk değerleri (γ_{VV} ve γ_{VH}) Şekil 4.23’te; alçalan yörünge yönünde, görece 65 numaralı (Alçalan-65) yörüngeden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin çalışma alanına ilişkin medyan interferometrik uyumluluk değerleri (γ_{VV} ve γ_{VH}) ise Şekil 4.24’te gösterilmiştir.



Şekil 4.22. Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin çalışma alanına ilişkin medyan interferometrik uyumluluk değerleri (γ_{VV} ve γ_{VH})



Şekil 4.23. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin çalışma alanına ilişkin medyan interferometrik uyumluluk değerleri (γ_{VV} ve γ_{VH})



Şekil 4.24. Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin çalışma alanına ilişkin medyan interferometrik uyumluluk değerleri (γ_{VV} ve γ_{VH})

Zemin yüzeyinin fiziksel özelliklerindeki değişiklikler nedeniyle, interferometrik uyumluluk değerleri zaman içinde dinamik olarak değişir (Bai vd. 2020). Bitki örtüsüz toprak olması durumunda, zamansal dekorelasyon olmadığı için interferometrik uyumluluk değerlerinin yüksek olması beklenir. Bitki büyüdüğü; uydu görüntü çiftlerinin elde edildiği zaman aralığında bitkiler dinamik olarak geliştiğinden, interferometrik uyumluluk değerlerinde bir azalma beklenir (Mestre-Quereda vd. 2020).

Bu çalışma kapsamında, Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin interferometrik uyumluluk değerleri incelendiğinde; ekim işlemi gerçekleştirilmeden önce elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftinin (09.07.2019 – 15.07.2019) γ_{VV} değerinin yüksek geldiği; ekim işleminin gerçekleştirildiği zaman aralığında elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftinin (15.07.2019 – 21.07.2019) γ_{VV} değerinin sert bir düşüş gösterdiği; ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftinin (21.07.2019 – 27.07.2019) γ_{VV} değerinin tekrar yükseldiği; bitki büyüdüğü elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin γ_{VV} değerlerinin azaldığı ve hasat işlemi gerçekleştirilinceye kadar γ_{VV} değerlerinin düşük seyrettiği gözlenmiştir. 31.07.2019 tarihinde gerçekleştirilen hasat işleminden sonra, 31.10.2019 – 06.11.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftinin γ_{VV} değerinin düşük geldiği; 06.11.2019 – 12.11.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftinin γ_{VV} değerinin ise yüksek geldiği gözlenmiştir. γ_{VH} değerlerinin ise ekim öncesinden hasat sonrasına kadar genellikle düşük seyrettiği gözlenmiştir. Ayrıca, Nasirzadehdizaji vd. (2021) tarafından da gözlemlendiği gibi, γ_{VV} ve γ_{VH} değerlerinde bazı artışlar gözlenmiştir (Şekil 4.22). Bu artışlar, muhtemelen yağış olaylarından kaynaklanmaktadır (Nasirzadehdizaji vd. 2021).

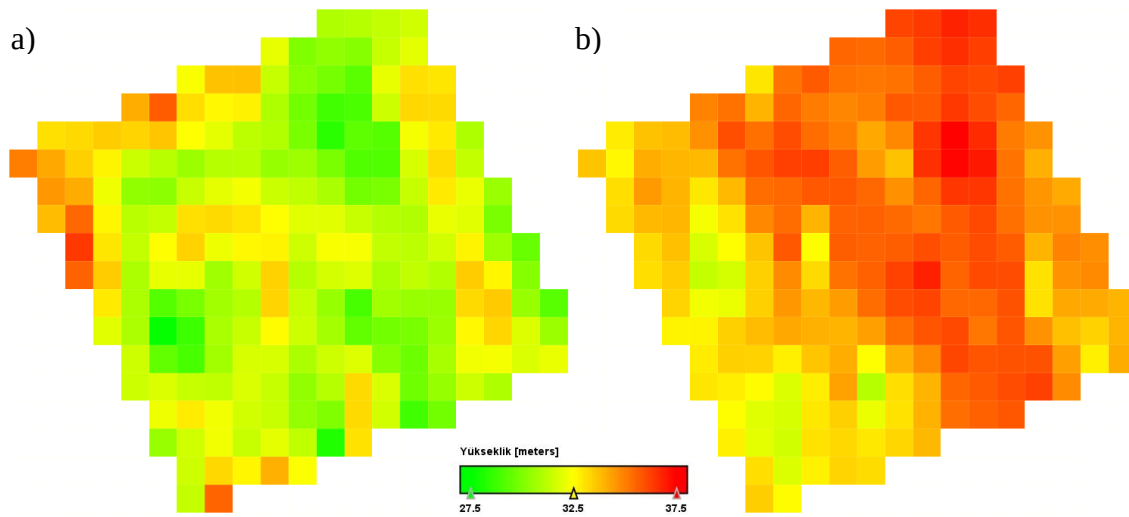
Alçalan-65 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin interferometrik uyumluluk değerleri incelendiğinde; ekim işlemi gerçekleştirilmeden önce elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftinin (10.07.2019 – 16.07.2019) γ_{VV} değerinin yüksek geldiği; ekim işleminin gerçekleştirildiği zaman aralığında elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftinin (16.07.2019 – 22.07.2019) γ_{VV} değerinin sert bir düşüş gösterdiği; ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftinin (22.07.2019 – 28.07.2019) γ_{VV} değerinin tekrar yükseldiği; bitki büyüdükçe elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin γ_{VV} değerlerinin azaldığı ve hasat işlemi gerçekleştirilinceye kadar γ_{VV} değerlerinin düşük seyrettiği gözlenmiştir. 31.07.2019 tarihinde gerçekleştirilen hasat işleminden sonra, 01.11.2019 – 07.11.2019 ve 07.11.2019 – 13.11.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin γ_{VV} değerlerinin kademeli olarak arttığı gözlenmiştir. γ_{VH} değerlerinin ise ekim öncesinden hasat sonrasına kadar genellikle düşük seyrettiği gözlenmiştir. Ayrıca, Nasirzadehdizaji vd. (2021) tarafından da gözlemlendiği gibi, γ_{VV} ve γ_{VH} değerlerinde bazı artışlar gözlenmiştir (Şekil 4.24). Bu artışlar, muhtemelen yağış olaylarından kaynaklanmaktadır (Nasirzadehdizaji vd. 2021).

Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin interferometrik uyumluluk değerlerinin ise, Yükselen-58 ve Alçalan-65 yörüngelerinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin interferometrik uyumluluk değerlerinden oldukça farklı geldiği gözlenmiştir. Özellikle ekim işlemi gerçekleştirilmeden önce elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftinin (10.07.2019 – 16.07.2019) γ_{VV} değerinin oldukça düşük geldiği; ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftinin (22.07.2019 – 28.07.2019) γ_{VV} değerinin yüksek geldiği; bitki büyüdükçe elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin γ_{VV} değerlerinin azaldığı; yağış sonrası ise γ_{VV} ve γ_{VH} değerlerinin, diğer yörüngelerden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin γ_{VV} ve γ_{VH} değerlerine kıyasla daha fazla artış gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.23). 25.09.2019 tarihinde gerçekleşen 7.2 mm'lik ve 26.09.2019 tarihinde gerçekleşen 69.4 mm'lik yağışların ardından elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin γ_{VV} ve γ_{VH} değerleri göz önüne alındığında; yağış sonrası elde edilen uydu görüntü çiftlerinin daha yüksek faz kararlılığına sahip olduğu görülmektedir. Daha yüksek faz kararlılığı, geri saçılan sinyale topraktan saçılmanın hâkim olmasıyla mümkündür. Öyle ki, bitki örtüsüyle kaplı alanlarda daha yüksek interferometrik uyumluluk değerlerinin elde edilmesi için daha büyük dalga boylarının kullanılması önerilmektedir (Walter 2017). Öte yandan, Ulaby vd. (1975) bir bitki fizyoloğuna danışarak; şiddetli yağışın ardından bitki yapraklarının aşağı doğru bükülebileceği (sarkabileceği) bilgisini almışlar ve böylece bitki yapısının değişerek saçılma mekanizmalarının değişebileceği bilgisine ulaşmışlardır. Bu nedenle, toprak nemi azalmasına rağmen yağış sonrası elde edilen görüntülerde geri saçılma değerlerinin arttığını bildirmişlerdir. Ayrıca daha önce de belirtildiği üzere, diğer yörüngelerden elde edilen uydu görüntülerine kıyasla, Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinde çalışma alanının bulunduğu alt şerit daha küçük bir geliş açısıyla elde edilmiştir. Dolayısıyla yağış sonrası elde edilen yüksek interferometrik uyumluluk değerlerinin nedeni, muhtemelen yağış sonrası değişen bitki geometrisi nedeniyle radar sinyallerinin kanopiye nüfuz etmesi ve geri saçılan sinyale topraktan saçılmanın hâkim olmasıdır.

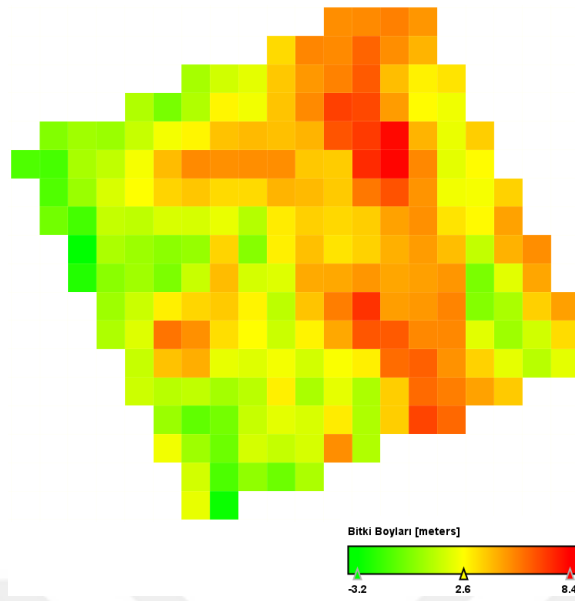
Bu çalışmada, 3 farklı yörüngeden (Yükselen-58, Yükselen-160 ve Alçalan-65) elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin interferometrik uyumluluk değerlerinde net bir eğilim gözlenmemiştir. Yükselen-58 ve Alçalan-65 yörüngelerinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin interferometrik uyumluluk değerleri göz önüne alındığında; ekim işlemi gerçekleştirilmeden önce ve ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra elde edilen uydu görüntü çiftlerinin γ_{VV} değerlerinin yüksek geldiği; ekim işleminin gerçekleştirildiği zaman aralığında elde edilen uydu görüntü çiftlerinin γ_{VV} değerlerinin azaldığı ve hasat işlemi gerçekleştirilinceye kadar γ_{VV} değerlerinin düşük seyrettiği; hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra elde edilen uydu görüntü çiftlerinin γ_{VV} değerlerinin ise arttığı gözlenmiştir. γ_{VH} değerlerinin ekim öncesinden hasat sonrasına kadar genellikle düşük seyrettiği gözlenmiştir. Nasirzadehdizaji vd. (2021) tarafından da gözlemlendiği gibi, VV polarizasyonu kullanılarak elde edilen interferometrik uyumluluk değerlerinin, VH polarizasyonu kullanılarak elde edilen interferometrik uyumluluk değerlerinden daha yüksek olduğu gözlenmiştir. Ayrıca, Santoro vd. (2002) tarafından bildirilenin aksine, yağış nedeniyle interferometrik uyumluluk değerlerinin arttığı gözlenmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar; Wegmüller ve Werner (1997), Blaes ve Defourny (2003), Bai vd. (2020), Amherdt vd. (2021) ve Nasirzadehdizaji vd. (2021) tarafından elde edilen sonuçlarla tutarlıdır.

4.1.3. Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılarak hesaplanan bitki boyları

02.08.2019 ve 08.08.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çifti kullanılarak üretilen DTM Şekil 4.25a'da; 20.10.2019 ve 26.10.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çifti kullanılarak üretilen DSM Şekil 4.25b'de; DSM'den DTM'nin çıkarılmasıyla elde edilen bitki boyları ise Şekil 4.26'da gösterilmiştir. Çalışma alanına ilişkin Sentinel-1 uydu görüntülerinden hesaplanan bitki boyları ise Çizelge 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.25. Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılarak üretilen DEM'ler; **a)** 02.08.2019 ve 08.08.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çifti kullanılarak üretilen DTM; **b)** 20.10.2019 ve 26.10.2019 tarihlerinde elde edilen Sentinel-1 uydu görüntü çifti kullanılarak üretilen DSM



Şekil 4.26. DSM’den DTM’nin çıkarılmasıyla elde edilen bitki boyları

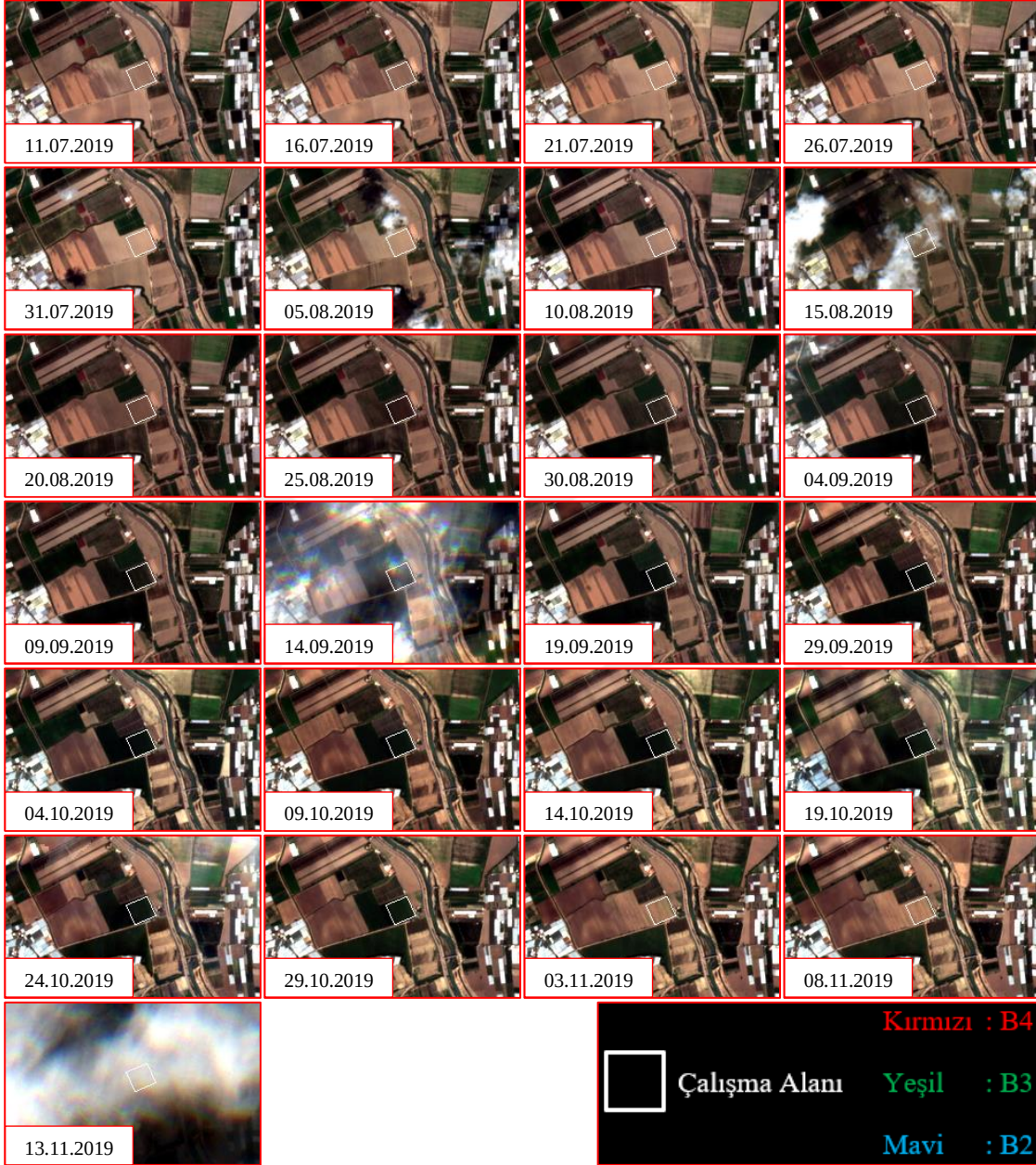
Çizelge 4.1. Çalışma alanına ilişkin Sentinel-1 uydu görüntülerinden hesaplanan bitki boyları

Minimum Bitki Boyu (m)	Maksimum Bitki Boyu (m)	Medyan Bitki Boyu (m)	Ortalama Bitki Boyu (m)	Standart Sapma (m)
-3.20	+8.35	2.99	2.95	2.22

Bu çalışma kapsamında, bitki boylarının hesaplanması için kullanılan Sentinel-1 uydu görüntülerinin elde edildiği tarihlere ilişkin arazide yapılan bitki boyu ölçümleri dikkate alındığında; 02.08.2019 – 08.08.2019 tarihleri arasındaki ortalama bitki boyunun 0.33 m olduğu, 20.10.2019 – 26.10.2019 tarihleri arasındaki ortalama bitki boyunun ise 2.75 m olduğu belirlenmiştir. Dolayısıyla bitki boylarının hesaplanması için kullanılan Sentinel-1 uydu görüntülerinin elde edildiği tarih aralığında, bitki boyları ortalama 2.42 m artmıştır. Sentinel-1 uydu görüntülerinden hesaplanan ortalama bitki boyu ise 2.95 m’dir (Çizelge 4.1). Bu sonuç, Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılarak ortalama bitki boyunun yaklaşık 50 cm’lik bir hata ile hesaplandığını göstermektedir. Ancak Şekil 4.25 ve Şekil 4.26’ya bakıldığında; yükseklik değeri aralığının çok yüksek olduğu ve yükseklik değerlerinin pikselden piksele çok fazla değiştiği görülmektedir. Çizelge 4.1 incelendiğinde ise; Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılarak hesaplanan bitki boylarının -3.20 m ile +8.35 m arasında değiştiği ve standart sapmanın oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Bu, muhtemelen bazı piksellerin interferometrik uyumluluk değerlerinin düşük olması nedeniyle, faz çözümleme işleminin hatalı bir şekilde gerçekleştirilmesinden kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla bu sonuçlar, aslında Sentinel-1 uydu görüntülerinden hesaplanan ortalama bitki boyu değerinin, gerçek bitki boyu değerine tesadüfi olarak yakın geldiğini göstermektedir.

