

**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKTİF MİKRODALGA UYDU GÖRÜNTÜ VERİLERİ KULLANILARAK TOPRAK  
NEMİNİN BELİRLENMESİ**

**GEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**ALİİHSAN ŞEKERTEKİN**

**NİSAN 2018**

**BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AKTİF MİKRODALGA UYDU GÖRÜNTÜ VERİLERİ KULLANILARAK TOPRAK  
NEMİNİN BELİRLENMESİ**

**GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DOKTORA TEZİ**

**Alihsan ŞEKERTEKİN**

**DANIŞMAN : Dr. Öğr. Üyesi Aycan Murat MARANGOZ**

**İKİNCİ DANIŞMAN : Dr. Öğr. Üyesi Saygın ABDİKAN**

**ZONGULDAK**

**Nisan 2018**

**KABUL:**

Aliihsan ŞEKERTEKİN tarafından hazırlanan “Aktif Mikrodalga Uydu Görüntü Verileri Kullanılarak Toprak Neminin Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 16/04/2018

**Danışman:** Dr. Öğr. Üyesi Aycan Murat MARANGOZ



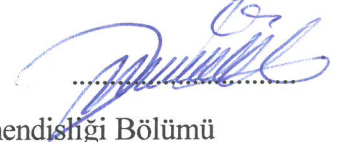
Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü

**Üye:** Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU



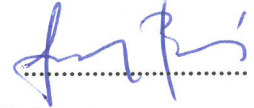
Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü

**Üye:** Prof. Dr. Şinasi KAYA



İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü

**Üye:** Doç. Dr. Füsün BALIK ŞANLI



Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü

**Üye:** Dr. Öğr. Üyesi Hüseyin KEMALDERE



Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü

---

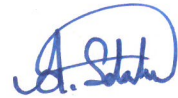
**ONAY:**

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım. ..../..../2018



Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

*“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”*



Alihsan ŞEKERTEKİN

## ÖZET

Doktora Tezi

### AKTİF MİKRODALGA UYDU GÖRÜNTÜ VERİLERİ KULLANILARAK TOPRAK NEMİNİN BELİRLENMESİ

Alihsan ŞEKERTEKİN

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Aycan Murat MARANGOZ

İkinci Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Saygın ABDİKAN

Nisan 2018, 131 sayfa

Toprak nemi, atmosfer ve dünya yüzeyi arasındaki etkileşimi tanımlayan ve dünya enerji döngüsünü kontrol eden önemli bir parametredir. Bu çalışmanın temel amacı, Advanced Land Observing Satellite 2 (ALOS-2) ve Sentinel-1A Yapay Açıklıklı Radar (SAR: Synthetic Aperture Radar) uydu görüntülerini kullanarak bitki örtüsü olan ve olmayan doğal nem döngüsündeki tarlalarda, toprak nemi tahminlerinin yapılması ve toprak nemi haritalarının oluşturulmasıdır.

Çalışma kapsamında; 22 Nisan, 12 Haziran 2016 tarihlerinde alınan iki adet ALOS-2 ve 18-24 Nisan, 11 Haziran 2016 tarihlerinde alınan üç adet Sentinel-1A SAR veri seti toprak nemi tahmini için kullanılmıştır. Ayrıca, Sentinel-2A optik uydusuna ait iki veri setinden Normalize Fark Bitki İndeksi (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) görüntüleri oluşturularak, model tabanlı yaklaşımlarda ve maskeleme işlemlerinde yararlanılmıştır. Çalışma alanı olarak İzmir'in Bergama ilçesine ait Bakırçay Nehri'nin geçtiği bir tarım bölgesi seçilmiştir.

## ÖZET (devam ediyor)

Bölgede en verimli tarım arazilerini, Bakırçay Nehri'nin taşıdığı ve biriktirdiği alüvyonlar oluşturmaktadır. İlçede özellikle tütün, pamuk, domates, bamya, zeytin ve üzüm başlıca yetiştirilen ürünlerdir.

Çalışmada, SAR verileri ile toprak nemini tahmin edebilmek için kullanılan model tabanlı yaklaşımların yanı sıra deneysel modeller geliştirilmiştir. Arazi çalışmalarında, toprak nemi ölçümleri gravimetrik yöntemle belirlenmiştir. Öncelikle, SAR geri saçılımı ve toprak nemi ilişkisi incelenmiş ve tüm tarlalar baz alındığında aradaki ilişkinin çok düşük olduğu belirlenmiştir. Grafiklerde eğilimi bozan toprak nemi değerleri çıkarıldığında, aradaki ilişkinin oldukça yükseldiği belirlenmiştir. 22 Nisan 2016'da alınan ALOS-2 verisi için en yüksek ilişki, HH polarizasyonda elde edilmiştir. 18 Nisan ve 24 Nisan tarihlerinde alınan Sentinel-1A verilerinde ise en yüksek ilişki, VV polarizasyonunda elde edilmiştir. Haziran verileri dikkate alındığında, toprak nemi ve geri saçılım arasındaki en yüksek ilişki ALOS-2 için HV polarizasyonunda, Sentinel-1A için ise VV polarizasyonunda belirlenmiştir. SAR verileri ile toprak nemi tahmininde sıkça kullanılan yarı deneysel modellerden olan Dubois ve Oh modelleri de analiz edilmiş ancak tatmin edici sonuçlar elde edilmemiştir. Bu nedenle, deneysel model geliştirme çalışmalarına başlanmıştır.

Deneysel model geliştirebilmek amacıyla çok değişkenli doğrusal regresyon analizi kullanılarak aşamalı (stepwise) yöntem esas alınmıştır. Nisan verileri için dielektrik katsayısının olduğu durumlarda 24 Nisan tarihli Sentinel-1A için üretilen model, %99 korelasyon katsayısı ( $R^2$ ) ve 0.35 standart sapma ( $\sigma$  (%)) ile en iyi sonuçları sunmuştur. Dielektrik katsayısının olmadığı durumda ise 22 Nisan tarihli ALOS-2 için üretilen model %82  $R^2$  ve 2.37  $\sigma$  (%) ile en iyi sonuçları sunmuştur. Haziran veri seti için, dielektrik katsayısının olduğu veya olmadığı her iki durumda da sırasıyla %98  $R^2$  ve 1.30  $\sigma$  (%), %69  $R^2$  ve 4.90  $\sigma$  (%) ile ALOS-2 verisi daha iyi sonuçlar sunmuştur.

Bitki örtülü alanlarda, toprak nemi tahmininde Water Cloud Model (WCM) kullanılmıştır. WCM analizleri sonucunda, hem ALOS-2 hem de Sentinel-1A verileri için en iyi sonuçlar bitki kaplama alanının kullanıldığı durumlarda elde edilmiştir. ALOS-2 verisinde HV geri saçılımının toprak nemi ile olan korelasyon katsayısı %68'den %73'e yükselmiştir.