4.2. Multispektral (Sentinel-2) Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Değerler

Çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu görüntülerinin doğal renk kombinasyonları Şekil 4.27’de, yalancı renk kombinasyonları ise Şekil 4.28’de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu görüntülerinin doğal renk kombinasyonları

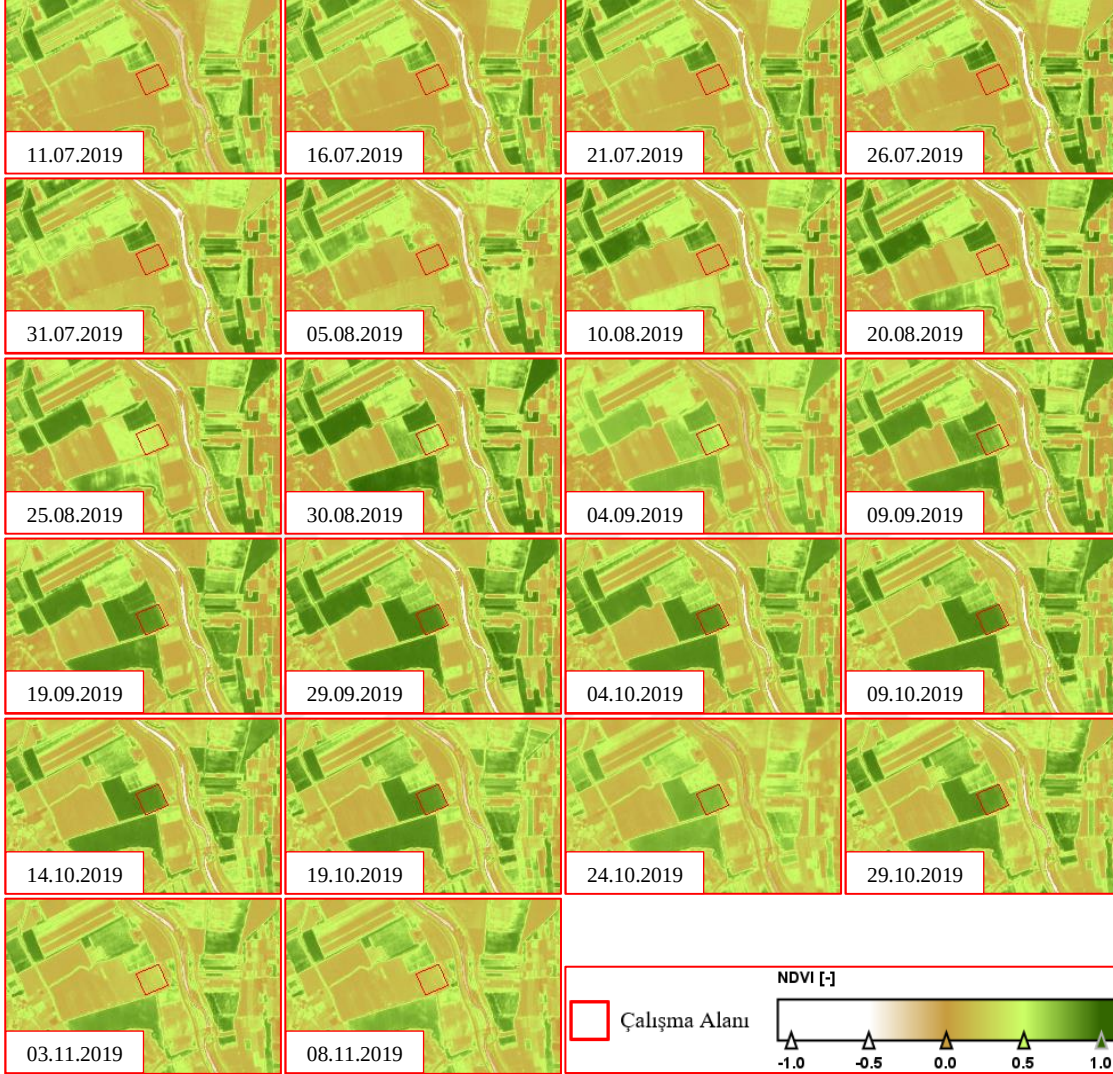


Şekil 4.28. Çalışmada kullanılan Sentinel-2 uydu görüntülerinin yalancı renk kombinasyonları

Şekil 4.27 ve Şekil 4.28’de de görüldüğü üzere; bulut örtüsünün ve sisin mevcudiyeti, optik sensörlerin dünya yüzeyi hakkında bilgi elde etmesini engellemektedir (Brosinsky vd. 2019). Bu nedenle, çalışma alanının üzerinde bulut örtüsünün veya sisin mevcut olduğu ve Çizelge 3.13’te kalın punto ile yazılmış olan Sentinel-2 uydu görüntülerinden elde edilen değerler, bu çalışma kapsamında değerlendirmeye alınmamıştır.

4.2.1. Sentinel-2 uydu görüntülerinden elde edilen NDVI değerleri

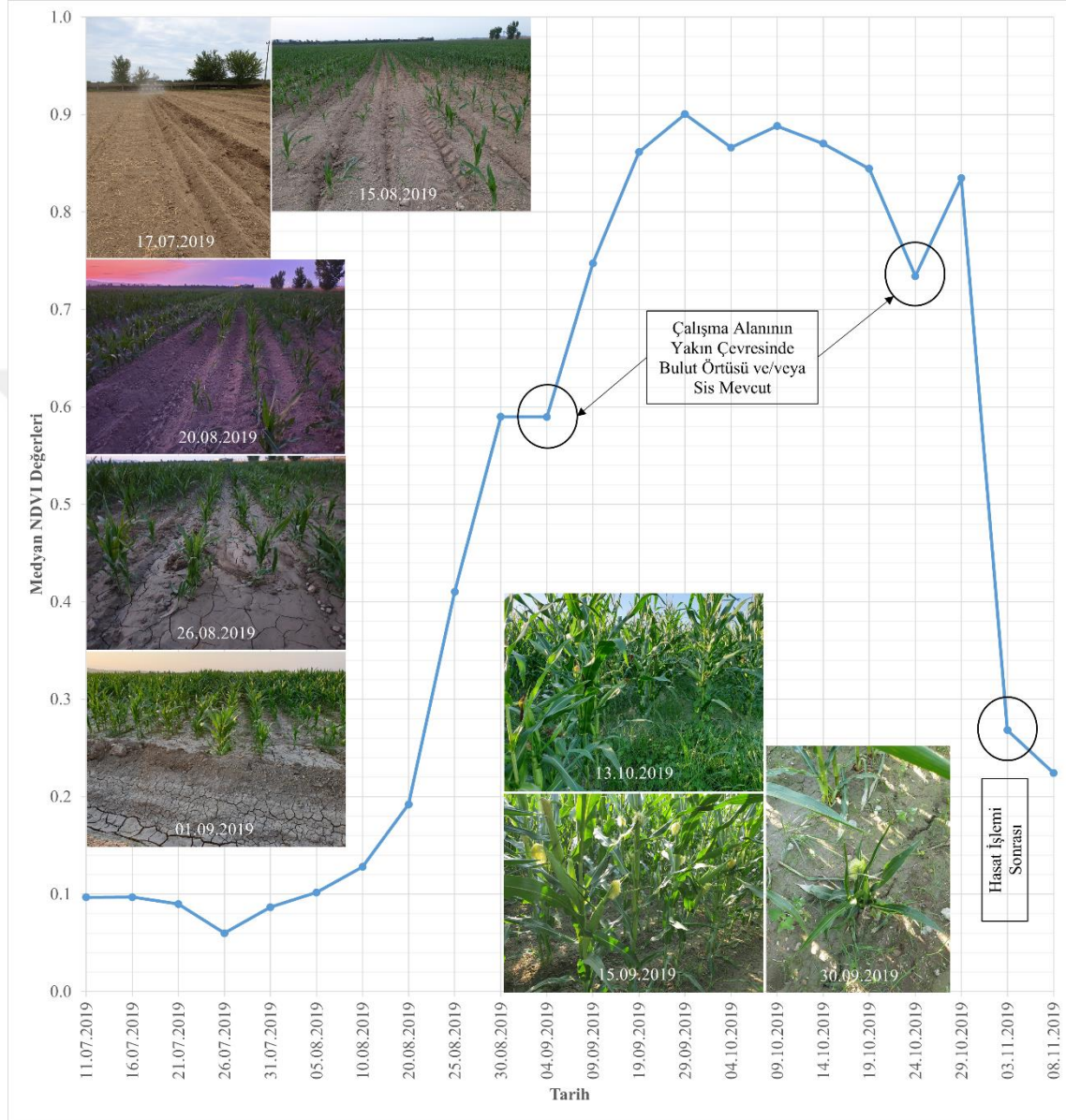
Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen NDVI görüntüleri Şekil 4.29’da, çalışma alanına ilişkin medyan NDVI değerleri ise Şekil 4.30’da gösterilmiştir.



Şekil 4.29. Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen NDVI görüntüleri

Bitkilerin yapraklarında bulunan klorofil, elektromanyetik spektrumun kırmızı bölgesindeki enerjiyi güçlü bir şekilde emerken; yaprakların iç yapısı, yakın kızılötesi bölgesindeki enerjiyi güçlü bir şekilde yansıtır (Verma vd. 2019; Bai vd. 2020). NDVI değerleri, bitkilerin klorofili tarafından kırmızı ışığın emilmesine ve su dolu yaprak hücreleri tarafından kızılötesi radyasyonun yansıtılmasına göre değişir (Bhandari vd. 2012). Genel olarak, sağlıklı ürünlerin yakın kızılötesi bandındaki yansımaları, görünür banttaki yansımalarından yüksektir (Ajadi vd. 2021). Bu nedenle, bitkiler geliştikçe NDVI değerleri artmaktadır (Moran vd. 2012; Tunca 2015; Zhang vd. 2015; Veloso vd. 2017; Ameline vd. 2018; Eminoğlu 2019; Holtgrave vd. 2020; Venancio vd. 2020; Ajadi vd. 2021). Bu çalışma kapsamında, NDVI

değerlerinin 05.08.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 25 cm'yi biraz aşındıracaya kadar) düşük seyrettiği; 10.08.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 50 cm'yi aştıktan sonra) 29.09.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 260 cm'ye ulaşındıracaya kadar) ise hızla arttığı gözlemlenmiştir (Şekil 4.30).



Şekil 4.30. Çalışma alanına ilişkin medyan NDVI değerleri

NDVI değerleri, yüksek bitki örtüsüne sahip alanlarda doygunluğa eğilimlidir (Chen vd. 2021). Bu nedenle, bitkiler belirli büyüme aşamalarına geldiklerinde NDVI değerleri doygunluğa ulaşır (Chen vd. 2006; Moran vd. 2012; Tunca 2015; Ameline vd. 2018; Holtgrave vd. 2020; Venancio vd. 2020; Ajadi vd. 2021). Bu çalışma kapsamında, NDVI değerlerinin 29.09.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 260 cm'yi aştıktan sonra) doygunluğa ulaştığı ve 14.10.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 275 cm'yi biraz aşarak en yüksek seviyesine ulaşındıracaya kadar) yaklaşık olarak

aynı seviyelerde seyrettiği; 19.10.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 275 cm) hasat işlemi gerçekleştirilinceye kadar (29.10.2019 tarihine kadar, ortalama bitki boyu 275 cm) ise biraz düşüş gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.30).

Bitkiler hasat edildikten sonra NDVI değerlerinde düşüş gözlenmektedir (Tunca 2015; Veloso vd. 2017). Bu çalışma kapsamında da NDVI değerlerinin hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra (31.10.2019 tarihinden sonra) 03.11.2019 tarihinde sert bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.30).

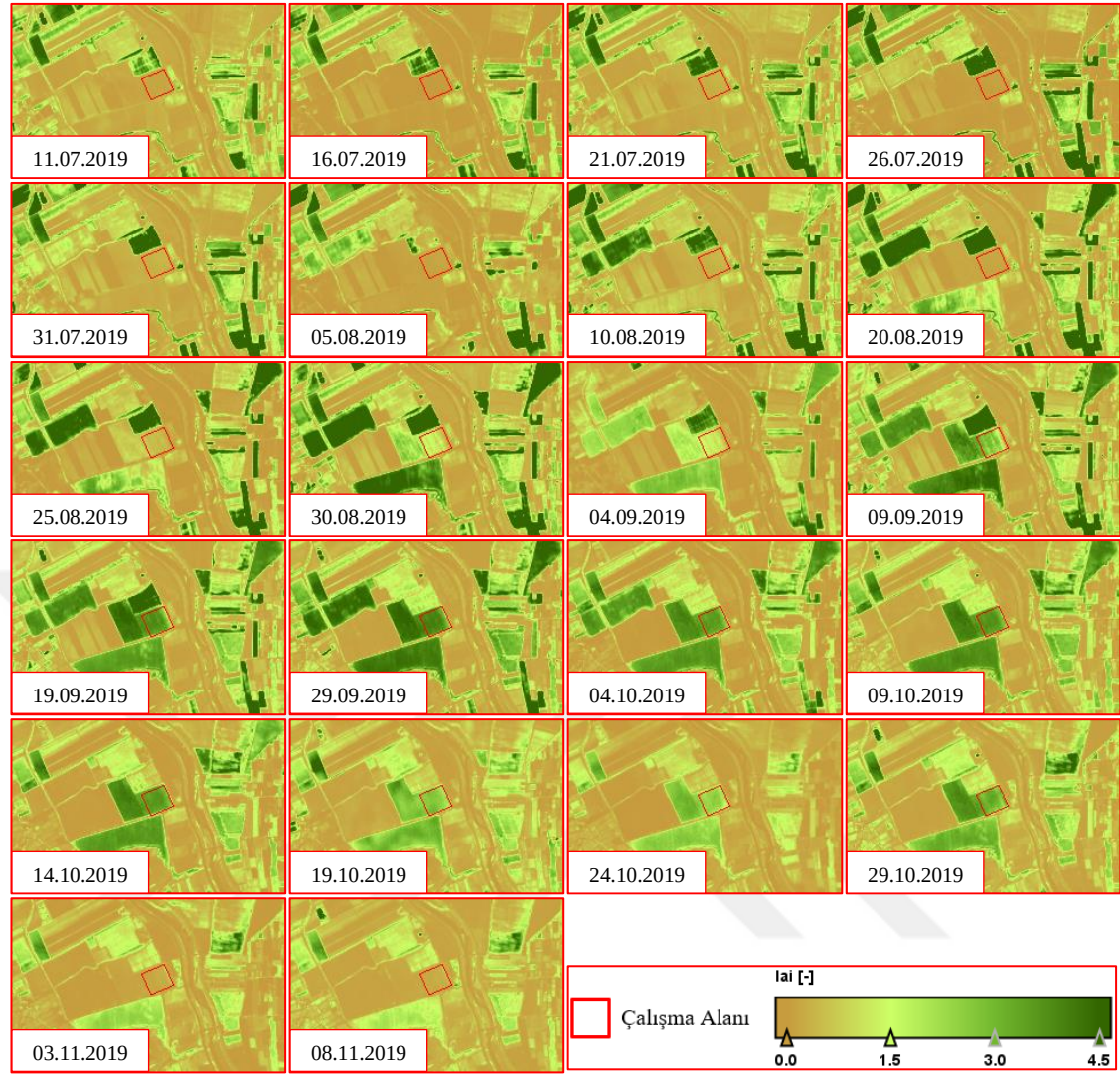
Bu çalışmada, Ameline vd. tarafından da bildirildiği gibi, NDVI'nın topraktaki nem değişikliklerinden etkilenmediği gözlenmiştir.

Ayrıca, yükseliş eğiliminde olan NDVI değerlerinin 04.09.2019 tarihinde sabit kaldığı; biraz düşüş eğiliminde olan NDVI değerlerinin ise 24.10.2019 tarihinde sert bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.30). Bhandari vd. (2012), NDVI'nın; yakın kızılötesi ile kırmızı bant arasındaki farkı alarak, bulutların veya tepelerin gölgeleri gibi düzensiz aydınlatmanın etkilerini normalleştirdiğini bildirmişlerdir. Ancak Şekil 4.27 ve Şekil 4.28 incelendiğinde; 04.09.2019 tarihli görüntünün sol üst kısmında, 24.10.2019 tarihli görüntünün ise sağ üst kısmında bulut örtüsünün ve/veya sisin mevcut olduğu görülmektedir. Dolayısıyla NDVI değerlerinin, doğrudan çalışma alanının üzerinde olmasa da çalışma alanının yakın çevresinde mevcut olan bulut örtüsünden ve/veya sisten etkilendiği tespit edilmiştir.

4.2.2. Sentinel-2 uydu görüntülerinden elde edilen LAI değerleri

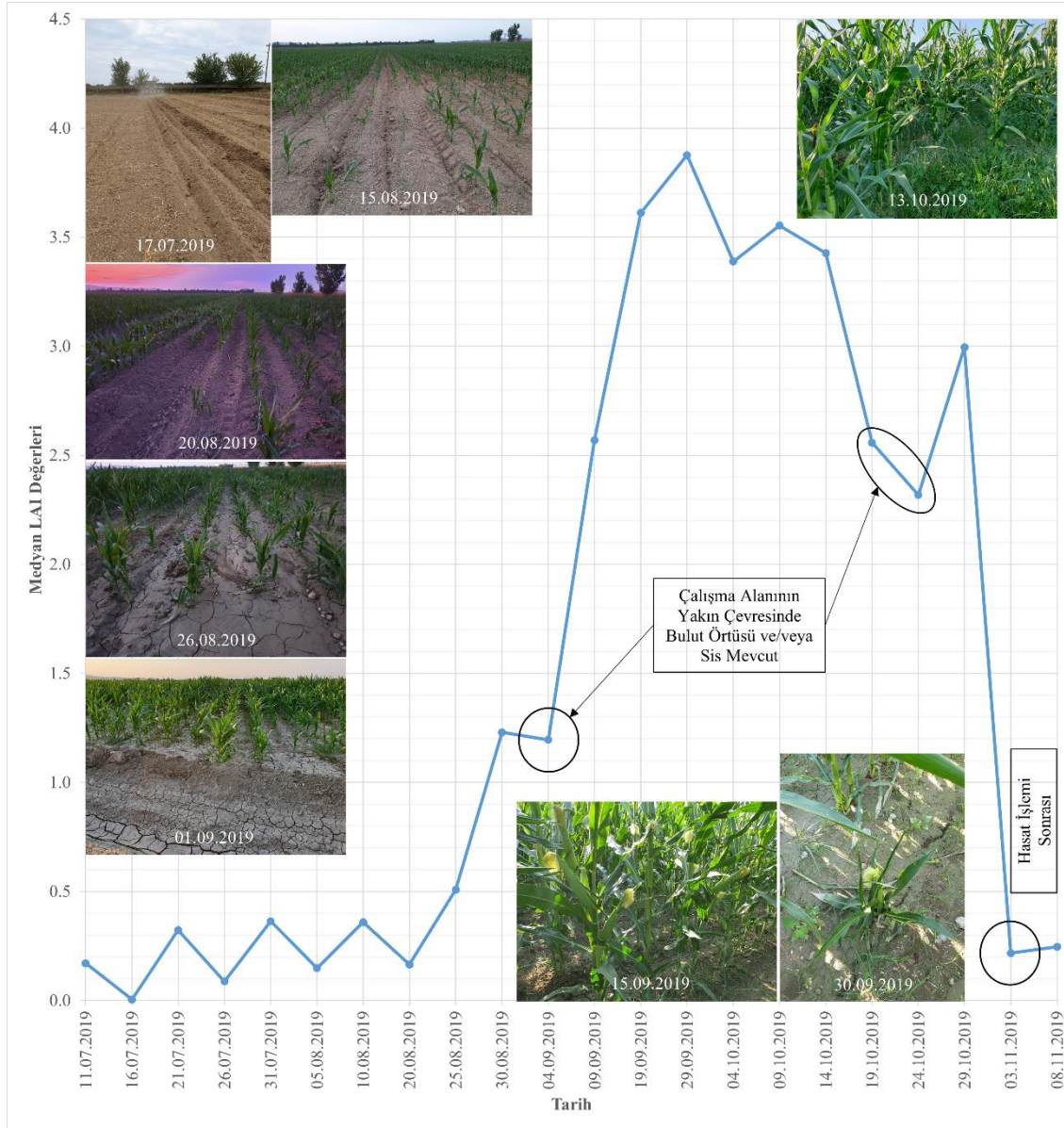
Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen LAI görüntüleri Şekil 4.31'de, çalışma alanına ilişkin medyan LAI değerleri ise Şekil 4.32'de gösterilmiştir.

LAI değerleri, bitkiler çimlenmeye başladıktan sonra düşük seyreder (Liu vd. 2013) ve bitkiler geliştikçe artar (Liu vd. 2013; Zhang vd. 2015; Bahrami vd. 2021). Bu çalışma kapsamında, LAI değerlerinin 20.08.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 75 cm'ye ulaşmaya kadar) düşük seyrettiği; 25.08.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 100 cm'yi aştıktan sonra) 29.09.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 260 cm'ye ulaşmaya kadar) hızla arttığı gözlenmiştir. 29.09.2019 tarihinde en yüksek seviyeye ulaşan LAI değerlerinin, 04.10.2019 tarihinde (ortalama bitki boyu 265 cm'yi biraz aştığında) biraz düşüş gösterdiği; 04.10.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 265 cm'yi aştıktan sonra) 14.10.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 275 cm'yi biraz aşarak en yüksek seviyesine ulaşmaya kadar) yaklaşık olarak aynı seviyelerde seyrettiği gözlenmiştir. LAI değerlerinin, hasat işlemi gerçekleştirilmeden hemen önce (29.10.2019 tarihinde, ortalama bitki boyu 275 cm) düşüş gösterdiği; hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra (31.10.2019 tarihinden sonra) 03.11.2019 tarihinde ise sert bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.32).



Şekil 4.31. Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen LAI görüntüleri

Ayrıca, yükseliş eğiliminde olan LAI değerlerinin 04.09.2019 tarihinde biraz düşüş gösterdiği; yaklaşık olarak aynı seviyelerde seyreden LAI değerlerinin ise 19.10.2019 ve 24.10.2019 tarihlerinde sert bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.32). Şekil 4.27 ve Şekil 4.28 incelendiğinde; 04.09.2019 tarihli görüntünün sol üst kısmında, 24.10.2019 tarihli görüntünün ise sağ üst kısmında bulut örtüsünün ve/veya sisin mevcut olduğu görülmektedir. 19.10.2019 tarihli görüntünün de sağ üst kısmında bulut örtüsünün ve/veya sisin mevcut olduğu gözlenmiştir; ancak bu bulut örtüsü ve/veya sis, diğer görüntülerdekine kıyasla çalışma alanından görece biraz daha uzakta yer almaktadır. Dolayısıyla LAI değerlerinin, doğrudan çalışma alanının üzerinde olmasa da çalışma alanının yakın çevresinde mevcut olan bulut örtüsünden ve/veya sisten etkilendiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, LAI değerlerinin NDVI değerlerine göre atmosferik koşullardan daha fazla etkilendiğini göstermektedir.



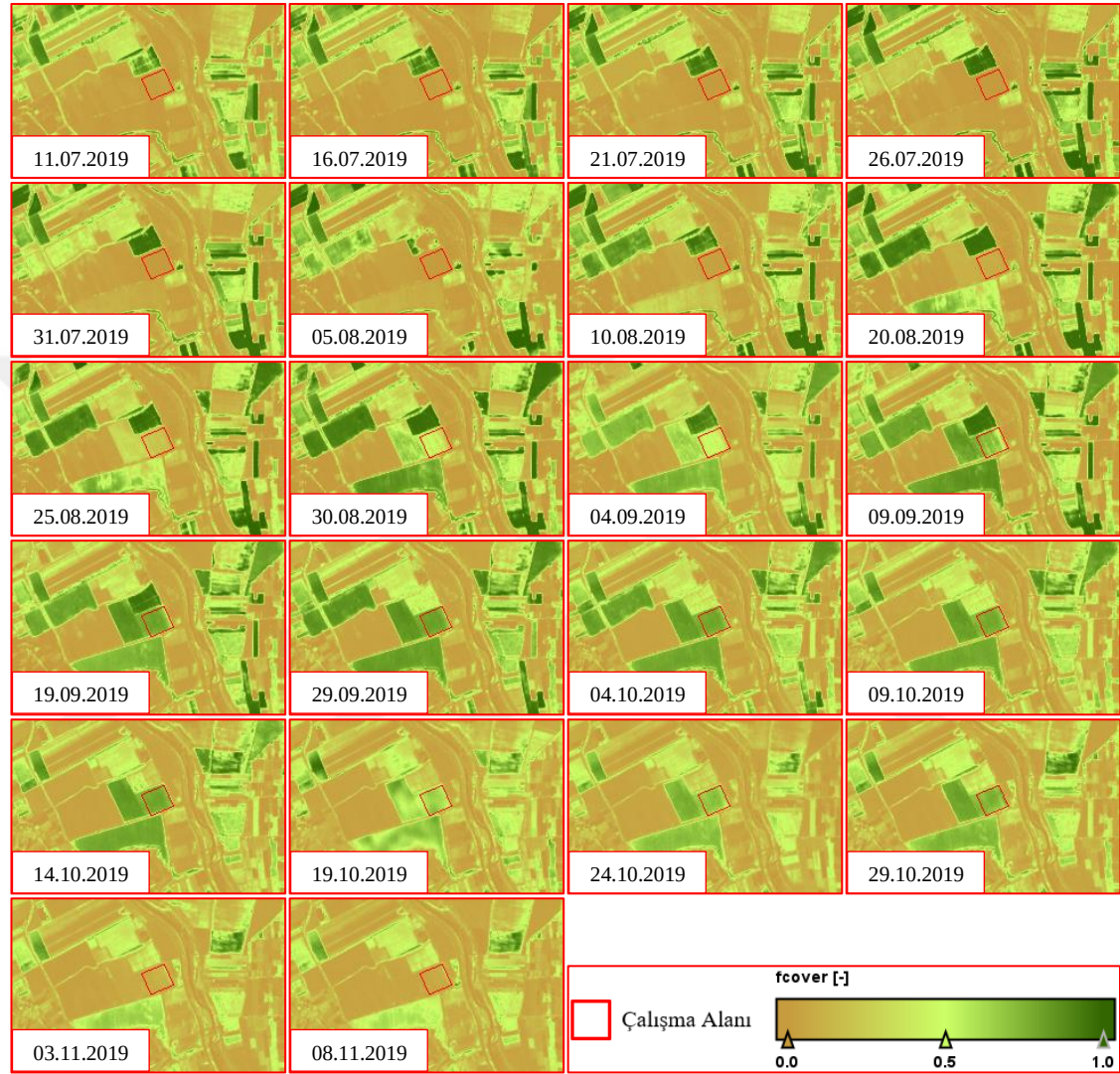
Şekil 4.32. Çalışma alanına ilişkin medyan LAI değerleri

4.2.3. Sentinel-2 uydu görüntülerinden elde edilen fCover değerleri

Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen fCover görüntüleri Şekil 4.33'te, çalışma alanına ilişkin medyan fCover değerleri ise Şekil 4.34'te gösterilmiştir.

fCover değerlerinin 05.08.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 25 cm'yi biraz aşmıyacağı kadar) düşük seyrettiği; 10.08.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 50 cm'yi aştıktan sonra) 29.09.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 260 cm'ye ulaşmıyacağı kadar) hızla arttığı gözlenmiştir. 29.09.2019 tarihinde en yüksek seviyeye ulaşan fCover değerlerinin, 04.10.2019 tarihinde (ortalama bitki boyu 265 cm'yi biraz aştığında) biraz düşüş gösterdiği; 04.10.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 265 cm'yi aştıktan sonra) 14.10.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 275 cm'yi biraz

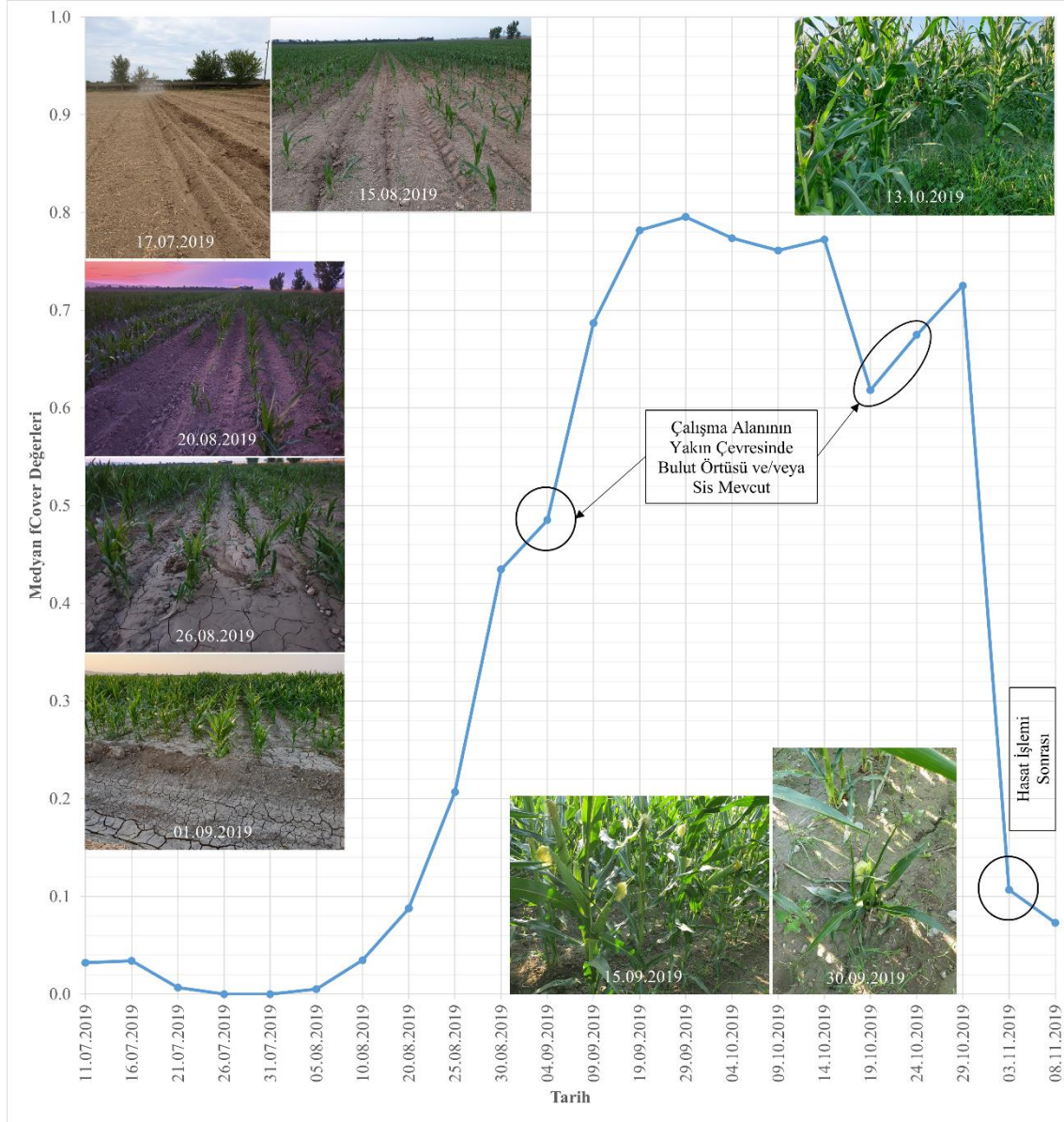
aşarak en yüksek seviyesine ulaşmaya kadar) yaklaşık olarak aynı seviyelerde seyrettiği gözlenmiştir. fCover değerlerinin, hasat işlemi gerçekleştirilmeden hemen önce (29.10.2019 tarihinde, ortalama bitki boyu 275 cm) düşüş gösterdiği; hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra (31.10.2019 tarihinden sonra) 03.11.2019 tarihinde ise sert bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.34).