## ÖZET (devam ediyor)

Sentinel-1A verisinde ise VV geri saçılımının toprak nemi ile olan korelasyon katsayısı %54'ten %64'e yükselmiştir.

Çalışmanın son aşaması olarak toprak nemi haritaları oluşturulmuştur. 22 Nisan 2016 tarihli ALOS-2 verisinden üretilen toprak nemi haritasının Karesel Ortalama Hata (KOH) değeri %4.43 olarak belirlenmiştir. 24 Nisan 2016 tarihli Sentinel-1A verisinden üretilen toprak nemi haritasının KOH değeri ise %2.73 olarak hesaplanmıştır. Haziran veri setleri için üretilen toprak nemi haritaları, WCM analizlerinin ters çözümü ile elde edilmiştir. 12 Haziran 2016 tarihli ALOS-2 verisinden üretilen toprak nemi haritasının KOH değeri %15.13 olarak belirlenmiştir. 11 Haziran 2016 tarihli Sentinel-1A verisinden üretilen toprak nemi haritasının KOH değeri ise %9.01 olarak hesaplanmıştır.

Elde edilen sonuçlar göz önüne alındığında, SAR verileri ile toprak nemi tahmininde hem L-bant hem de C-bantta etkili sonuçlar alındığı belirlenmiştir. Sentinel-1 uydu verilerinin ücretsiz olarak alınabilmesi, ALOS-2 uydu verilerine göre avantaj olarak düşünülebilir. Ancak, toprağın farklı yüzey derinliklerinde yapılacak olan çalışmalarda, L-bant görüntülerinin dikkate alınması daha anlamlı sonuçlar sunacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Sentetik Açıklıklı Radar (SAR), Toprak Nemi, ALOS-2, Sentinel-1A, Water Cloud Model (WCM)

**Bilim Kodu:** 616.02.04





## **ABSTRACT**

**Ph. D. Thesis**

### **ESTIMATION OF SOIL MOISTURE USING ACTIVE MICROWAVE SATELLITE IMAGE DATA**

**Alihsan ŞEKERTEKİN**

**B¼lent Ecevit University**

**Graduate School of Natural and Applied Sciences**

**Department of Geomatics Engineering**

**Thesis Advisor: Assist. Prof. Dr. Aycan Murat MARANGOZ**

**Co-Advisor: Assist. Prof. Dr. Saygın ABDİKAN**

**April 2018, 131 pages**

Soil moisture describes the interaction between Earth surface and atmosphere, and it is an important parameter that controls the world's energy cycle. The main objective of this study is to estimate soil moisture using Advanced Land Observing Satellite 2 (ALOS-2) and Sentinel-1A SAR satellite imagery in vegetated and non-vegetated fields during natural moisture cycle, and to generate soil moisture maps of the study area.

ALOS-2 and Sentinel-1A Synthetic Aperture Radar (SAR) data sets acquired on April and June 2016 were used to estimate soil moisture within the scope of the study. In addition, Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) images were generated from two data sets of Sentinel-2A, and were used in model-based approaches and masking operations. As study area, an agricultural region of Bakırçay River belonging to the Bergama district of İzmir was chosen.

## ABSTRACT (continued)

Alluviums that the Bakırçay River carries and accumulates form the most fertile agricultural land in the region. Tobacco, cotton, tomato, okra, olive and grape are mainly grown products in the region.

In this study, model-based approaches for estimating soil moisture using SAR data were utilized, and empirical models were developed. The soil moisture measurements were determined by gravimetric method in field studies. Firstly, SAR backscatter and soil moisture relationship were investigated and it was seen that the relation between these two variables was very low. It was determined that when the values of soil moistures that distort the tendency in the graphs were subtracted, the relation between them was highly increased. The highest correlation for the ALOS-2 data received in April was obtained in HH polarization. For Sentinel-1A data obtained on April 18 and April 24, the highest correlation was obtained in VV polarization. Considering the data in June, the highest relationship between soil moisture and backscatter was determined in HV polarization for ALOS-2 and VV polarization for Sentinel-1A. The semi-experimental Dubois and Oh models, commonly used in estimating soil moisture via SAR data, were also analysed but satisfactory results were not obtained. For this reason, empirical model development studies have begun.

In order to develop empirical models, a stepwise method, based on multivariate linear regression analysis, was utilized. In the presence of the dielectric constant, the model produced for Sentinel-1A on April 24 offered the best results with 99%  $R^2$  and 0.35  $\sigma$  (%). In the absence of the dielectric constant, the model produced for the ALOS-2 on April 22 offered the best results with 82%  $R^2$  and 2.37  $\sigma$  (%). For the June dataset, the ALOS-2 data provided better results with 98%  $R^2$  and 1.30  $\sigma$  (%), 69%  $R^2$  and 4.90  $\sigma$  (%), respectively, with or without dielectric constant.

Water Cloud Model (WCM) was used to estimate soil moisture in vegetated areas. As a result of the WCM analyses, the best results for both ALOS-2 and Sentinel-1A data were obtained when the plant coverage was used. In ALOS-2 data, the correlation coefficient of HV backscatter with soil moisture increased from 68% to 73%. In Sentinel-1A data, the correlation coefficient of VV backscatter with soil moisture increased from 54% to 64%.

## **ABSTRACT (continued)**

As the last step of study, soil moisture maps were generated. Root Mean Square Error (RMSE) value of the soil moisture map generated from the ALOS-2 data acquired on April 22, 2016 was 4.43%. The RMSE value of the soil moisture map generated from the Sentinel-1A data acquired on April 24, 2016 was calculated to be 2.73%. Soil map generated for the June data sets were obtained with the inverse solution of the WCM analyses.

The RMSE value of the soil moisture map generated from the ALOS-2 data acquired on 12 June 2016 was determined as 15.13%. The RMSE value of the soil moisture map generated from the Sentinel-1A data acquired on June 11, 2016 was calculated as 9.01%.

Considering the obtained results, it was determined that SAR data in both L-band and C-band are effective to estimate soil moisture. Compared to ALOS-2 satellite data, Sentinel-1 satellite data can be obtained free of charge and this is an advantage; however, studies with different depths of soil moisture may require consideration of L-band images.

**Keywords:** Synthetic Aperture Radar (SAR), Soil moisture, ALOS-2, Sentinel-1A, Water Cloud Model (WCM)

**Science Code:** 616.02.04



## TEŞEKKÜR

Doktora tezi danışmanlığımı üstlenerek, bu çalışmanın tamamlanabilmesi için bilgi ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Sayın Yrd. Doç. Dr. Aycan Murat MARANGOZ'a teşekkürlerimi sunarım.