Şekil 4.33. Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen fCover değerleri

Ayrıca, sert bir yükseliş eğiliminde olan fCover değerlerinin 04.09.2019 tarihinde biraz artış gösterdiği; yaklaşık olarak aynı seviyelerde seyreden fCover değerlerinin ise 19.10.2019 ve 24.10.2019 tarihlerinde sert bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.34). Şekil 4.27 ve Şekil 4.28 incelendiğinde; 04.09.2019 tarihli görüntünün sol üst kısmında, 24.10.2019 tarihli görüntünün ise sağ üst kısmında bulut örtüsünün ve/veya sisin mevcut olduğu görülmektedir. 19.10.2019 tarihli görüntünün de sağ üst kısmında bulut örtüsünün ve/veya sisin mevcut olduğu gözlenmiştir; ancak bu bulut örtüsü ve/veya sis, diğer görüntülerdekine nazaran çalışma alanından görece biraz daha uzakta yer almaktadır. Dolayısıyla fCover değerlerinin, doğrudan çalışma alanının üzerinde olmasa da çalışma

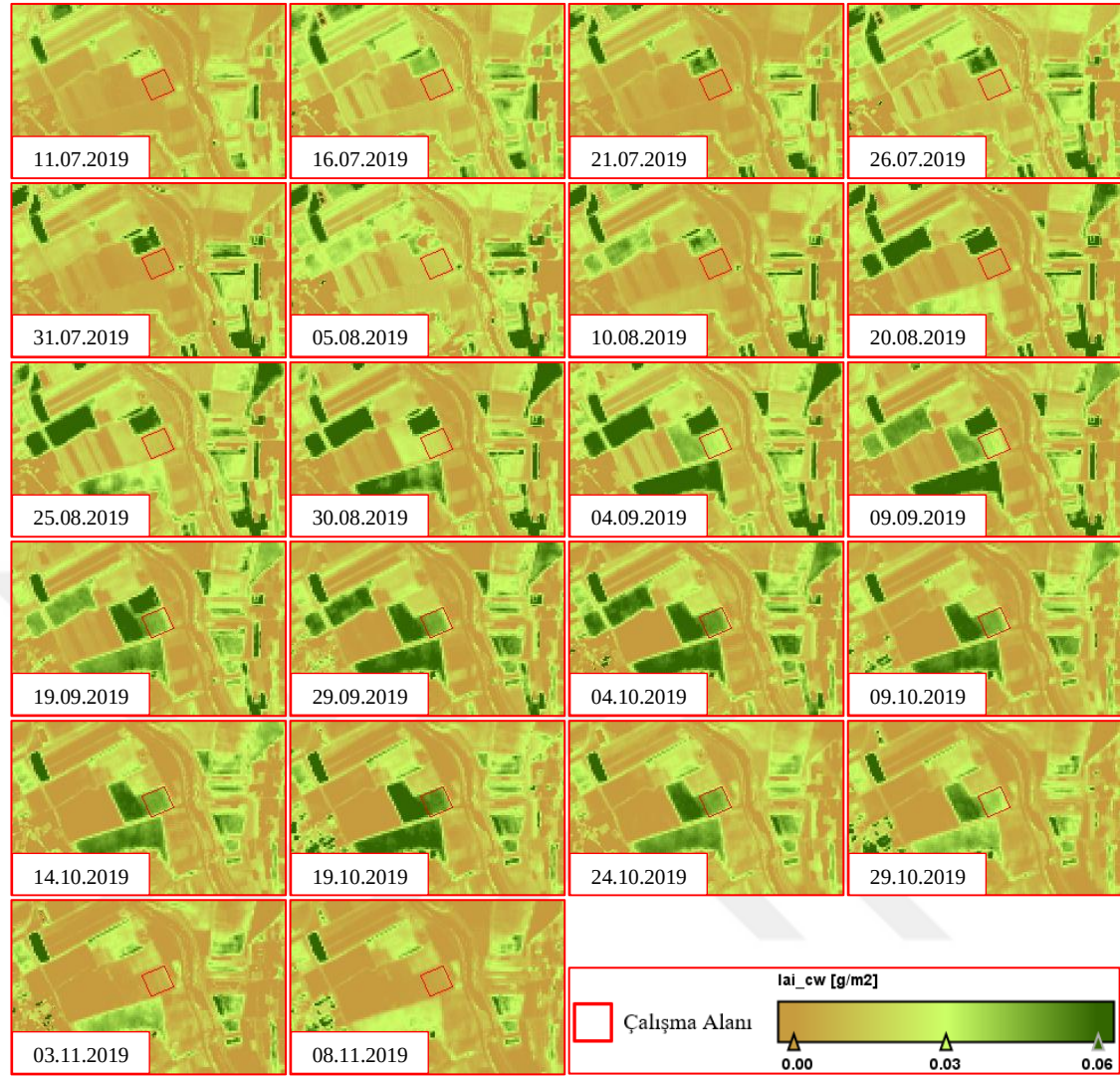
alanının yakın çevresinde mevcut olan bulut örtüsünden ve/veya sisten etkilendiği tespit edilmiştir. Bu sonuçlar, fCover değerlerinin NDVI değerlerine göre atmosferik koşullardan daha fazla etkilendiğini göstermektedir.



Şekil 4.34. Çalışma alanına ilişkin medyan fCover değerleri

4.2.4. Sentinel-2 uydu görüntülerinden elde edilen CW değerleri

Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen CW görüntüleri Şekil 4.35'te, çalışma alanına ilişkin medyan CW değerleri ise Şekil 4.36'da gösterilmiştir.

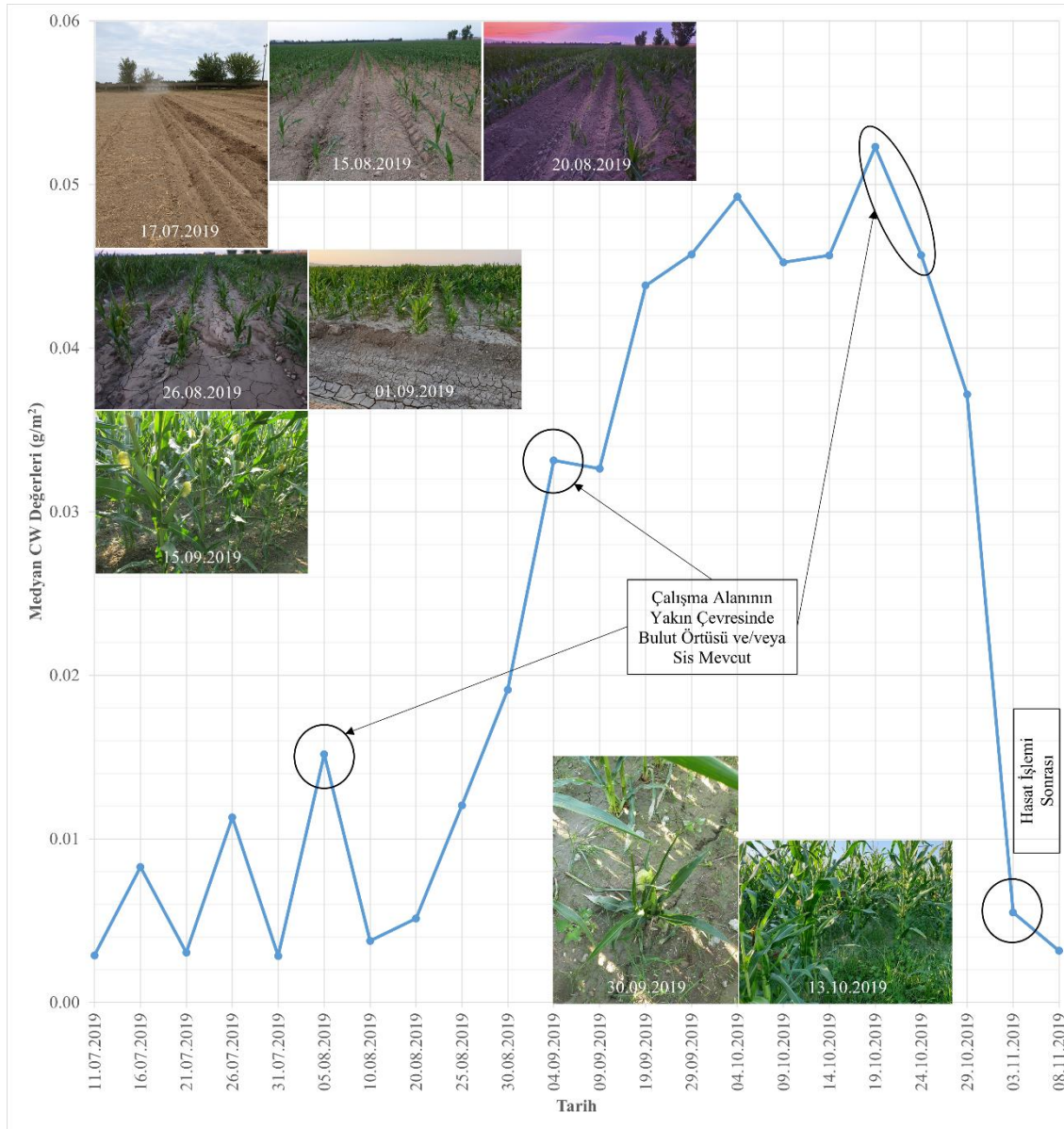


Şekil 4.35. Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen CW görüntüleri

CW değerlerinin 10.08.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 50 cm'yi biraz aşincaya kadar) düşük seyrettiği; 20.08.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 75 cm'yi aştıktan sonra) 29.09.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 260 cm'ye ulaşincaya kadar) hızla arttığı gözlenmiştir. CW değerlerinin, 29.09.2019 tarihinden itibaren (ortalama bitki boyu 265 cm'yi aştıktan sonra) doygunluğa ulaştığı ve 14.10.2019 tarihine kadar (ortalama bitki boyu 275 cm'yi biraz aşincaya kadar) yaklaşık olarak aynı seviyelerde seyrettiği gözlenmiştir. CW değerlerinin, hasat işlemi gerçekleştirilmeden hemen önce (29.10.2019 tarihinde, ortalama bitki boyu 275 cm) düşüş gösterdiği; hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra (31.10.2019 tarihinden sonra) 03.11.2019 tarihinde ise sert bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir (Şekil 4.36).

Ayrıca, CW değerlerinin 05.08.2019, 04.09.2019 ve 19.10.2019 tarihlerinde artış gösterdiği; 24.10.2019 tarihinde ise muhtemelen düşüş eğilimine geçecek olan CW değerlerinin yüksek geldiği gözlenmiştir (Şekil 4.36). Şekil 4.27 ve Şekil 4.28 incelendiğinde; 05.08.2019 tarihli görüntüde çalışma alanının hemen üst kısmında;

04.09.2019 tarihli görüntünün sol üst kısmında; 24.10.2019 tarihli görüntünün ise sağ üst kısmında bulut örtüsünün ve/veya sisin mevcut olduğu görülmektedir. 19.10.2019 tarihli görüntünün de sağ üst kısmında bulut örtüsünün ve/veya sisin mevcut olduğu gözlenmiştir; ancak bu bulut örtüsü ve/veya sis, diğer görüntülerdekine nazaran çalışma alanından görece biraz daha uzakta yer almaktadır. Dolayısıyla CW değerlerinin, doğrudan çalışma alanının üzerinde olmasa da çalışma alanının yakın çevresinde mevcut olan bulut örtüsünden ve/veya sisten etkilendiği tespit edilmiştir. Ayrıca, 04.10.2019 tarihinde yüksek gelen CW değerinin, uydu görüntüsünün diğer kısımlarında mevcut olan bulut örtüsünden kaynaklanmış olabileceği ihtimali de yüksektir. Bu sonuçlar, CW değerlerinin NDVI, LAI ve fCover değerlerine göre atmosferik koşullardan daha fazla etkilendiğini göstermektedir.



Şekil 4.36. Çalışma alanına ilişkin medyan CW değerleri

5. SONUÇLAR

Bu çalışmada, Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) ve multispektral uydu görüntüleri kullanılarak mısır vejetasyon dönemi gelişiminin izlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda, ücretsiz olarak temin edilebilen ve yüksek mekânsal ve zamansal çözünürlüğe sahip Sentinel-1 SAR uydu görüntüleri ile Sentinel-2 multispektral uydu görüntüleri kullanılmıştır. Akdeniz Üniversitesi / Ziraat Fakültesi, Aksu Araştırma ve Uygulama Çiftliği'nde gerçekleştirilen çalışmada silajlık mısır bitkisi izlenmiştir. Mısır bitkisinin ekiminden hasadına kadar olan süreçte, Sentinel-1 uydu görüntülerinden elde edilen geri saçılma değerleri ile interferometrik uyumluluk değerleri ve Sentinel-2 uydu görüntülerinden türetilen Normalize Edilmiş Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI) değerleri ile diğer biyofiziksel değişkenlere (LAI, fCover ve CW) ilişkin değerler incelenmiştir. Ayrıca, Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılarak bitki boyları da hesaplanmıştır.

NDVI, LAI, fCover ve CW değerlerinin; genel olarak bitki boyları belirli bir seviyeye ulaşmaya kadar düşük seyrettiği, sonrasında bitki büyüdükçe arttığı, daha sonra doymuşluğa ulaşarak yaklaşık olarak aynı seviyelerde seyrettiği, hasat işlemi gerçekleştirilmeden önce biraz düşüş gösterdiği, hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra ise sert bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir.

Geri saçılma değerlerinin; genel olarak ekim işlemi gerçekleştirildikten sonra düşüş gösterdiği, bitki büyüdükçe arttığı, daha sonra doymuşluğa ulaşarak yaklaşık olarak aynı seviyelerde seyrettiği, hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra ise yeşil kalıntıların da kurumasıyla birlikte azaldığı gözlenmiştir.

İnterferometrik uyumluluk değerlerinin; genel olarak ekim işlemi gerçekleştirilmeden önce yüksek geldiği, ekim işleminin gerçekleştirildiği zaman aralığında elde edilen uydu görüntü çiftlerinin interferometrik uyumluluk değerlerinin sert bir düşüş gösterdiği, bitkiler çimlenmeye başlamadan önce elde edilen uydu görüntü çiftlerinin interferometrik uyumluluk değerlerinin tekrar yükseldiği, bitki büyüdükçe interferometrik uyumluluk değerlerinin azaldığı ve hasat işlemi gerçekleştirilinceye kadar interferometrik uyumluluk değerlerinin düşük seyrettiği, hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra ise interferometrik uyumluluk değerlerinin arttığı gözlenmiştir.

NDVI, LAI, fCover ve CW değerlerinin, bitki boyları belirli bir seviyeye ulaşmaya kadar düşük seyrettiği gözlenmiştir. Geri saçılma değerleri göz önüne alındığında ise, büyük geliş açılarında elde edilen Sentinel-1 uydu görüntülerinin (özellikle VH polarizasyonu) erken büyüme aşamalarına daha duyarlı olabileceği gözlenmiştir. Dolayısıyla Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntüleri gibi daha büyük geliş açılarıyla elde edilen SAR görüntülerinin kullanılması, bitkilerin erken büyüme aşamalarının izlenmesine yardımcı olabilir.

NDVI, LAI, fCover ve CW değerlerinin, hasat işlemi gerçekleştirilmeden önce biraz düşüş gösterdiği gözlenmiştir. Hasat işlemi gerçekleştirilmeden önce meydana gelen bu düşüş, kanopi su (nem) içeriğinin azalması olarak yorumlanabilir ve silajlık mısırın hasat edilme zamanının geldiği bilgisi çıkarılabilir. Öte yandan; NDVI, LAI, fCover ve CW değerlerinin, hasat işlemi gerçekleştirildikten sonra sert bir düşüş gösterdiği gözlenmiştir. Sentinel-1 uydu görüntülerinden elde edilen değerler ise bitki kalıntılarına duyarlı bulunmuş; yeşil kalıntıların kurumasının ardından geri saçılma

değerlerinde düşüş, interferometrik uyumluluk değerlerinde ise artış gözlenmiştir. Dolayısıyla optik uydu görüntülerinin kullanılması, hasat tarihlerinin daha kesin bir şekilde belirlenmesine yardımcı olabilir.

NDVI, LAI, fCover ve CW değerleri; ekim, çizel ile ara çapa, sıra arası çapalama ve sulama işlemleri gibi toprak işleme uygulamalarına duyarsız kalmıştır. Geri saçılma ve interferometrik uyumluluk değerleri ise ekim işlemlerine duyarlı bulunmuştur. Geri saçılma değerlerinin sulama işlemlerine de duyarlı olduğu gözlenmiştir. Dolayısıyla SAR verilerinin kullanılması, ekim tarihlerinin belirlenmesine ve sulama işlemlerinin izlenmesine yardımcı olabilir.

NDVI, LAI, fCover ve CW değerlerinin, çalışma alanının yakın çevresinde mevcut olan bulut örtüsünden ve/veya sisten etkilendiği tespit edilmiştir. Öte yandan, geri saçılma ve interferometrik uyumluluk değerlerinin de yağış olaylarından önemli ölçüde etkilendiği gözlenmiştir. Bu nedenle, optik uydu görüntülerinden elde edilen değerlerin daha iyi yorumlanabilmesi için çalışma alanının yakın çevresinde bulut örtüsünün ve/veya sisin mevcut olup olmadığının kontrol edilmesi; SAR verilerinin daha iyi yorumlanabilmesi için ise meteorolojik verilerin dikkate alınması oldukça önemlidir.

Bu çalışmada, iyi gelişmiş bitkiler için bile toprak katkısının göz ardı edilmemesi gerektiği doğrulanmıştır. Yükselen-160 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntüleri gibi daha küçük geliş açılarıyla elde edilen SAR görüntülerinin toprak nemine ve yağış olaylarına daha duyarlı olabileceği; Yükselen-58 yörüngesinden elde edilen Sentinel-1 uydu görüntüleri gibi daha büyük geliş açılarıyla elde edilen SAR görüntülerinin toprak nemindeki değişikliklere karşı daha az duyarlı, bitki büyümesinin izlenmesine ise daha duyarlı olabileceği gözlenmiştir.

Bu çalışma kapsamında, Sentinel-1 uydu görüntüleri kullanılarak ortalama bitki boyu yaklaşık 50 cm'lik bir hata ile hesaplanmıştır. Ancak, Sentinel-1 uydu görüntülerinden hesaplanan minimum ve maksimum bitki boyu değerleri arasındaki farkın ve standart sapmanın oldukça yüksek olması nedeniyle; Sentinel-1 uydu görüntülerinden hesaplanan ortalama bitki boyu değerinin, gerçek bitki boyu değerine tesadüfi olarak yakın geldiği tespit edilmiştir. Sentinel-1 uydu görüntü çiftleri, 6'şar gün aralıklarla tekrarlı geçişte elde edilmektedir. Tekrarlı geçiş interferometrisi, bitki örtüsüyle kaplı alanların izlenmesi için çok uygun değildir. Öte yandan, bitki boylarının hesaplanabilmesi için büyük dik baz uzunluklarına sahip Sentinel-1 uydu görüntü çiftlerinin bulunması da oldukça zordur. Bu nedenle, Sentinel-1 uydu görüntüleri bitki boylarının hesaplanması için çok uygun değildir. Sentinel-1 uydusu gibi monostatik sistemlerin aksine, bistatik sistemler bitki boylarının hesaplanması için daha doğru sonuçlar verebilir.

Bu çalışmada silajlık mısır bitkisi izlenmiştir. Silajlık mısır, bitki hâlâ yeşilken hasat edilmektedir. Bu nedenle bu çalışmadan elde edilen sonuçlar, danelik mısır üzerine yapılan ve/veya yapılacak olan çalışmaların sonuçlarıyla farklılık gösterebilir. Ayrıca geliş açısındaki ve ekim yönündeki farklılıklar nedeniyle, aynı bitkiler için bile SAR geri saçılmalarının farklılık gösterebileceği göz ardı edilmemelidir. Öte yandan; farklı bitkilerin farklı kanopi yapılarının, farklı büyüme aşamalarının, farklı ekim sıklıklarının/bitki yoğunluklarının, farklı toprak işleme uygulamalarının, farklı sulama

zamanlarının ve bölgesel yağışların da SAR geri saçılmalarında farklılığa yol açabileceği unutulmamalıdır.

Bu çalışma göstermiştir ki; optik ve SAR verilerinin birlikte kullanılmasıyla ekili alanlar tespit edilebilir, bitki büyümesi izlenebilir, ekim ve hasat tarihleri belirlenebilir ve sulama işlemleri gibi toprak işleme uygulamaları takip edilebilir.





6. KAYNAKLAR

- Abdikan, S., Şekertekin, A., Üstüner, M., Balık Şanlı, F. and Nasirzadehdizaji, R. 2018. Backscatter analysis using multi-temporal Sentinel-1 SAR data for crop growth of maize in Konya Basin, Turkey. 2018 ISPRS Technical Commission III Mid-term Symposium “Developments, Technologies and Applications in Remote Sensing”, pp. 9-13, 7-10 May, Beijing, China.
- Ajadi, O.A., Liao, H., Jaacks, J., Delos Santos, A., Kumpatla, S.P., Patel, R. and Swatantran, A. 2020. Landscape-scale crop lodging assessment across Iowa and Illinois using Synthetic Aperture Radar (SAR) images. *Remote Sensing*, 12(23): 3885.
- Ajadi, O.A., Barr, J., Liang, S.-Z., Ferreira, R., Kumpatla, S.P., Patel, R. and Swatantran, A. 2021. Large-scale crop type and crop area mapping across Brazil using synthetic aperture radar and optical imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 97: 102294.
- Alonso-González, A., López-Martínez, C., Papathanassiou, K.P. and Hajnsek, I. 2020. Polarimetric SAR time series change analysis over agricultural areas. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(10): 7317-7330.
- Alvino, F.C.G., Aleman, C.C., Filgueiras, R., Althoff, D. and da Cunha, F.F. 2020. Vegetation indices for irrigated corn monitoring. *Engenharia Agrícola*, 40(3): 322-333.
- Ameline, M., Fieuzal, R., Betbeder, J., Berthoumieu, J.-F. and Baup, F. 2018. Estimation of corn yield by assimilating SAR and optical time series into a simplified agrometeorological model: From diagnostic to forecast. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(12): 4747-4760.
- Amherdt, S., Di Leo, N.C., Balbarani, S., Pereira, A., Cornero, C. and Pacino, M.C. 2021. Exploiting Sentinel-1 data time-series for crop classification and harvest date detection. *International Journal of Remote Sensing*, 42(19): 7313-7331.
- Anonymous 1: What is Copernicus?. https://www.copernicus.eu/sites/default/files/Brochure_Copernicus_2019%20updated_0.pdf [Son erişim tarihi: 03.07.2021].
- Anonymous 2: About Copernicus. <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus> [Son erişim tarihi: 03.07.2021].
- Anonymous 3: Access to data. <https://www.copernicus.eu/en/access-data> [Son erişim tarihi: 03.07.2021].
- Anonymous 4: Discover our satellites. <https://www.copernicus.eu/en/about-copernicus/infrastructure/discover-our-satellites> [Son erişim tarihi: 03.07.2021].
- Anonymous 5: Sentinel-1 Radiometric Calibration. <https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/manage-data/raster-and-images/sentinel-1-radiometric-calibration.htm> [Son erişim tarihi: 07.11.2021].
- Anonymous 6: Sentinel-1 Algorithms. <https://developers.google.com/earth-engine/guides/sentinel1> [Son erişim tarihi: 08.11.2021].

- Anonymous 7: Leaf Area Index. <https://land.copernicus.eu/global/products/lai> [Son erişim tarihi: 21.11.2021].
- Anonymous 8: Fraction of green Vegetation Cover. <https://land.copernicus.eu/global/products/fcover> [Son erişim tarihi: 21.11.2021].
- Anonymous 9: FCover (Fraction of green Vegetation Cover). <https://custom-scripts.sentinel-hub.com/custom-scripts/sentinel-2/fcover/> [Son erişim tarihi: 21.11.2021].
- Arias, M., Campo-Bescós, M.Á. and Álvarez-Mozos, J. 2018. Crop type mapping based on Sentinel-1 backscatter time series. IGARSS 2018 – 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 6623-6626, 22-27 July, Valencia, Spain.
- Arias, M., Campo-Bescós, M.Á. and Álvarez-Mozos, J. 2020. Crop classification based on temporal signatures of Sentinel-1 observations over Navarre Province, Spain. *Remote Sensing*, 12(2): 278.
- Arslan, Y. 2017. Mısır Bitkisinin Tarihi. <http://kitaptarih.com/misir-bitkisinin-tarihi.html> [Son erişim tarihi: 26.08.2021].
- ASF. 2021. What is SAR?. <https://asf.alaska.edu/information/sar-information/what-is-sar/> [Son erişim tarihi: 22.10.2021].
- Ashmitha Nihar, M., Mohammed Ahamed, J., Pazhanivelan, S., Kumaraperumal, R. and Ganesha Raj, K. 2019. Estimation of cotton and maize crop area in Perambalur District of Tamil Nadu using multi-date Sentinel-1A SAR data. ISPRS-GEOGLAM-ISRS Joint International Workshop on “Earth Observations for Agricultural Monitoring”, pp. 67-71, 18-20 February, New Delhi, India.
- Auer, S. and Bamler, R. 2017. Mathematics - Time and frequency. https://eo-college.org/resource/time_frequency/ [Son erişim tarihi: 09.11.2021].
- AÜZFD. 2021. Akademi Çiftlik. <http://ziraat.akdeniz.edu.tr/akademi-ciftlik/anasayfa/> [Son erişim tarihi: 22.10.2021].
- Babaoğlu, M. 2005a. Mısır Tarımı. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/ttae/Sayfalar/Detay.aspx?SayfaId=89> [Son erişim tarihi: 26.08.2021].
- Babaoğlu, M. 2005b. Mısır ve Tarımı. <http://hayrabolutb.org.tr/media/ziraat/Misir-Tarimi-2.pdf> [Son erişim tarihi: 10.09.2021].
- Bahrami, H., Homayouni, S., Safari, A., Mirzaei, S., Mahdianpari, M. and Reisi-Gahrouei, O. 2021. Deep learning-based estimation of crop biophysical parameters using multi-source and multi-temporal remote sensing observations. *Agronomy*, 11(7): 1363.
- Bai, Z., Fang, S., Gao, J., Zhang, Y., Jin, G., Wang, S., Zhu, Y. and Xu, J. 2020. Could vegetation index be derive from synthetic aperture radar? – The linear relationship between interferometric coherence and NDVI. *Scientific Reports*, 10(1): 6749.
- Ban, Y. and Howarth, P.J. 1998. Orbital effects on ERS-1 SAR temporal backscatter profiles of agricultural crops. *International Journal of Remote Sensing*, 19(17): 3465-3470.

- Battude, M., Al Bitar, A., Morin, D., Cros, J., Huc, M., Marais Sicre, C., Le Dantec, V. and Demarez, V. 2016. Estimating maize biomass and yield over large areas using high spatial and temporal resolution Sentinel-2 like remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 184: 668-681.
- Baup, F., Ameline, M., Fieuzal, R., Frappart, F., Corgne, S. and Berthoumieu, J.-F. 2019. Temporal evolution of corn mass production based on agro-meteorological modelling controlled by satellite optical and SAR images. *Remote Sensing*, 11(17): 1978.
- Bayanudin, A.A. and Jatmiko, R.H. 2016. Orthorectification of Sentinel-1 SAR (Synthetic Aperture Radar) data in some parts of South-eastern Sulawesi using Sentinel-1 Toolbox. 2nd International Conference of Indonesian Society for Remote Sensing (ICOIRS 2016), pp. 1-13, 17-19 October, Yogyakarta, Indonesia.
- BAYER Crop Science Canada. 2021. Determining Corn Growth Stages. [https://www.cropscience.bayer.ca/stories/2021/grow-your-knowledge/determining-corn-growth-stages](https://www.cropsscience.bayer.ca/stories/2021/grow-your-knowledge/determining-corn-growth-stages) [Son erişim tarihi: 26.11.2021].
- Beriaux, E., Jago, A., Lucau-Danila, C., Planchon, V. and Defourny, P. 2021. Sentinel-1 time series for crop identification in the framework of the future CAP monitoring. *Remote Sensing*, 13(14): 2785.
- Bhandari, A.K., Kumar, A. and Singh, G.K. 2012. Feature extraction using Normalized Difference Vegetation Index (NDVI): A case study of Jabalpur City. 2nd International Conference on Communication, Computing & Security [ICCCS-2012], pp. 612-621, 6-8 October, Rourkela, Odisha, India.
- Blaes, X. and Defourny, P. 2003. Retrieving crop parameters based on tandem ERS 1/2 interferometric coherence images. *Remote Sensing of Environment*, 88(4): 374-385.
- Blaes, X., Defourny, P., Wegmüller, U., Della Vecchia, A., Guerriero, L. and Ferrazzoli, P. 2006. C-band polarimetric indexes for maize monitoring based on a validated radiative transfer model. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 44(4): 791-800.
- Bousbih, S., Zribi, M., Lili-Chabaane, Z., Baghdadi, N., El Hajj, M., Gao, Q. and Mougenot, B. 2017. Potential of Sentinel-1 radar data for the assessment of soil and cereal cover parameters. *Sensors*, 17(11): 2617.
- Braun, A. 2021a. DEM generation with Sentinel-1: Workflow and challenges. <http://step.esa.int/docs/tutorials/S1TBX%20DEM%20generation%20with%20Sentinel-1%20IW%20Tutorial.pdf> [Son erişim tarihi: 09.11.2021].
- Braun, A. 2021b. Retrieval of digital elevation models from Sentinel-1 radar data – open applications, techniques, and limitations. *Open Geosciences*, 13(1): 532-569.
- Brosinsky, A., Kuester, T., Foerster, S., Kaufmann, H., Segl, K. and Guanter, L. 2019. Principles of imaging spectroscopy: Electromagnetic radiation and its interactions with earth surface materials. <https://eo-college.org/resource/principles-of-imaging-spectroscopy/> [Son erişim tarihi: 17.04.2021].