Doktora çalışmalarım boyunca, değerli bilgileri ile beni yönlendiren ve tezin eş danışmanlığını üstlenerek çalışmanın tamamlanması için beni sürekli olarak cesaretlendirerek destekleyen Sayın Hocam Yrd. Doç. Dr. Saygın ABDİKAN'a çok teşekkür ederim.

Doktora çalışması boyunca, Tez İzleme Komitesi (TİK) toplantılarında bilgi ve tecrübeleri ile tezin gelişmesine fayda sağlayan hocalarım, Sayın Prof. Dr. Şenol Hakan KUTOĞLU'na ve Sayın Prof. Dr. Şinasi KAYA 'ya teşekkür ederim.

Doktora çalışmasının başlangıç aşamasından sonuna kadar her türlü bilgi ve tecrübelerini benimle paylaşan, özellikle arazi ve laboratuvar çalışmalarında her türlü desteği sağlayan Sayın Hocam Doç. Dr. Mustafa Tolga ESETLİLİ'ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Ayrıca, çalışma ile ilgili tecrübelerini bana aktaran Sayın Hocam Prof. Dr. Yusuf KURUCU'ya teşekkürü borç bilirim.

Çalışma konusu ile ilgili bir takım soru işaretlerinin giderilmesinde, tecrübeleri ile destek olan Prof. Dr. Mehrez ZRIBI (CESBIO/CNRS)'ye çok teşekkür ederim.

Arazi çalışmalarında yardımlarını esirgemeyen Değerli arkadaşım Arş. Gör. Samed İNYURT'a ve Ali CAM'a teşekkürü borç bilirim. Ayrıca, çalışmam süresince yardımlarını ve desteklerini esirgemeyen BEÜ Geomatik Mühendisliği Bölümü'nün tüm akademik ve idari çalışanlarına en içten teşekkürlerimi sunarım.

## TEŞEKKÜR (devam ediyor)

Hayatımın her döneminde sağlamış oldukları maddi ve manevi destekleri ile bugünlere gelmemde en büyük pay sahibi olan annem Saray ŞEKERTEKİN, babam Mürtalip ŞEKERTEKİN ve onlarla birlikte manevi desteklerini hiçbir zaman esirgemeyen kardeşlerim Elif ŞEKERTEKİN ve Oğuzhan ŞEKERTEKİN'e teşekkürü bir borç bilirim.

Hiç şüphe yok ki böyle bir çalışmanın ortaya çıkmasında bana her zaman güvenen, cesaret veren, arazi çalışmamda bile yanımda olarak çalışmamda büyük emeği olan, doktora çalışmalarım için hafta sonları da çalışmam dolayısıyla çok fazla zaman ayıramadığım Sevgili Eşim Yasemin YILDIZ ŞEKERTEKİN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

|   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| KABUL .....   | ii           |
| ÖZET.....   | iii          |
| ABSTRACT .....  | vii          |
| TEŞEKKÜR .....  | xi           |
| İÇİNDEKİLER.....  | xiii         |
| ŞEKİLLER DİZİNİ.....  | xviii        |
| ÇİZELGELER DİZİNİ .....   | xxii         |
| SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....                               | xxv          |
| <br>  |              |
| BÖLÜM 1 GİRİŞ.....  | 1            |
| <br>  |              |
| BÖLÜM 2 RADAR GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ.....                         | 11           |
| <br>  |              |
| 2.1 DÜZLEMSEL GÖSTERGELİ RADAR (PPI) GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ ..... | 12           |
| 2.2 YAN BAKIŞLI RADAR (SLAR) GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ .....         | 12           |
| 2.2.1 Gerçek Açıklıklı Radar (RAR) .....                          | 12           |
| 2.2.2 Yapay Açıklıklı Radar (SAR) .....                           | 15           |
| 2.3 SAR GÖRÜNTÜLERİNİN ÖZELLİKLERİ.....                           | 16           |
| 2.3.1 Dalga Boyu .....  | 16           |
| 2.3.2 Polarizasyon .....  | 17           |
| 2.3.3 Yüzey Pürüzlülüğü.....                                      | 19           |
| 2.3.4 Eğim (Geliş) Açısı Etkisi .....                             | 20           |
| 2.3.5 Nem İçeriği .....   | 20           |
| 2.4 SAR GÖRÜNTÜLERİNDE GEOMETRİK HATALAR .....                    | 20           |
| 2.4.1 Kısa Görüntüleme .....                                      | 21           |
| 2.4.2 Ters Görüntüleme .....                                      | 21           |

## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| 2.4.3 Gölge.....   | 22           |
| BÖLÜM 3 TOPRAK NEMİ .....  | 23           |
| 3.1 TOPRAK NEMİ BİLGİSİNİN ÖNEMİ .....   | 23           |
| 3.2 TOPRAKTAKİ SU İÇERİĞİNİN YERSEL YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ .....                       | 23           |
| 3.2.1 Gravimetrik Yöntem (Termostat-Ağırlıklı Teknik).....                                 | 24           |
| 3.2.2 Nötron Metre Teknolojisi .....   | 24           |
| 3.2.3 Zaman Alanlı Reflektometri (TDR: Time-Domain Reflectometer) .....                    | 25           |
| 3.2.4 Direnç ve Frekans Alanlı Reflektometri (FDR: Frequency Domain Reflectometry).....    | 25           |
| 3.2.5 Tansiyometrelerin (Gerilimölçer) Kullanımı .....                                     | 26           |
| 3.2.6 Gama Işını Zayıflatma (Gamma Ray Attenuation).....                                   | 26           |
| 3.2.7 Kapasitif Sensörlerin Kullanımı .....  | 27           |
| 3.2.8 Alçı Blok Ölçümü (Gypsum Block Measurement) .....                                    | 27           |
| 3.2.9 Basınç Plakası Yöntemi (Pressure Plate Method) .....                                 | 27           |
| BÖLÜM 4 SAR VERİLERİ KULLANARAK TOPRAK NEMİ TAHMİNİ .....                                  | 29           |
| 4.1 SAR VERİLERİ İLE TOPRAK NEMİ TAHMİNİNDE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR.....                    | 30           |
| 4.2 SAR VERİLERİNE GETİRİLEN RADYOMETRİK DÜZELTMELER (STANDART GERİ SAÇILIM TÜRLERİ) ..... | 31           |
| 4.2.1 Beta-nought ( $\beta^0$ ).....   | 31           |
| 4.2.2 Sigma-nought ( $\sigma^0$ ).....   | 31           |
| 4.2.3 Gamma-nought ( $\gamma^0$ ).....   | 32           |
| 4.3 SAR VERİLERİ İLE TOPRAK NEMİ TAHMİNİNDE KULLANILAN MODELLER                            | 32           |
| 4.3.1 Geri saçılım Modelleri Kullanarak Toprak Nemi Tahmini .....                          | 32           |
| 4.3.2 Diğer Model Tabanlı Yaklaşımlar .....  | 38           |
| 4.3.3 Değişim Belirleme Yaklaşımları Kullanarak Toprak Nemi Tahmini.....                   | 39           |
| 4.3.4 Polarimetrik Parametreler Kullanarak Toprak Nemi Tahmini .....                       | 39           |
| 4.4 SIK KULLANILAN GERİ SAÇILIM MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI .....                       | 40           |



## İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

|  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| BÖLÜM 5 UYGULAMA .....   | 43           |
| 5.1 ÇALIŞMA ALANI VE ÖZELLİKLERİ .....                             | 43           |
| 5.2 MATERYAL .....   | 46           |
| 5.2.1 ALOS-2 (DAICHI-2) Uydusu .....                               | 47           |
| 5.2.2 SENTINEL-1A Uydusu .....                                     | 48           |
| 5.2.3 SENTINEL-2A Uydusu .....                                     | 49           |
| 5.2.4 Arazi Çalışmalarında Kullanılan Ekipmanlar .....             | 50           |
| 5.3 YÖNTEM .....   | 52           |
| 5.3.1 Toprak Özellikleri ve Toprak Neminin Belirlenmesi .....      | 52           |
| 5.3.2 Toprak Pürüzlülüğünün (s) Belirlenmesi .....                 | 54           |
| 5.3.3 Bitki Kaplama Alanının (BKA) Belirlenmesi .....              | 55           |
| 5.3.4 Dielektrik Katsayısının ( $\epsilon$ ) Belirlenmesi .....    | 56           |
| 5.3.5 Uydu Görüntülerinin İşlenmesi .....                          | 57           |
| BÖLÜM 6 BULGULAR .....   | 63           |
| 6.1 SAR GERİ SAÇILIMINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ ..... | 71           |
| 6.1.1 SAR Geri Saçılımı ve Toprak Nemi İlişkisi .....              | 72           |
| 6.1.2 SAR Geri Saçılımı ve Lokal Geliş Açısı İlişkisi .....        | 77           |
| 6.1.3 SAR Geri Saçılımı ve Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi .....        | 79           |
| 6.1.4 SAR Geri Saçılımı ve Dielektrik Katsayısı İlişkisi .....     | 83           |
| 6.2 TOPRAK NEMİ TAHMİNİNDE MODEL TABANLI YAKLAŞIMLAR .....         | 85           |
| 6.2.1 Dubois İvers Çözümü .....                                    | 85           |
| 6.2.2 Oh İvers Çözümü .....  | 88           |
| 6.3 DENEYSEL MODEL GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI .....                    | 88           |
| <b>İÇİNDEKİLER (devam ediyor)</b>                                  |              |
| 6.4 WCM ANALİZLERİ .....   | 100          |
| 6.5 TOPRAK NEMİNİN HARİTALANMASI .....                             | 109          |
| BÖLÜM 7 SONUÇLAR .....   | 113          |

KAYNAKLAR..... 119

ÖZGEÇMİŞ ..... 131



## ŞEKİLLER DİZİNİ

| <u>No</u>   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Şekil 2.1 SLAR geometrisi.....  | 13           |
| Şekil 2.2 Menzil ve azimut çözünürlükleri .....   | 14           |
| Şekil 2.3 Azimut çözünürlüğü ve cismin ayırt edilebilirliği .....   | 15           |
| Şekil 2.4 Yapay açıklık oluşturmak .....  | 16           |
| Şekil 2.5 Bantların penetrasyonu .....  | 17           |
| Şekil 2.6 Düşey/dikey ve yatay polarizasyon.....  | 17           |
| Şekil 2.7 Farklı yüzeylerin yansıtma özellikleri.....   | 19           |
| Şekil 2.8 SAR görüntülerindeki geometrik hatalar .....  | 21           |
| Şekil 4.1 Geçmiş, günümüz ve gelecek dönemler için planlanan SAR uydu misyonları .....                                    | 30           |
| Şekil 4.2 Radar geri saçılım değerinin izdüşüm değerleri .....  | 31           |
| Şekil 5.1 Çalışma alanının 18.04.2016 tarihli Sentinel-2 doğal renkli görüntüsü (solda) ve genel bir bakış (sağda). ..... | 43           |
| Şekil 5.2 Çalışma alanında seçilen tarlalar (test alanları). .....  | 45           |
| Şekil 5.3 Çalışma alanı eğim haritası. ....   | 46           |
| Şekil 5.4 Gravimetrik toprak nemi ölçümlerinde kullanılan silindir kaplar. ....   | 50           |
| Şekil 5.5 Toprak pürüzlülük ölçümü için hazırlanan profil metre. ....   | 51           |
| Şekil 5.6 Bitki kaplama alanının belirlenmesi için kullanılan çerçeve. ....   | 51           |
| Şekil 5.7 Çalışma alanından 30 cm derinlikte toprak örneği toplanması. ....   | 53           |
| Şekil 5.8 Toprak nemi örneği toplanması. ....   | 53           |
| Şekil 5.9 Toprak numunelerinin fırınlanması işlemi.....   | 54           |
| Şekil 5.10 Pürüzlülük levhasının CAD ortamında sayısallaştırılması. ....  | 55           |
| Şekil 5.11 Bitki kaplama alanı belirlemek için bitki ve diğer detayların ayrımı. ....                                     | 56           |
| Şekil 5.12 Bitki alanının histogram değerinin gösterilmesi. ....  | 56           |

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u>   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Şekil 5.13 SAR görüntülerinde topografik bozulmaların geometrisi.....   | 59           |
| Şekil 5.14 SAR verilerinin geometrik düzeltme işlemleri için temel adımlar .....  | 59           |
| Şekil 5.15 ALOS-2 verisi için uygulanan iş-akış şeması. ....  | 60           |
| Şekil 5.16 Sentinel-1A verisi için uygulanan iş-akış şeması. ....   | 61           |
| Şekil 6.1 Çalışma alanının toprak özelliklerinin belirlenmesi için alınan toprak örnekleri. ....                              | 63           |
| Şekil 6.2 22 Nisan 2016 tarihli ALOS-2 verisine ait lokal geliş açısı haritası.....   | 70           |
| Şekil 6.3 ALOS-2 verisine ait geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi (tüm tarlalar).....           | 72           |
| Şekil 6.4 18 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi (tüm tarlalar) ..... | 73           |
| Şekil 6.5 24 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi (tüm tarlalar).....  | 73           |
| Şekil 6.6 ALOS-2 geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi. ....                                      | 74           |
| Şekil 6.7 18 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi. ....                | 74           |
| Şekil 6.8 24 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi. ....                | 74           |
| Şekil 6.9 ALOS-2 geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi (tüm tarlalar).....                        | 75           |
| Şekil 6.10 Sentinel-1A geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi (tüm tarlalar). ....                 | 76           |
| Şekil 6.11 12 Haziran ALOS-2 geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi. ....                          | 76           |
| Şekil 6.12 11 Haziran Sentinel-1A geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi. ....                     | 77           |
| Şekil 6.13 22 Nisan tarihli ALOS-2 geri saçılımı ile lokal geliş açısı arasındaki regresyon analizi. ....                     | 78           |
| Şekil 6.14 18 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile lokal geliş açısı arasındaki regresyon analizi.....                 | 78           |
| Şekil 6.15 24 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile lokal geliş açısı arasındaki regresyon analizi. ....                | 78           |