- Buddenbaum, H. and Hill, J. 2020. Imaging spectroscopy of forest ecosystems: Exploiting the potential of hyperspectral data. <https://eo-college.org/resource/imaging-spectroscopy-of-forest-ecosystems/> [Son erişim tarihi: 17.04.2021].
- BÜGEM. 2020a. Ürün Masaları – Mısır Bülteni (Ocak 2020). <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/Belgeler/M%C4%B0LL%C4%B0%20TARIM/%C3%9Cr%C3%BCn%20Masalar%C4%B1%20Ocak%20Ay%C4%B1%20B%C3%BClteni/M%C4%B1s%C4%B1r%20Ocak%20B%C3%BClteni.pdf> [Son erişim tarihi: 02.09.2021].
- BÜGEM. 2020b. Ürün Masaları – Mısır Bülteni, Sayı: 13 (Aralık 2020). <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/Belgeler/B%C3%BCltenler/ARALIK%202020%20TEKRAR/M%C4%B1s%C4%B1r%20Aral%C4%B1k%20B%C3%BClteni.pdf> [Son erişim tarihi: 08.09.2021].
- BÜGEM. 2021. Ürün Masaları – Mısır Bülteni, Sayı: 14 (Ocak 2021). <https://www.tarimorman.gov.tr/BUGEM/Belgeler/B%C3%BCltenler/OCAK%202021/M%C4%B1s%C4%B1r%20Ocak%20B%C3%BClteni.pdf> [Son erişim tarihi: 08.09.2021].
- Chauhan, N.S., Le Vine, D.M. and Lang, R.H. 1994. Discrete scatter model for microwave radar and radiometer response to corn: Comparison of theory and data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 32(2): 416-426.
- Chen, P.-Y., Fedosejevs, G., Tiscareño-López, M. and Arnold, J.G. 2006. Assessment of MODIS-EVI, MODIS-NDVI and VEGETATION-NDVI composite data using agricultural measurements: An example at corn fields in Western Mexico. *Environmental Monitoring and Assessment*, 119(1-3): 69-82.
- Chen, Y., Hou, J., Huang, C., Zhang, Y. and Li, X. 2021. Mapping maize area in heterogeneous agricultural landscape with multi-temporal Sentinel-1 and Sentinel-2 images based on Random Forest. *Remote Sensing*, 13(15): 2988.
- Cossu, R., Brito, F., Colin, O., Fusco, L., Goncalves, P., Lavalley, M. and Paces, M. 2007. Global automatic orthorectification of ASAR products in ESRIN G-POD. Envisat Symposium 2007, pp. 1-6, 23-27 April, Montreux, Switzerland.
- DEKALB Asgrow Deltapine. 2020. Determining Corn Growth Stages. <https://www.dekalbasgrowdeltapine.com/en-us/agronomy/corn-growth-stages-and-gdu-requirements.html> [Son erişim tarihi: 26.11.2021].
- Dimov, D., Kuhn, J. and Conrad, C. 2016. Assessment of cropping system diversity in the Fergana Valley through image fusion of Landsat 8 and Sentinel-1. XXIII ISPRS Congress, Commission VII, pp. 173-180, 12-19 July, Prague, Czech Republic.
- Dingle Robertson, L., Davidson, A., McNairn, H., Hosseini, M., Mitchell, S., de Abelleira, D., Verón, S. and Cosh, M.H. 2020a. Synthetic Aperture Radar (SAR) image processing for operational space-based agriculture mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 41(18): 7112-7144.

- Dingle Robertson, L. et al. 2020b. C-band Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery for the classification of diverse cropping systems. *International Journal of Remote Sensing*, 41(24): 9628-9649.
- Dizdaroğlu, T. 2019. Sentinel-1 ve Sentinel-2 verilerinden tarımsal ürün sınıflandırması için makine öğrenme algoritmalarının karşılaştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 113 s.
- Dünya Atlası. 2019. Mısır Bitkisinin Tarihçesi (Keşfi). <https://www.dunyaatlası.com/misir-bitkisinin-tarihcesi-kesfi/> [Son erişim tarihi: 22.10.2021].
- Eineder, M. and Bamler, R. 2017a. SAR imaging: Basics and principles. <https://eo-college.org/resource/sar-imaging/> [Son erişim tarihi: 07.11.2021].
- Eineder, M. and Bamler, R. 2017b. SAR interferometry basics. https://eo-college.org/resource/insar_basics/ [Son erişim tarihi: 09.11.2021].
- Eineder, M. and Bamler, R. 2017c. SAR interferometry error sources. https://eo-college.org/resource/insar_errors/ [Son erişim tarihi: 09.11.2021].
- El Hajj, M., Baghdadi, N., Bazzi, H. and Zribi, M. 2019. Penetration analysis of SAR signals in the C and L bands for wheat, maize, and grasslands. *Remote Sensing*, 11(1): 31.
- Eminoğlu, M.A. 2019. Mısırdaki verim ve bazı verim değişkenlerinin NDVI kameralı alçak irtifa insansız hava aracı kullanılarak tahmin edilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Harran Üniversitesi, Şanlıurfa, 69 s.
- Engdahl, M.E., Borgeaud, M. and Rast, M. 2001. The use of ERS-1/2 tandem interferometric coherence in the estimation of agricultural crop heights. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(8): 1799-1806.
- EO College. 2019. Echoes in Space: Introduction to Radar Remote Sensing. <https://eo-college.org/courses/echoes-in-space/lessons/land/topic/introduction-to-interferometry/> [Son erişim tarihi: 10.11.2021].
- EO College. 2021a. Land in Focus – Agriculture & Food. <https://eo-college.org/courses/agriculture-and-food/lessons/crop-monitoring-biophysical-parameters/topic/lai-leaf-area-index/> [Son erişim tarihi: 27.11.2021].
- EO College. 2021b. Land in Focus – Agriculture & Food. <https://eo-college.org/courses/agriculture-and-food/lessons/crop-monitoring-biophysical-parameters/> [Son erişim tarihi: 27.11.2021].
- Erten, E., Lopez-Sanchez, J.M., Yüzüğüllü, O. and Hajnsek, I. 2016a. Retrieval of agricultural crop height from space: A comparison of SAR techniques. *Remote Sensing of Environment*, 187: 130-144.
- Erten, E., Yüzüğüllü, O., Lopez-Sanchez, J.M. and Hajnsek, I. 2016b. Sar algorithms for crop height estimation: The paddy-rice case study. 2016 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp. 7117-7120, 10-15 July, Beijing, China.

- ESA. 2014a. Sentinel family. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2014/04/Sentinel_family [Son erişim tarihi: 29.06.2021].
- ESA. 2014b. Sentinel-1. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2014/02/Sentinel-1 [Son erişim tarihi: 04.07.2021].
- ESA. 2014c. Sentinel-1 radar vision. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2014/01/Sentinel-1_radar_vision [Son erişim tarihi: 17.07.2021].
- ESA. 2015. Sentinel-2. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2015/03/Sentinel-2 [Son erişim tarihi: 25.07.2021].
- ESA. 2016a. Introducing Sentinel-1. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Introducing_Sentinel-1 [Son erişim tarihi: 04.07.2021].
- ESA. 2016b. Sentinel-1. Retrieved from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1> [Son erişim tarihi: 10.07.2021].
- ESA. 2016c. Sentinel-1. Retrieved from <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-1> [Son erişim tarihi: 10.07.2021].
- ESA. 2016d. Sentinel-1. Retrieved from <https://dragon3.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1> [Son erişim tarihi: 10.07.2021].
- ESA. 2016e. Satellite constellation. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Satellite_constellation [Son erişim tarihi: 04.07.2021].
- ESA. 2016f. Sentinel-1 SAR User Guide. Retrieved from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar> [Son erişim tarihi: 07.11.2021].
- ESA. 2016g. Sentinel-1 SAR User Guide. Retrieved from <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar> [Son erişim tarihi: 07.11.2021].
- ESA. 2016h. Sentinel-1 SAR User Guide. Retrieved from <https://dragon3.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar> [Son erişim tarihi: 07.11.2021].
- ESA. 2016i. Facts and figures. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Facts_and_figures [Son erişim tarihi: 06.07.2021].
- ESA. 2016j. Sentinel-1 SAR Technical Guide. Retrieved from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar> [Son erişim tarihi: 07.11.2021].

- ESA. 2016k. Sentinel-1 SAR Technical Guide. Retrieved from <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar> [Son erişim tarihi: 07.11.2021].
- ESA. 2016l. Sentinel-1 SAR Technical Guide. Retrieved from <https://dragon3.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar> [Son erişim tarihi: 07.11.2021].
- ESA. 2016m. Instrument. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Instrument [Son erişim tarihi: 28.07.2021].
- ESA. 2016n. Data products. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-1/Data_products [Son erişim tarihi: 28.07.2021].
- ESA. 2016o. Geophysical Measurements. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/product-overview/geophysical-measurements> [Son erişim tarihi: 09.11.2021].
- ESA. 2016p. Geophysical Measurements. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/product-overview/geophysical-measurements> [Son erişim tarihi: 09.11.2021].
- ESA. 2016r. Geophysical Measurements. <https://dragon3.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/product-overview/geophysical-measurements> [Son erişim tarihi: 09.11.2021].
- ESA. 2016s. Interferometry. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/product-overview/interferometry> [Son erişim tarihi: 09.11.2021].
- ESA. 2016t. Interferometry. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/product-overview/interferometry> [Son erişim tarihi: 09.11.2021].
- ESA. 2016u. Interferometry. <https://dragon3.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/product-overview/interferometry> [Son erişim tarihi: 09.11.2021].
- ESA. 2017a. Land Monitoring. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/applications/land-monitoring> [Son erişim tarihi: 22.10.2021].
- ESA. 2017b. Land Monitoring. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/applications/land-monitoring> [Son erişim tarihi: 22.10.2021].
- ESA. 2017c. Land Monitoring. <https://dragon3.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-1-sar/applications/land-monitoring> [Son erişim tarihi: 22.10.2021].
- ESA. 2017d. Sentinel-2: Colour vision for Copernicus. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2 [Son erişim tarihi: 06.08.2021].
- ESA. 2017e. Introducing Sentinel-2. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Introducing_Sentinel-2 [Son erişim tarihi: 06.08.2021].

- ESA. 2017f. Instrument. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Instrument [Son erişim tarihi: 06.08.2021].
- ESA. 2017g. Sentinel-2. Retrieved from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> [Son erişim tarihi: 12.08.2021].
- ESA. 2017h. Sentinel-2. Retrieved from <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/missions/sentinel-2> [Son erişim tarihi: 12.08.2021].
- ESA. 2017i. Sentinel-2. Retrieved from <https://dragon3.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2> [Son erişim tarihi: 12.08.2021].
- ESA. 2017j. Sentinel-2 MSI User Guide. Retrieved from <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi> [Son erişim tarihi: 13.08.2021].
- ESA. 2017k. Sentinel-2 MSI User Guide. Retrieved from <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi> [Son erişim tarihi: 13.08.2021].
- ESA. 2017l. Sentinel-2 MSI User Guide. Retrieved from <https://dragon3.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi> [Son erişim tarihi: 13.08.2021].
- ESA. 2017m. Satellite constellation. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Satellite_constellation [Son erişim tarihi: 07.08.2021].
- ESA. 2017n. Sentinel-2 global coverage. https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2017/03/Sentinel-2_global_coverage [Son erişim tarihi: 25.07.2021].
- ESA. 2017o. Facts and figures. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Facts_and_figures [Son erişim tarihi: 08.08.2021].
- ESA. 2017p. Data products. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/Sentinel-2/Data_products [Son erişim tarihi: 12.08.2021].
- ESA. 2017r. Products and Algorithms. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/products-algorithms> [Son erişim tarihi: 12.08.2021].
- ESA. 2017s. Products and Algorithms. <https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/products-algorithms> [Son erişim tarihi: 12.08.2021].
- ESA. 2017t. Products and Algorithms. <https://dragon3.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-2-msi/products-algorithms> [Son erişim tarihi: 12.08.2021].

- ESA. 2020. The Sentinel missions. https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/The_Sentinel_missions [Son erişim tarihi: 03.07.2021].
- FAO. 2017. The future of food and agriculture: Trends and challenges. <http://www.fao.org/3/i6583e/i6583e.pdf> [Son erişim tarihi: 13.03.2021].
- FAO. 2018. The future of food and agriculture: Alternative pathways to 2050. <http://www.fao.org/3/I8429EN/i8429en.pdf> [Son erişim tarihi: 13.03.2021].
- FAO. 2019. FAOSTAT – Production: Crops and livestock products. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL> [Son erişim tarihi: 29.08.2021].
- Ferrazzoli, P., Paloscia, S., Pampaloni, P., Schiavon, G., Solimini, D. and Coppo, P. 1992. Sensitivity of microwave measurements to vegetation biomass and soil moisture content: A case study. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 30(4): 750-756.
- Filipponi, F. 2019. Sentinel-1 GRD preprocessing workflow. 3rd International Electronic Conference on Remote Sensing (ECRS-3), pp. 1-4, 22 May-5 June, Online.
- Formaggio, A.R., Epiphany, J.C.N. and Simões, M.S. 2001. RADARSAT backscattering from an agricultural scene. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36(5): 823-830.
- Freeman, K.W., Girma, K., Arnall, D.B., Mullen, R.W., Martin, K.L., Teal, R.K. and Raun, W.R. 2007. By-plant prediction of corn forage biomass and nitrogen uptake at various growth stages using remote sensing and plant height. *Agronomy Journal*, 99(2): 530-536.
- Gagnon, L. and Jouan, A. 1997. Speckle filtering of SAR images – A comparative study between complex-wavelet-based and standard filters. *Wavelet Applications in Signal and Image Processing V*, pp. 80-91, 27 July-1 August, San Diego, CA, United States.
- Gao, S., Niu, Z., Huang, N. and Hou, X. 2013. Estimating the leaf area index, height and biomass of maize using HJ-1 and RADARSAT-2. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 24: 1-8.
- Geomatics Group. 2021. Magellan eXplorer 610. <http://www.geomaticsgroup.com/urunler/-magellan-explorer-610-> [Son erişim tarihi: 22.10.2021].
- Ghazaryan, G., Dubovyk, O., Schreier, J., Graw, V. and Schellberg, J. 2019. Maize growth and condition monitoring with multisensor remotely sensed time series. *IGARSS 2019 – 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 2818-2821, 28 July-2 August, Yokohama, Japan.
- Ghazaryan, G., Dubovyk, O., Graw, V., Kussul, N. and Schellberg, J. 2020. Local-scale agricultural drought monitoring with satellite-based multi-sensor time-series. *GIScience & Remote Sensing*, 57(5): 704-718.
- Goldstein, R.M. and Werner, C.L. 1998. Radar interferogram filtering for geophysical applications. *Geophysical Research Letters*, 25(21): 4035-4038.

- Grunfeld Brook, N.A. 2019. Introduction to SAR interferometry – Generating a Digital Elevation Model (DEM). https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/SAR%20Disasters%20Part%203_0.pdf [Son erişim tarihi: 10.11.2021].
- Holtgrave, A.-K., Röder, N., Ackermann, A., Erasmi, S. and Kleinschmit, B. 2020. Comparing Sentinel-1 and -2 data and indices for agricultural land use monitoring. *Remote Sensing*, 12(18): 2919.
- Hosseini, M., McNairn, H., Merzouki, A. and Pacheco, A. 2015. Estimation of Leaf Area Index (LAI) in corn and soybeans using multi-polarization C- and L-band radar data. *Remote Sensing of Environment*, 170: 77-89.
- Hosseini, M., McNairn, H., Mitchell, S., Dingle Robertson, L., Davidson, A. and Homayouni, S. 2019. Synthetic aperture radar and optical satellite data for estimating the biomass of corn. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 83: 101933.
- Hosseini, M., Kerner, H.R., Sahajpal, R., Puricelli, E., Lu, Y.-H., Lawal, A.F., Humber, M.L., Mitkish, M., Meyer, S. and Becker-Reshef, I. 2020. Evaluating the impact of the 2020 Iowa derecho on corn and soybean fields using synthetic aperture radar. *Remote Sensing*, 12(23): 3878.
- Hosseini, M. et al. 2021. A comparison between support vector machine and water cloud model for estimating crop leaf area index. *Remote Sensing*, 13(7): 1348.
- Huang, J., Tian, L., Liang, S., Ma, H., Becker-Reshef, I., Huang, Y., Su, W., Zhang, X., Zhu, D. and Wu, W. 2015. Improving winter wheat yield estimation by assimilation of the leaf area index from Landsat TM and MODIS data into the WOFOST model. *Agricultural and Forest Meteorology*, 204: 106-121.
- Huang, X. et al. 2021. Cropland mapping with L-band UAVSAR and development of NISAR products. *Remote Sensing of Environment*, 253: 112180.
- Hütt, C., Tilly, N., Schiedung, H. and Bareth, G. 2016. Potential of multitemporal TanDEM-X derived crop surface models for maize growth monitoring. XXIII ISPRS Congress, Commission VII, pp. 803-808, 12-19 July, Prague, Czech Republic.
- ICPAC. 2020. Fractional Vegetation Cover - (fCover). <https://www.icpac.net/data-center/fcover/> [Son erişim tarihi: 21.11.2021].
- IGC. 2021. Market Information: Supply & Demand. <https://www.igc.int/en/markets/marketinfo-sd.aspx> [Son erişim tarihi: 22.10.2021].
- Inoue, Y., Kurosu, T., Maeno, H., Uratsuka, S., Kozu, T., Dabrowska-Zielinska, K. and Qi, J. 2002. Season-long daily measurements of multifrequency (Ka, Ku, X, C, and L) and full-polarization backscatter signatures over paddy rice field and their relationship with biological variables. *Remote Sensing of Environment*, 81(2-3): 194-204.

- Iyyappan, M., Ramakrishnan, S.S. and Srinivasa Raju, K. 2014. Study of discrimination between plantation and dense scrub based on backscattering behavior of C band SAR data. ISPRS Technical Commission VIII Symposium, pp. 755-760, 9-12 December, Hyderabad, India.
- İşler, N. 2011. Mısır Tarımı. <http://www.mku.edu.tr/files/898-fe5b342c-8921-409b-a52e-86dcecd1f4.pdf> [Son erişim tarihi: 31.08.2021].
- Jagdhuber, T., Hajnsek, I. and Papathanassiou, K.P. 2017. SAR Polarimetry. <https://eo-college.org/resource/polsar/> [Son erişim tarihi: 27.11.2021].
- Jiao, X., McNairn, H., Shang, J. and Liu, J. 2010. The sensitivity of multi-frequency (X, C and L-band) radar backscatter signatures to bio-physical variables (LAI) over corn and soybean fields. ISPRS Technical Commission VII Symposium – 100 Years ISPRS, pp. 317-321, 5-7 July, Vienna, Austria.
- Jiao, X., McNairn, H., Shang, J., Pattey, E., Liu, J. and Champagne, C. 2011. The sensitivity of RADARSAT-2 polarimetric SAR data to corn and soybean leaf area index. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 37(1): 69-81.
- Joseph, A.T., van der Velde, R., O'Neill, P.E., Lang, R. and Gish, T. 2010. Effects of corn on C- and L-band radar backscatter: A correction method for soil moisture retrieval. *Remote Sensing of Environment*, 114(11): 2417-2430.
- Karakuş, P. 2017. Çok zamanlı uydu görüntü verileri ile tarımsal ürünlerin belirlenmesi ve verim tahmini. Doktora Tezi, Selçuk Üniversitesi, Konya, 114 s.
- Karjalainen, M., Kaartinen, H., Hyypä, J., Laurila, H. and Kuittinen, R. 2004. The use of Envisat alternating polarization SAR images in agricultural monitoring in comparison with RADARSAT-1 images. XXth ISPRS Congress Technical Commission VII, pp. 132-137, 12-23 July, Istanbul, Turkey.
- Karjalainen, M., Kaartinen, H. and Hyypä, J. 2008. Agricultural monitoring using Envisat alternating polarization SAR images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 74(1): 117-126.
- Kellndorfer, J. 2019. Using SAR data for mapping deforestation and forest degradation. In: Flores-Anderson, A.I., Herndon, K.E., Thapa, R.B. and Cherrington, E. (Eds.), *The Synthetic Aperture Radar (SAR) Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation (First Edition)*. SERVIR Global, Published Electronically, pp. 64-171.
- Kemp, J. and Burns, J. 2016. Agricultural monitoring using pursuit monostatic TanDEM-X coherence in the Western Cape, South Africa. 11th European Conference on Synthetic Aperture Radar (EUSAR 2016), pp. 643-646, 6-9 June, Hamburg, Germany.
- Khabbazan, S., Vermunt, P., Steele-Dunne, S., Ratering Arntz, L., Marinetti, C., van der Valk, D., Iannini, L., Molijn, R., Westerdijk, K. and van der Sande, C. 2019. Crop monitoring using Sentinel-1 data: A case study from the Netherlands. *Remote Sensing*, 11(16): 1887.

- Khaliq, A., Musci, M.A. and Chiaberge, M. 2018. Analyzing relationship between maize height and spectral indices derived from remotely sensed multispectral imagery. 2018 IEEE Applied Imagery Pattern Recognition Workshop (AIPR), pp. 1-5, 9-11 October, Washington, DC, USA.
- King, M.D., Platnick, S., Menzel, W.P., Ackerman, S.A. and Hubanks, P.A. 2013. Spatial and temporal distribution of clouds observed by MODIS onboard the Terra and Aqua satellites. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(7): 3826-3852.
- Kovács, I.P., Bugya, T., Czigány, S., Defilippi, M., Lóczy, D., Riccardi, P., Ronczyk, L. and Pasquali, P. 2019. How to avoid false interpretations of Sentinel-1A TOPSAR interferometric data in landslide mapping? A case study: Recent landslides in Transdanubia, Hungary. *Natural Hazards*, 96: 693-712.
- Kross, A., McNairn, H., Lapen, D., Sunohara, M. and Champagne, C. 2015. Assessment of RapidEye vegetation indices for estimation of leaf area index and biomass in corn and soybean crops. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34: 235-248.
- KTÜ. 2016. Uzaktan algılamada uydu görüntülerine uygulanan işlemler. https://www.ktu.edu.tr/dosyalar/ormanamenajmani_9d3f4.pdf [Son erişim tarihi: 04.11.2021].
- Kumar, P., Prasad, R., Choudhary, A., Gupta, D.K., Mishra, V.N., Vishwakarma, A.K., Singh, A.K. and Srivastava, P.K. 2019. Comprehensive evaluation of soil moisture retrieval models under different crop cover types using C-band synthetic aperture radar data. *Geocarto International*, 34(9): 1022-1041.
- Kumaraperumal, R., Shama, M., Ragunath, B.K.K.P. and Jagadeeswaran, R. 2017. Sentinel 1A SAR backscattering signature of maize and cotton crops. *Madras Agricultural Journal*, 104(1-3): 54-57.
- Lee, J.S., Jurkevich, L., Dewaele, P., Wambacq, P. and Oosterlinck, A. 1994. Speckle filtering of synthetic aperture radar images: A review. *Remote Sensing Reviews*, 8(4): 313-340.
- Li, L., Kong, Q., Wang, P., Xun, L., Wang, L., Xu, L. and Zhao, Z. 2019. Precise identification of maize in the North China Plain based on Sentinel-1A SAR time series data. *International Journal of Remote Sensing*, 40(5-6): 1996-2013.
- Liao, C., Wang, J., Shang, J., Huang, X., Liu, J. and Huffman, T. 2018. Sensitivity study of RADARSAT-2 polarimetric SAR to crop height and fractional vegetation cover of corn and wheat. *International Journal of Remote Sensing*, 39(5): 1475-1490.
- Liu, C., Shang, J., Vachon, P.W. and McNairn, H. 2013. Multiyear crop monitoring using polarimetric RADARSAT-2 data. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 51(4): 2227-2240.
- Liu, C.-A., Chen, Z.-X., Shao, Y., Chen, J.-S., Hasi, T. and Pan, H.-Z. 2019. Research advances of SAR remote sensing for agriculture applications: A review. *Journal of Integrative Agriculture*, 18(3): 506-525.
- Loew, A. and Mauser, W. 2007. Generation of geometrically and radiometrically terrain corrected SAR image products. *Remote Sensing of Environment*, 106(3): 337-349.

- Lopez-Sanchez, J.M., Vicente-Guijalba, F., Erten, E., Campos-Taberner, M. and Garcia-Haro, F.J. 2017. Retrieval of vegetation height in rice fields using polarimetric SAR interferometry with TanDEM-X data. *Remote Sensing of Environment*, 192: 30-44.
- Loy, D.D. and Lundy, E.L. 2019. Nutritional properties and feeding value of corn and its coproducts. In: Serna-Saldivar, S.O. (Ed.), *Corn: Chemistry and Technology* (Third Edition). Woodhead Publishing and AACC International Press, pp. 633-659.
- Macelloni, G., Paloscia, S., Pampaloni, P., Marliani, F. and Gai, M. 2001. The relationship between the backscattering coefficient and the biomass of narrow and broad leaf crops. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(4): 873-884.
- Mandal, D., Hosseini, M., McNairn, H., Kumar, V., Bhattacharya, A., Rao, Y.S., Mitchell, S., Dingle Robertson, L., Davidson, A. and Dabrowska-Zielinska, K. 2019. An investigation of inversion methodologies to retrieve the leaf area index of corn from C-band SAR data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 82: 101893.
- Martinez, E.L. and Fernandez, F.J.B. 2019. Economics of production, marketing and utilization. In: Serna-Saldivar, S.O. (Ed.), *Corn: Chemistry and Technology* (Third Edition). Woodhead Publishing and AACC International Press, pp. 87-107.
- Marzahn, P. and Ludwig, R. 2009. On the derivation of soil surface roughness from multi parametric PolSAR data and its potential for hydrological modeling. *Hydrology and Earth System Sciences*, 13(3): 381-394.
- Mascolo, L., Lopez-Sanchez, J.M., Vicente-Guijalba, F., Nunziata, F., Migliaccio, M. and Mazzarella, G. 2016. A complete procedure for crop phenology estimation with PolSAR data based on the complex Wishart classifier. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 54(11): 6505-6515.
- Mashaba-Munghemezulu, Z., Chirima, G.J. and Munghemezulu, C. 2021. Mapping smallholder maize farms using multi-temporal Sentinel-1 data in support of the Sustainable Development Goals. *Remote Sensing*, 13(9): 1666.
- McNairn, H. and Brisco, B. 2004. The application of C-band polarimetric SAR for agriculture: A review. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 30(3): 525-542.
- McNairn, H. and Jiao, X. 2018. SAR for Mapping Soils and Crops. <https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/session3-final.pdf> [Son erişim tarihi: 26.11.2021].
- McNairn, H., van der Sanden, J.J., Brown, R.J. and Ellis, J. 2000. The potential of RADARSAT-2 for crop mapping and assessing crop condition. Second International Conference on Geospatial Information in Agriculture and Forestry, pp. 81-88, 10-12 January, Lake Buena Vista, Florida.
- McNairn, H., Duguay, C., Boisvert, J., Huffman, E. and Brisco, B. 2001. Defining the sensitivity of multi-frequency and multi-polarized radar backscatter to post-harvest crop residue. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 27(3): 247-263.

- McNairn, H., Ellis, J., van der Sanden, J.J., Hirose, T. and Brown, R.J. 2002. Providing crop information using RADARSAT-1 and satellite optical imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 23(5): 851-870.
- McNairn, H., Champagne, C., Shang, J., Holmstrom, D. and Reichert, G. 2009a. Integration of optical and Synthetic Aperture Radar (SAR) imagery for delivering operational annual crop inventories. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(5): 434-449.
- McNairn, H., Shang, J., Jiao, X. and Champagne, C. 2009b. The contribution of ALOS PALSAR multipolarization and polarimetric data to crop classification. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47(12): 3981-3992.
- McNairn, H., Kross, A., Lapen, D., Caves, R. and Shang, J. 2014. Early season monitoring of corn and soybeans with TerraSAR-X and RADARSAT-2. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28: 252-259.
- Mehta, A. 2020. Satellites, sensors, and earth system models used for water resources management. <https://appliedsciences.nasa.gov/sites/default/files/Fund.of%20RS%20-%20Session2B-Water%20Resources.pdf> [Son erişim tarihi: 21.11.2021].
- Meroni, M., d'Andrimont, R., Vrieling, A., Fasneder, D., Lemoine, G., Rembold, F., Seguí, L. and Verhegghen, A. 2021. Comparing land surface phenology of major European crops as derived from SAR and multispectral data of Sentinel-1 and -2. *Remote Sensing of Environment*, 253: 112232.
- Mestre-Quereda, A., Lopez-Sanchez, J.M., Vicente-Guijalba, F., Jacob, A.W. and Engdahl, M.E. 2020. Time-series of Sentinel-1 interferometric coherence and backscatter for crop-type mapping. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 13: 4070-4084.
- Meyer, F. 2019. Spaceborne synthetic aperture radar: Principles, data access, and basic processing techniques. In: Flores-Anderson, A.I., Herndon, K.E., Thapa, R.B. and Cherrington, E. (Eds.), *The Synthetic Aperture Radar (SAR) Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation (First Edition)*. SERVIR Global, Published Electronically, pp. 20-63.
- MGM. 2020. Resmi İstatistikler. <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=A&m=ANTALYA> [Son erişim tarihi: 06.12.2020].
- Monsivais-Huertero, A. and Judge, J. 2018. Calibration of scattering models for growing corn and soybean at C-band using Sentinel-1 and RADARSAT-2 observations. *IGARSS 2018 – 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 2139-2141, 22-27 July, Valencia, Spain.
- Moran, M.S., Hymer, D.C., Qi, J. and Kerr, Y. 2002. Comparison of ERS-2 SAR and Landsat TM imagery for monitoring agricultural crop and soil conditions. *Remote Sensing of Environment*, 79(2-3): 243-252.

- Moran, M.S., Alonso, L., Moreno, J.F., Cendrero Mateo, M.P., de la Cruz, D.F. and Montoro, A. 2012. A RADARSAT-2 quad-polarized time series for monitoring crop and soil conditions in Barrax, Spain. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 50(4): 1057-1070.
- Nandibewoor, A., Hebbal, S.B. and Hegadi, R. 2015. Remote monitoring of maize crop through satellite multispectral imagery. International Conference on Advanced Computing Technologies and Applications (ICACTA-2015), pp. 344-353, 26-27 March, Mumbai, India.
- NASA. 2015. Cloudy Earth. <https://earthobservatory.nasa.gov/images/85843/cloudy-earth> [Son erişim tarihi: 25.09.2021].
- Nasirzadehdizaji, R., Balık Şanlı, F., Abdikan, S., Çakır, Z., Şekertekin, A. and Üstüner, M. 2019. Sensitivity analysis of multi-temporal Sentinel-1 SAR parameters to crop height and canopy coverage. *Applied Sciences*, 9(4): 655.
- Nasirzadehdizaji, R., Çakır, Z., Balık Şanlı, F., Abdikan, S., Pepe, A. and Calò, F. 2021. Sentinel-1 interferometric coherence and backscattering analysis for crop monitoring. *Computers and Electronics in Agriculture*, 185: 106118.
- NİK Sistem. 2021. Sentinel-2. http://nik.com.tr/content_sistem_uydu.asp?id=102 [Son erişim tarihi: 06.08.2021].
- Nuss, E.T. and Tanumihardjo, S.A. 2010. Maize: A paramount staple crop in the context of global nutrition. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(4): 417-436.
- Paloscia, S. 1998. An empirical approach to estimating leaf area index from multifrequency SAR data. *International Journal of Remote Sensing*, 19(2): 359-364.
- Pandžić, M., Ljubičić, N., Mimić, G., Pandžić, J., Pejak, B. and Crnojević, V. 2020. A case study of monitoring maize dynamics in Serbia by utilizing Sentinel-1 data and growing degree days. XXIV ISPRS Congress, Commission III (2020 edition), pp. 117-124, 31 August-2 September, Nice, France.
- Paris, J.F. 1983. Radar backscattering properties of corn and soybeans at frequencies of 1.6, 4.75, and 13.3 GHz. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-21(3): 392-400.
- Park, J.-W., Korosov, A.A., Babiker, M., Sandven, S. and Won, J.-S. 2018. Efficient thermal noise removal for Sentinel-1 TOPSAR cross-polarization channel. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 56(3): 1555-1565.
- Pathe, C. 2017a. Hydrosphere – Introduction. https://eo-college.org/resource/hydrosphere_introduction/ [Son erişim tarihi: 27.11.2021].
- Pathe, C. 2017b. Hydrosphere – Soil Moisture. https://eo-college.org/resource/soil_moisture/ [Son erişim tarihi: 27.11.2021].
- Portnoi, M.D. 2017. Methods for sugarcane harvest detection using polarimetric SAR. MA Thesis, Stellenbosch University, Stellenbosch, 129 p.
- Riedel, T. and Eckardt, R. 2017. Biosphere – Agricultural Applications with SAR Data. <https://eo-college.org/resource/agriculture/> [Son erişim tarihi: 27.11.2021].