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u>  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Şekil 6.16 12 Haziran tarihli ALOS-2 geri saçılımı ile lokal geliş açısı arasındaki regresyon analizi. ....                        | 79           |
| Şekil 6.17 11 Haziran tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile lokal geliş açısı arasındaki regresyon analizi. ....                   | 79           |
| Şekil 6.18 Pürüzlülük ve dalga boyunun geri saçılıma etkisi .....  | 80           |
| Şekil 6.19 22 Nisan tarihli ALOS-2 geri saçılımı ile pürüzlülük arasındaki regresyon analizi ..                                    | 81           |
| Şekil 6.20 18 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile pürüzlülük arasındaki regresyon analizi.                                 | 81           |
| Şekil 6.21 24 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile pürüzlülük arasındaki regresyon analizi.                                 | 81           |
| Şekil 6.22 12 Haziran tarihli ALOS-2 geri saçılımı ile pürüzlülük arasındaki regresyon analizi. .                                  | 82           |
| Şekil 6.23 11 Haziran tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile pürüzlülük arasındaki regresyon analizi.                               | 82           |
| Şekil 6.24 22 Nisan tarihli ALOS-2 geri saçılımı ile dielektrik katsayısı arasındaki regresyon analizi.                            | 83           |
| Şekil 6.25 18 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile dielektrik katsayısı arasındaki regresyon analizi. ....                  | 83           |
| Şekil 6.26 24 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile dielektrik katsayısı arasındaki regresyon analizi. ....                  | 84           |
| Şekil 6.27 12 Haziran tarihli ALOS-2 geri saçılımı ile dielektrik katsayısı arasındaki regresyon analizi. ....                     | 84           |
| Şekil 6.28 11 Haziran tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile dielektrik katsayısı arasındaki regresyon analizi. ....                | 85           |
| Şekil 6.29 ALOS-2 veri seti için Dubois ters çözümü sonucu. ....   | 86           |
| Şekil 6.30 Sentinel-1A (18 Nisan) veri seti için Dubois ters çözümü sonucu. ....   | 87           |
| Şekil 6.31 Sentinel-1A (24 Nisan) veri seti için Dubois ters çözümü sonucu. ....   | 87           |
| Şekil 6.32 ALOS-2 için (14) nolu eşitlikle oluşturulan model sonuçları ile yersel ölçümlerin regresyon analizi. ....               | 91           |
| Şekil 6.33 18 Nisan Sentinel-1A için (16) nolu eşitlikle oluşturulan model sonuçları ile yersel ölçümlerin regresyon analizi. .... | 93           |
| Şekil 6.34 24 Nisan Sentinel-1A için (16) nolu eşitlikle oluşturulan model sonuçları ile yersel ölçümlerin regresyon analizi. .... | 95           |
| Şekil 6.35 12 Haziran ALOS-2 için (20) nolu eşitlikle oluşturulan model sonuçları ile yersel ölçümlerin regresyon analizi. ....    | 97           |

## ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

| <u>No</u>  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Şekil 6.36 11 Haziran Sentinel-1A için (22) nolu eşitlikle oluşturulan model sonuçları ile yersel ölçümlerin regresyon analizi. .... | 99           |
| Şekil 6.37 Çalışma alanına ait 17 Haziran 2016 tarihli Sentinel-2A NDVI görüntüsü. ....  | 101          |
| Şekil 6.38 12.06.2016 tarihli ALOS-2 geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi. ....                         | 103          |
| Şekil 6.39 12.06.2016 tarihli ALOS-2 verisi için tarla bazlı WCM analizi (1. Durum). ....  | 104          |
| Şekil 6.40 12.06.2016 tarihli ALOS-2 verisi için tarla bazlı WCM analizi (2. Durum). ....  | 104          |
| Şekil 6.41 12.06.2016 tarihli ALOS-2 verisi için tarla bazlı WCM analizi (3. Durum). ....  | 105          |
| Şekil 6.42 12.06.2016 tarihli ALOS-2 verisi için tarla bazlı WCM analizi (4. Durum). ....  | 105          |
| Şekil 6.43 12.06.2016 tarihli ALOS-2 verisi için tarla bazlı WCM analizi (5. Durum). ....  | 106          |
| Şekil 6.44 12.06.2016 tarihli ALOS-2 verisi için tarla bazlı WCM analizi (6. Durum). ....  | 106          |
| Şekil 6.45 11.06.2016 tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi. ....                    | 107          |
| Şekil 6.46 11.06.2016 tarihli Sentinel-1A verisi için tarla bazlı WCM analizi (1. Durum). .  | 107          |
| Şekil 6.47 11.06.2016 tarihli Sentinel-1A verisi için tarla bazlı WCM analizi (2. Durum). .  | 107          |
| Şekil 6.48 11.06.2016 tarihli Sentinel-1A verisi için tarla bazlı WCM analizi (3. Durum). .  | 108          |
| Şekil 6.49 11.06.2016 tarihli Sentinel-1A verisi için tarla bazlı WCM analizi (4. Durum). .  | 108          |
| Şekil 6.50 11.06.2016 tarihli Sentinel-1A verisi için tarla bazlı WCM analizi (5. Durum). .  | 108          |
| Şekil 6.51 11.06.2016 tarihli Sentinel-1A verisi için tarla bazlı WCM analizi (6. Durum). .  | 108          |
| Şekil 6.52 22 Nisan 2016 tarihli ALOS-2 verisinden üretilen toprak nemi haritası. ....   | 110          |
| Şekil 6.53 24 Nisan 2016 tarihli Sentinel-1A verisinden üretilen toprak nemi haritası. ....  | 110          |
| Şekil 6.54 12 Haziran 2016 tarihli ALOS-2 verisinden bitki örtülü alanlar için üretilen toprak nemi haritası. ....                   | 111          |
| Şekil 6.55 11 Haziran 2016 tarihli Sentinel-1A verisinden bitki örtülü alanlar için üretilen toprak nemi haritası. ....              | 112          |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>No</u>  | <u>Sayfa</u> |
|--|--------------|
| Çizelge 2.1 Standart radar kodları ve bant aralıkları.....   | 12           |
| Çizelge 2.2 Polarizasyon kombinasyonları ve kullanım alanları .....  | 18           |
| Çizelge 4.1 En çok kullanılan SAR toprak nemi modellerinin karşılaştırılması. ....   | 41           |
| Çizelge 5.1 Çalışmada kullanılan SAR ve optik uydu verilerine ait genel özellikler.....                                    | 47           |
| Çizelge 4.2 ALOS-2 uydusuna ait genel özellikler.....  | 47           |
| Çizelge 4.3 ALOS-2 uydusu görüntüleme modları.....   | 48           |
| Çizelge 4.4 Sentinel-1A uydusu görüntüleme modları. ....   | 49           |
| Çizelge 4.5 Sentinel-2A uydusu temel özellikleri.....  | 50           |
| Çizelge 4.6 Hallikainen yöntemi polinomal ifadelerin katsayıları ve tahmin doğrulukları. ....                              | 57           |
| Çizelge 4.7 $CF_1$ ve A sabitlerinin değerleri.....  | 58           |
| Çizelge 6.1 Toprak analiz sonuçları. ....  | 64           |
| Çizelge 6.2 22 Nisan 2016 tarihinde alınan numunelerin % nem içerikleri. ....  | 64           |
| Çizelge 6.3 12 Haziran 2016 tarihinde alınan numunelerin % nem içerikleri. ....  | 67           |
| Çizelge 6.4 Tarla bazlı pürüzlülük değerleri. ....   | 68           |
| Çizelge 6.5 Tarla bazlı PC değerleri. ....   | 69           |
| Çizelge 6.6 Veri setleri için hesaplanan tarla bazlı ortalama lokal geliş açısı ve dielektrik katsayısı değerleri. ....    | 71           |
| Çizelge 6.7 ALOS-2 için model özeti (bağımsız değişkenler: $\sigma_{HH}$ ). ....   | 89           |
| Çizelge 6.8 ALOS-2 için model özeti (bağımsız değişkenler: $\theta$ , $\sigma_{HH}$ ).....                                 | 89           |
| Çizelge 6.9 ALOS-2 için model özeti (bağımsız değişkenler: $h_{rms}$ , $\theta$ , $\sigma_{HH}$ ).....                     | 90           |
| Çizelge 6.10 ALOS-2 için model özeti (bağımsız değişkenler: $\ln(h_{rms})$ , $\theta$ , $\sigma_{HH}$ ).....               | 90           |
| Çizelge 6.11 ALOS-2 için dielektrik katsayısı yokken model katsayıları. ....   | 90           |
| Çizelge 6.12 ALOS-2 için model özeti (bağımsız değişkenler: $\ln(h_{rms})$ , $\theta$ , $\sigma_{HH}$ , $\epsilon$ ). .... | 91           |