- Rocca, F., Prati, C. and Ferretti A. 2014. An overview of SAR interferometry. <https://earth.esa.int/workshops/ers97/program-details/speeches/rocca-et-al/> [Son erişim tarihi: 09.11.2021].
- Rossi, C. and Erten, E. 2015. Paddy-rice monitoring using TanDEM-X. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 53(2): 900-910.
- Rouse, J.W., Haas, R.H., Schell, J.A. and Deering, D.W. 1974. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. <https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614> [Son erişim tarihi: 21.11.2021].
- Saatchi, S. 2019. SAR methods for mapping and monitoring forest biomass. In: Flores-Anderson, A.I., Herndon, K.E., Thapa, R.B. and Cherrington, E. (Eds.), *The Synthetic Aperture Radar (SAR) Handbook: Comprehensive Methodologies for Forest Monitoring and Biomass Estimation (First Edition)*. SERVIR Global, Published Electronically, pp. 206-253.
- Salepci, N., Eckardt, R. and Richter, N. 2017. Speckle filtering: Basics, concepts & techniques. <https://eo-college.org/resource/speckle/> [Son erişim tarihi: 07.11.2021].
- Salepci, N., Tello-Alonso, M. and Cazcarra-Bes, V. 2018. SAR Tomography: Basics, Concepts & Techniques. <https://eo-college.org/resource/sar-tomography/> [Son erişim tarihi: 27.11.2021].
- Santoro, M., Askne, J., Smith, G. and Fransson, J.E.S. 2002. Stem volume retrieval in boreal forests from ERS-1/2 interferometry. *Remote Sensing of Environment*, 81(1): 19-35.
- Santoro, M., Wegmüller, U. and Askne, J.I.H. 2010. Signatures of ERS-Envisat interferometric SAR coherence and phase of short vegetation: An analysis in the case of maize fields. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(4): 1702-1713.
- Selvaraj, S., Haldar, D. and Danodia, A. 2019. Time series Sentinel-1A profile analysis for heterogeneous Kharif crops discrimination in North India. URSI AP-RASC 2019, pp. 1-4, 9-15 March, New Delhi, India.
- SEOS. 2021a. Bitkilerin Spektral İmzaları: Bitkilerin yansıma imzaları. <https://seos-project.eu/agriculture/agriculture-c01-s01.tr.html> [Son erişim tarihi: 28.10.2021].
- SEOS. 2021b. Bitki Durumunu Gözlemlemek: Bitkilerin yansıma değerlerini etkileyen faktörler. <https://seos-project.eu/agriculture/agriculture-c01-p01.tr.html> [Son erişim tarihi: 28.10.2021].
- SEOS. 2021c. Bitki Örtüsü İndeksleri: Toprak Çizgisi. <https://seos-project.eu/agriculture/agriculture-c01-s04.tr.html> [Son erişim tarihi: 28.10.2021].
- Serna-Saldivar, S.O. 2019. Preface. In: Serna-Saldivar, S.O. (Ed.), *Corn: Chemistry and Technology (Third Edition)*. Woodhead Publishing and AACC International Press, pp. xv-xvi.
- Serna-Saldivar, S.O. and Pérez-Carrillo, E. 2019. Food uses of whole corn and dry-milled fractions. In: Serna-Saldivar, S.O. (Ed.), *Corn: Chemistry and Technology (Third Edition)*. Woodhead Publishing and AACC International Press, pp. 435-467.

- Shang, J., McNairn, H., Champagne, C. and Jiao, X. 2009. Application of multi-frequency Synthetic Aperture Radar (SAR) in crop classification. In: Jedlovec, G. (Ed.), *Advances in Geoscience and Remote Sensing*. InTech, pp. 557-568.
- She, B., Yang, Y., Zhao, Z., Huang, L., Liang, D. and Zhang, D. 2020. Identification and mapping of soybean and maize crops based on Sentinel-2 data. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 13(6): 171-182.
- Shuai, G., Zhang, J., Basso, B., Pan, Y., Zhu, X., Zhu, S. and Liu, H. 2019. Multi-temporal RADARSAT-2 polarimetric SAR for maize mapping supported by segmentations from high-resolution optical image. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 74: 1-15.
- Small, D. 2011. Flattening gamma: Radiometric terrain correction for SAR imagery. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 49(8): 3081-3093.
- Small, D. and Schubert, A. 2008. Guide to ASAR Geocoding. https://www.geo.uzh.ch/microsite/rsl-documents/research/publications/other-sci-communications/2008_RSL-ASAR-GC-AD-v101-0335607552/2008_RSL-ASAR-GC-AD-v101.pdf [Son erişim tarihi: 08.11.2021].
- Small, D. and Schubert, A. 2019. Guide to Sentinel-1 Geocoding. <https://sentinel.esa.int/documents/247904/1653442/Guide-to-Sentinel-1-Geocoding.pdf> [Son erişim tarihi: 08.11.2021].
- Sonobe, R., Yamaya, Y., Tani, H., Wang, X., Kobayashi, N. and Mochizuki, K.-I. 2017. Assessing the suitability of data from Sentinel-1A and 2A for crop classification. *GIScience & Remote Sensing*, 54(6): 918-938.
- Soria-Ruiz, J., McNairn, H., Fernandez-Ordóñez, Y. and Bugden-Storie, J. 2007. Corn monitoring and crop yield using optical and RADARSAT-2 images. 2007 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), pp. 3655-3658, 23-28 July, Barcelona, Spain.
- Soria-Ruiz, J., Fernandez-Ordóñez, Y. and McNairn, H. 2009. Corn monitoring and crop yield using optical and microwave remote sensing. In: Ho, P.-G.P. (Ed.), *Geoscience and Remote Sensing*. InTech, pp. 405-420.
- Srivastava, H.S., Patel, P. and Navalgund, R.R. 2006. Application potentials of synthetic aperture radar interferometry for land-cover mapping and crop-height estimation. *Current Science*, 91(6): 783-788.
- Steele-Dunne, S.C., McNairn, H., Monsivais-Huertero, A., Judge, J., Liu, P.-W. and Papathanassiou, K. 2017. Radar remote sensing of agricultural canopies: A review. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(5): 2249-2273.
- Steele-Dunne, S.C., Khabbazan, S., Vermunt, P.C., Ratering Arntz, L., Marinetti, C., Iannini, L., Westerdijk, K. and van der Sande, C. 2018. Monitoring key agricultural crops in the Netherlands using Sentinel-1. IGARSS 2018 – 2018 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, pp. 6639-6642, 22-27 July, Valencia, Spain.

- Su, W., Sun, Z., Chen, W.-H., Zhang, X., Yao, C., Wu, J., Huang, J. and Zhu, D. 2019. Joint retrieval of growing season corn canopy LAI and leaf chlorophyll content by fusing Sentinel-2 and MODIS images. *Remote Sensing*, 11(20): 2409.
- Sukawattanavijit, C., Chen, J. and Zhang, H. 2017. GA-SVM algorithm for improving land-cover classification using SAR and optical remote sensing data. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 14(3): 284-288.
- Sun, L., Chen, J., Guo, S., Deng, X. and Han, Y. 2020. Integration of time series Sentinel-1 and Sentinel-2 imagery for crop type mapping over oasis agricultural areas. *Remote Sensing*, 12(1): 158.
- Sun, L., Gao, F., Xie, D., Anderson, M., Chen, R., Yang, Y., Yang, Y. and Chen, Z. 2021. Reconstructing daily 30 m NDVI over complex agricultural landscapes using a crop reference curve approach. *Remote Sensing of Environment*, 253: 112156.
- TEPGE. 2021a. Mısır, Ocak-2021, Tarım Ürünleri Piyasa Raporu. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2021-Ocak%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/M%C4%B1s%C4%B1r,Ocak-2021,%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasa%20Raporu.pdf> [Son erişim tarihi: 30.08.2021].
- TEPGE. 2021b. Mısır, Haziran-2021, Tarım Ürünleri Piyasa Raporu. <https://arastirma.tarimorman.gov.tr/tepge/Belgeler/PDF%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasalar%C4%B1/2021-Haziran%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Raporu/M%C4%B1s%C4%B1r,%20Haziran-2021,%20Tar%C4%B1m%20%C3%9Cr%C3%BCnleri%20Piyasa%20Raporu,%20TEPGE.pdf> [Son erişim tarihi: 24.08.2021].
- Tian, F., Wu, B., Zeng, H., Zhang, X. and Xu, J. 2019. Efficient identification of corn cultivation area with multitemporal synthetic aperture radar and optical images in the Google Earth Engine Cloud Platform. *Remote Sensing*, 11(6): 629.
- TMMOB ZMO. 2016. Mısır Raporu (2016). https://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=26263 [Son erişim tarihi: 30.08.2021].
- TMMOB ZMO. 2020a. Mısır Raporu – 2020. https://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=32780 [Son erişim tarihi: 10.12.2020].
- TMMOB ZMO. 2020b. Mısır Raporu – 2020. https://www.zmo.org.tr/genel/bizden_detay.php?kod=32782 [Son erişim tarihi: 24.08.2021].
- TRE ALTAMIRA. 2021. InSAR at a glance. <https://site.tre-altamira.com/insar/> [Son erişim tarihi: 06.07.2021].
- Tunca, E. 2015. Silajlık mısırın verim tahmininde uydu görüntülerinden elde edilen vejetasyon ve bitki su tüketimi verilerinin kullanılmasının değerlendirilmesi. Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi, Samsun, 45 s.

- Tüfekçi, Ş. 2019. Mısır Raporu – 2019. <https://ereglitb.org.tr/wp-content/uploads/2019/10/MISIR-RAPORU-2019.pdf> [Son erişim tarihi: 26.08.2021].
- TÜİK. 2020. Bitkisel Üretim İstatistikleri, 2020. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Bitkisel-Uretim-Istatistikleri-2020-33737> [Son erişim tarihi: 08.09.2021].
- TÜİK. 2021. Bitkisel Ürün Denge Tabloları, 2019-2020. <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Crop-Products-Balance-Sheets-2019-2020-37246> [Son erişim tarihi: 30.08.2021].
- Ulaby, F. 1975. Radar response to vegetation. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 23(1): 36-45.
- Ulaby, F., Bush, T. and Batlivala, P. 1975. Radar response to vegetation II: 8-18 GHz band. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, 23(5): 608-618.
- Ulaby, F.T., Allen, C.T., Eger, G. and Kanemasu, E. 1984. Relating the microwave backscattering coefficient to leaf area index. *Remote Sensing of Environment*, 14(1-3): 113-133.
- USDA. 2021a. Corn Map Explorer. <https://ipad.fas.usda.gov/cropexplorer/cropview/commodityView.aspx?cropid=0440000> [Son erişim tarihi: 30.08.2021].
- USDA. 2021b. Country Summary: Turkey – Corn. <https://ipad.fas.usda.gov/countrysummary/Default.aspx?id=TU&crop=Corn> [Son erişim tarihi: 02.09.2021].
- Useya, J. and Chen, S. 2019. Exploring the potential of mapping cropping patterns on smallholder scale croplands using Sentinel-1 SAR data. *Chinese Geographical Science*, 29(4): 626-639.
- Üstüner, M. ve Balık Şanlı, F. 2020. Çok zamanlı polarimetrik SAR verileri ile tarımsal ürünlerin sınıflandırılması. *Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi*, 7(1): 1-10.
- Valcarce-Diñeiro, R., Arias-Pérez, B., Lopez-Sanchez, J.M. and Sánchez, N. 2019. Multi-temporal dual- and quad-polarimetric synthetic aperture radar data for crop-type mapping. *Remote Sensing*, 11(13): 1518.
- Veloso, A., Mermoz, S., Bouvet, A., Le Toan, T., Planells, M., Dejoux, J.-F. and Ceschia, E. 2017. Understanding the temporal behavior of crops using Sentinel-1 and Sentinel-2-like data for agricultural applications. *Remote Sensing of Environment*, 199: 415-426.
- Venancio, L.P., Filgueiras, R., da Cunha, F.F., dos Santos Silva, F.C., dos Santos, R.A. and Mantovani, E.C. 2020. Mapping of corn phenological stages using NDVI from OLI and MODIS sensors. *Semina: Ciências Agrárias*, 41(5): 1517-1534.
- Venkatesan, M., Pazhanivelan, S. and Sudarmanian, N.S. 2019. Multi-temporal feature extraction for precise maize area mapping using time-series Sentinel 1A SAR data. ISPRS-GEOGLAM-ISRS Joint International Workshop on “Earth Observations for Agricultural Monitoring”, pp. 169-173, 18-20 February, New Delhi, India.

- Verma, A., Kumar, A. and Lal, K. 2019. Kharif crop characterization using combination of SAR and MSI optical Sentinel satellite datasets. *Journal of Earth System Science*, 128(8): 230.
- Vreugdenhil, M., Wagner, W., Bauer-Marschallinger, B., Pfeil, I., Teubner, I., Rüdiger, C. and Strauss, P. 2018. Sensitivity of Sentinel-1 backscatter to vegetation dynamics: An Austrian case study. *Remote Sensing*, 10(9): 1396.
- Walter, D. 2017. Anthroposphere – SAR Interferometry. <https://eo-college.org/resource/anthrophosphere/> [Son erişim tarihi: 14.12.2021].
- Wegmüller, U. and Werner, C. 1997. Retrieval of vegetation parameters with SAR interferometry. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 35(1): 18-24.
- Weiss, M. and Baret, F. 2016. S2ToolBox Level 2 products: LAI, FAPAR, FCOVER. https://step.esa.int/docs/extra/ATBD_S2ToolBox_L2B_V1.1.pdf [Son erişim tarihi: 26.11.2021].
- Wiseman, G., McNairn, H., Homayouni, S. and Shang, J. 2014. RADARSAT-2 polarimetric SAR response to crop biomass for agricultural production monitoring. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 7(11): 4461-4471.
- Woodhouse, I.H. 2006. Introduction to Microwave Remote Sensing. CRC Press, Boca Raton, FL, 400 p.
- Xie, Q., Wang, J., Lopez-Sanchez, J.M., Peng, X., Liao, C., Shang, J., Zhu, J., Fu, H., Ballester-Berman, J.D. 2021. Crop height estimation of corn from multi-year RADARSAT-2 polarimetric observables using machine learning. *Remote Sensing*, 13(3): 392.
- Xu, L., Zhang, H., Wang, C., Zhang, B. and Liu, M. 2019. Crop classification based on temporal information using Sentinel-1 SAR time-series data. *Remote Sensing*, 11(1): 53.
- Yomralıoğlu, T. 2005. Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar (3. Baskı). İber Ofset, Trabzon, 480 s.
- Yuan, J., Lv, X. and Li, R. 2018. A speckle filtering method based on hypothesis testing for time-series SAR images. *Remote Sensing*, 10(9): 1383.
- Yüzügüllü, O., Erten, E. and Hajnsek, I. 2017. Estimation of rice crop height from X- and C-band PolSAR by metamodel-based optimization. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(1): 194-204.
- Yüzügüllü, O., Erten, E. and Hajnsek, I. 2018. Assessment of paddy rice height: Sequential inversion of coherent and incoherent models. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 11(9): 3001-3013.
- Zhang, W., Yan, T. and You, S. 2009. Analysis of advantage on radar remote sensing for agricultural applications. <https://www.geospatialworld.net/article/analysis-of-advantage-on-radar-remote-sensing-for-agricultural-application> [Son erişim tarihi: 21.03.2021].

- Zhang, L., Li, X., Du, H., Ma, H. and Guo, H. 2010. Coherent polarimetric SAR simulation of maize. *Journal of Remote Sensing*, 14(4): 621-636.
- Zhang, F., Zhou, G. and Nilsson, C. 2015. Remote estimation of the fraction of absorbed photosynthetically active radiation for a maize canopy in Northeast China. *Journal of Plant Ecology*, 8(4): 429-435.
- Zhang, M., Su, W., Fu, Y., Zhu, D., Xue, J.-H., Huang, J., Wang, W., Wu, J. and Yao, C. 2019. Super-resolution enhancement of Sentinel-2 image for retrieving LAI and chlorophyll content of summer corn. *European Journal of Agronomy*, 111: 125938.
- Zhang, L., Lv, X., Chen, Q., Sun, G. and Yao, J. 2020. Estimation of surface soil moisture during corn growth stage from SAR and optical data using a combined scattering model. *Remote Sensing*, 12(11): 1844.
- Zribi, M., Gorraeb, A., Baghdadi, N., Lili-Chabaane, Z. and Mougenot, B. 2014. Influence of radar frequency on the relationship between bare surface soil moisture vertical profile and radar backscatter. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(4): 848-852.

ÖZGEÇMİŞ

İBRAHİM ARSLAN

ÖĞRENİM BİLGİLERİ

Yüksek Lisans 2017-2022	Akdeniz Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Bölümü, Antalya
Lisans 2013-2017	Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, Çanakkale