## ÇİZELGELER DİZİNİ

| <u>No</u>   | <u>Sayfa</u> |
|---|--------------|
| Çizelge 6.13 ALOS-2 için dielektrik katsayısı ile oluşturulan model katsayıları.....  | 91           |
| Çizelge 6.13 18 Nisan Sentinel-1A verisi için model özeti (bağımsız değişkenler: $hrms$ , $\theta$ , $\sigma_{VV}$ )... 92                                | 92           |
| Çizelge 6.14 18 Nisan Sentinel-1A verisi için dielektrik katsayısı yokken model katsayıları....   | 92           |
| Çizelge 6.15 18 Nisan Sentinel-1A verisi için model özeti (bağımsız değişkenler: $hrms$ , $\theta$ , $\sigma_{VV}$ , $\epsilon$ ) ..93                    | 93           |
| Çizelge 6.16 18 Nisan Sentinel-1A verisi için dielektrik katsayısı ile oluşturulan model katsayıları. ....  | 93           |
| Çizelge 6.17 24 Nisan Sentinel-1A verisi için model özeti (bağımsız değişkenler: $hrms$ , $\theta$ , $\sigma_{VV}$ )... 94                                | 94           |
| Çizelge 6.18 24 Nisan Sentinel-1A verisi için dielektrik katsayısı yokken model katsayıları....   | 94           |
| Çizelge 6.19 24 Nisan Sentinel-1A verisi için model özeti (bağımsız değişkenler: $hrms$ , $\theta$ , $\sigma_{VV}$ , $\epsilon$ ) ..94                    | 94           |
| Çizelge 6.20 24 Nisan Sentinel-1A verisi için dielektrik katsayısı ile oluşturulan model katsayıları.....   | 95           |
| Çizelge 6.21 12 Haziran ALOS-2 verisi için model özeti (bağımsız değişkenler: $hrms$ , $\theta$ , $\sigma_{HV}$ ) ....                                    | 96           |
| Çizelge 6.22 12 Haziran ALOS-2 verisi için dielektrik katsayısı yokken model katsayıları. ....  | 96           |
| Çizelge 6.23 12 Haziran ALOS-2 verisi için model özeti (bağımsız değişkenler: $hrms$ , $\theta$ , $\sigma_{HV}$ , $\epsilon$ ). 96                        | 96           |
| Çizelge 6.24 12 Haziran ALOS-2 verisi için dielektrik katsayısı ile oluşturulan model katsayıları. ....   | 97           |
| Çizelge 6.25 11 Haziran Sentinel-1A verisi için model özeti (bağımsız değişkenler: $hrms$ , $\theta$ , $\sigma_{VV}$ , $\sigma_{VH}$ ). ....              | 98           |
| Çizelge 6.26 11 Haziran Sentinel-1A verisi için dielektrik katsayısı yokken model katsayıları. ....   | 98           |
| Çizelge 6.27 11 Haziran Sentinel-1A verisi için model özeti (bağımsız değişkenler: $hrms$ , $\theta$ , $\sigma_{VV}$ , $\sigma_{VH}$ , $\epsilon$ ). .... | 98           |
| Çizelge 6.28 11 Haziran Sentinel-1A verisi için dielektrik katsayısı ile oluşturulan model katsayıları.....   | 99           |
| Çizelge 6.29 Tüm veri setleri için geliştirilen deneysel modeller.....  | 100          |
| Çizelge 6.30 Farklı çalışmalarda kullanılan bitki tanımlayıcı parametreler. ....  | 102          |
| Çizelge 6.31 Bitki tanımlayıcı olarak kullanılan parametreler. ....   | 103          |
| Çizelge 6.32 WCM analiz sonuçları ve ilk sonuçlar.....  | 109          |





## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

### SİMGELER

|                    |   |
|--------------------|---|
| $c$                | : Işık hızı                             |
| $^{\circ}\text{C}$ | : Santigrat derece                      |
| cm                 | : Santimetre                            |
| dB                 | : Desibel                               |
| gr                 | : Gram                                  |
| GHz                | : Gigahertz                             |
| H                  | : Bitki örtüsü yüksekliği               |
| $\Delta h$         | : Yüzey pürüzlülüğünün standart sapması |
| km                 | : Kilometre                             |
| l                  | : Sondanın uzunluğu                     |
| L                  | : Antenin boyu                          |
| m                  | : Metre                                 |
| mm                 | : Milimetre                             |
| $m_v, M_v$         | : Toprak nemi                           |
| p                  | : Eş polarize geri saçılım oranı        |
| q                  | : Çapraz polarize geri saçılım oranı    |
| R                  | : Menzil                                |
| $R^2$              | : Korelasyon Katsayısı                  |
| $R_f$              | : Uzak menzil                           |
| $R_n$              | : Yakın menzil                          |
| s, $h_{rms}$       | : Pürüzlülük                            |
| $S_w$              | : Şerit genişliği                       |
| t                  | : Sinyalin hareket süresi               |
| v                  | : Enerji sinyalinin yayılma hızı        |
| $V_1, V_2$         | : Bitki tanımlayıcılar                  |
| $V_s$              | : Uydunun hızı                          |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

|                       |   |
|-----------------------|---|
| $W^n$                 | : Yüzey korelasyon katsayısının n. dereceden Fourier dönüşümü |
| $\beta^\circ$         | : Beta-nought   |
| $\gamma^\circ$        | : Gamma-nought  |
| $\varepsilon$         | : Dielektrik katsayısı/sabiti                                 |
| $\lambda$             | : Dalga boyu  |
| $\theta$              | : Bakış açısı   |
| $\theta_i$            | : Geliş açısı   |
| $\sigma^\circ$        | : Sigma-nought  |
| $\sigma$ (%)          | : Yüzde standart sapma  |
| $\sigma_{HH}^\circ$   | : HH polarizasyonundaki geri saçılım                          |
| $\sigma_{HV}^\circ$   | : HV polarizasyonundaki geri saçılım                          |
| $\sigma_{qq}^\circ$   | : Eş kutuplu bir kanaldaki toplam geri saçılım                |
| $\sigma_{soil}^\circ$ | : Toprak geri saçılımı  |
| $\sigma_{veg}^\circ$  | : Bitki örtüsü geri saçılımı                                  |
| $\sigma_{VH}^\circ$   | : VH polarizasyonundaki geri saçılım                          |
| $\sigma_{VV}^\circ$   | : VV polarizasyonundaki geri saçılım                          |
| $\tau_p$              | : Sinyal süresi   |
| $\tau^2$              | : Bitki tabakasının çift taraflı sönümlenmesi                 |
| $\Gamma_o$            | : Nadirde yüzeyin Fresnel yansıtma katsayısı                  |

## KISALTMALAR

|             |                                       |
|-------------|---------------------------------------|
| <b>ABD</b>  | : Amerika Birleşik Devletleri         |
| <b>ALOS</b> | : Advanced Land Observing Satellite   |
| <b>ASI</b>  | : İtalya Uzay Ajansı                  |
| <b>CAD</b>  | : Computer Aided Design               |
| <b>CBS</b>  | : Coğrafi Bilgi Sistemi               |
| <b>CRT</b>  | : Katot Işınlı Tüp (Cathode Ray Tube) |
| <b>CSA</b>  | : Kanada Uzay Ajansı                  |
| <b>DLR</b>  | : Alman Hava ve Uzay Merkezi          |
| <b>DN</b>   | : Digital Number                      |

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

|              |   |
|--------------|---|
| <b>ECR</b>   | : Earth Centered Rotating                                     |
| <b>ERTS</b>  | : Earth Resources Technological Satellite                     |
| <b>ESA</b>   | : Avrupa Uzay Ajansı  |
| <b>FDR</b>   | : Frekans Alanlı Reflektometri                                |
| <b>GM</b>    | : Global Mod  |
| <b>GMES</b>  | : Global Monitoring for Environment and Security              |
| <b>GOM</b>   | : Geometrical Optics Model                                    |
| <b>GRD</b>   | : Yer Aralığı Belirlenmiş                                     |
| <b>IEM</b>   | : Integral Equation Model                                     |
| <b>INTA</b>  | : İspanya Ulusal Uzay Teknolojisi Enstitüsü                   |
| <b>ISRO</b>  | : Hint Uzay Araştırmaları Örgütü                              |
| <b>JAXA</b>  | : Japonya Uzay Ajansı   |
| <b>JERS</b>  | : Japanese Earth Resources Satellite                          |
| <b>KA</b>    | : Kirchhoff Yaklaşımı   |
| <b>KARI</b>  | : Kore Uzay Araştırmaları Enstitüsü                           |
| <b>KOH</b>   | : Karesel Ortalama Hata                                       |
| <b>YAI</b>   | : Yaprak Alanı İndeksi  |
| <b>LUT</b>   | : Arama Tablosu   |
| <b>LWAI</b>  | : Leaf Water Area Index                                       |
| <b>MGM</b>   | : Meteoroloji Genel Müdürlüğü                                 |
| <b>NASA</b>  | : Amerika Birleşik Devletleri Ulusal Atmosfer ve Uzay Dairesi |
| <b>NDVI</b>  | : Normalized Difference Vegetation Index                      |
| <b>NDWI</b>  | : Normalized Difference Water Index                           |
| <b>OM</b>    | : Organik Madde   |
| <b>BKA</b>   | : Bitki Kaplama Alanı   |
| <b>POM</b>   | : Physical Optics Model                                       |
| <b>PPI</b>   | : Plan Position Indicator                                     |
| <b>RAR</b>   | : Real Aperture Radar   |
| <b>SAR</b>   | : Synthetic Aperture Radar                                    |
| <b>SIR-C</b> | : The Shuttle Imaging Radar Mission C                         |
| <b>SLAR</b>  | : Side-Looking Airborne Radar                                 |
| <b>SLC</b>   | : Single Look Complex   |

## **SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)**

|                |   |
|----------------|---|
| <b>SPM</b>     | : Small Perturbation Model                        |
| <b>SRTM</b>    | : Shuttle Radar Topography Mission                |
| <b>SYM</b>     | : Sayısal Yükseklik Modeli                        |
| <b>TDR</b>     | : Zaman Alanlı Reflektometri                      |
| <b>TÜBİTAK</b> | : Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu |
| <b>UA</b>      | : Uzaktan Algılama                                |
| <b>BSİ</b>     | : Bitki Su İçeriği                                |
| <b>VWM</b>     | : Vegetation Water Mass                           |
| <b>WCM</b>     | : Water Cloud Model                               |



## BÖLÜM 1

### GİRİŞ

Toprak nemi; küresel, bölgesel ve yerel ölçeklerde su dengesi bilgisine önemli bir katkıda bulunur. Bu nedenle; bu bilgi, su dengesi ve toprakta suya doymun olmayan (vadoz) bölgedeki su içeriğinde oluşan değişiklikler hakkında çeşitli bileşenlerin belirlenmesine yardımcı olmakla birlikte hidrolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır (Davenport vd. 2005). Yeraltı suları, insan sağlığı üzerinde doğrudan bir etkiye sahiptir. Ayrıca, tarım faaliyetlerini, ekonomiyi, askeri faaliyetleri ve ulaşımı etkileyen bir parametredir. Bu nedenle, bitki örtüsü koşullarını izlemek için üst toprak tabakası hakkındaki bilgi önemlidir. Ek olarak, daha derin topraktaki nem bilgisi, tarımsal planlama ve su kaynaklarının yönetimi için gereklidir (Serrano 2010).

Yeryüzündeki su, atmosferik olayları ve iklimi düzenlemektedir. Su ve enerji döngüsünü aynı anda kontrol eden toprak nemini doğru bir şekilde elde ederek hataları daha aza indirgenmiş iklim tahminleri yapmak ve zamansal olarak beklenen bir değişikliğin boyutunu daha iyi öngörmek mümkün olabilmektedir (Dirmeyer 2008). Ayrıca, yeraltına sızan su miktarı ve hızı, yüzeysel akışların miktarı ve zamanlaması, buharlaşma ve yeryüzü sıcaklığı yine toprak nemiiyle birincil derecede ilişkilidir. Öte yandan, sosyo-ekonomik açıdan ülkelere çok büyük maliyetler getiren tarımsal kuraklık, toprak nemindeki anomaliler ile ölçülmektedir (Anderson vd. 2011). Bu sebeple, tarımsal kuraklıkların izlenmesi, erken uyarısının yapılması ve tahminleri ancak geniş ölçekli ölçülen toprak nemi değerleri ile mümkün olmaktadır.

Atmosfer ve arazi yüzeyi arasındaki etkileşim için bir araç olan toprak nemi, küresel iklim sisteminin anlaşılmasında önemli bir rol oynamaktadır. Yerel bir yağış olayı meydana geldiğinde, tipik olarak yağmur suyunun % 40'ı yüzeyden akar veya yeraltına sızarken, % 60'ı terleme ve buharlaşma (evapotranspirasyon) yolu ile atmosfere döner (Hornberger vd. 1998). Güneş'ten gelen ışın, toprak neminin doğrudan yüzeyden buharlaşmasına neden olur.

Öte yandan bitki örtüsü, toprak nemini köklerden emer ve ışın enerjisi terlemeyi tetikler. Bu örnekler, toprak nemi dinamikleri hakkındaki bilgilerin, küresel enerji ve küresel su döngüsü konusundaki önemini göstermektedir. Bu nedenle toprak nemi, karmaşık hidrolojik döngüyü anlamak için önemli bir fiziksel parametredir ve toprak nemini küresel ve zamansal olarak makul bir hassasiyetle belirlemek için sistematik bir teknik gerekmektedir (Arii 2009).

Toprak neminin belirlenmesi, hidroloji alanındaki en zor süreçlerden biridir. Geleneksel ölçme yöntemlerinde, toprağın doğrudan analizi (gravimetrik yöntem) ve çeşitli ekipmanlar yardımıyla toprak nemini belirlemek mümkün olabilmektedir. Çok yönlü ve ayrıntılı bir şekilde dizayn edilen ekipmanlar gittikçe yaygınlaşsa da, gravimetrik yöntem özellikle diğer yöntemlerin kalibrasyonu için hala yaygın olarak kullanılmaktadır (Reynolds 1970). Geleneksel yöntemlerle toprak nemi değerinin makul doğruluklarda belirlenebilmesine karşın, yöntemlerin nokta bazlı olması bir dezavantaj olarak görülmektedir. Toprak nemi, dinamik bir yapıya sahip olması nedeniyle nokta bazlı ölçümlerin sık bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu durum; zaman, maliyet ve iş gücü açısından geleneksel yöntemlerin olumsuz yanlarını ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, Uzaktan Algılama (UA) teknolojisi çevresel gözlemler açısından önemli bir yere sahiptir.

UA teknikleriyle alınmış görüntüler yardımıyla, sıcaklık, kirlilik, toprak nemi, tuzluluk gibi çevresel birçok parametre belirlenebilmekte ve bu parametreler geniş ölçeklerde haritalanabilmektedir. UA yöntemiyle tarımsal alanların belirlenmesi ve gözlenmesine yönelik çalışmalar 19. yüzyılda balondan çekilen fotoğraflarla başlamıştır. UA'nın gerçek anlamda toprak araştırmaları ve ürün envanterinin çıkarılması gibi zirai işlemlerde kullanılması, ancak 20. yüzyılda hava fotoğraflarının temel bilgi kaynağı olarak kabul edilmesiyle başlamıştır (Esetlili 2008).

23 Temmuz 1972'de fırlatılan Earth Resources Technology Satellite 1 (ERTS 1), dünya gözlem verileri ve tarımsal uygulamalar açısından bir kilometre taşı niteliğindedir. Bu tarihten günümüze kadar optik algılayıcılara sahip farklı konumsal çözünürlüklerde SPOR serisi, QuickBird, IKONOS, ASTER gibi birçok uydu uzaya fırlatılmıştır. Bu uydulardan elde edilen görüntüler, tarımsal anlamda özellikle toprak ve arazi sınıflandırmalarına yönelik orta ölçekli haritaların üretilmesinde çok önemli bir yere sahiptir (Esetlili 2008). Optik algılayıcılar, pasif algılama sistemlerine sahip oldukları için atmosferik koşullar, bulutluluk oranı gibi hava koşullarından etkilenirler ve görüntü çekimi için güneş gibi bir enerji kaynağına ihtiyaç

duymaktadırlar. Bu durum, pasif sistemlerin dezavantajları olarak gösterilmektedir. Optik sistemlerin bu tür dezavantajları, bilim adamlarını aktif UA yapan radar görüntüleme sistemlerine yönlendirmiştir. Radar görüntüleme sistemleri, aktif UA sistemleridir. Bu sistemler ile gece-gündüz ve her türlü hava koşulunda veri kaydı yapılabilir. Aktif UA verilerinden toprak neminin elde edilmesi, radar UA'nın temel uygulamalarından biridir. Toprak nemi elde edilmesi için yapılan araştırmalar, 1970'den beri radar UA alanındaki önemli konular arasında gösterilmektedir (Pathe 2009).

Ülkemizde, Yapay Açıklıklı Radar (SAR: Synthetic Aperture Radar) verileri ile yapılan toprak nemi tahmini çalışmalarına az sayıda da olsa rastlanmaktadır. Yapılan literatür taraması sonucunda bazı Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) projeleri ve lisansüstü tezlere az sayıda da olsa rastlanmaktadır. Bu çalışmalardan bazıları aşağıda sunulmuştur.

Sunar vd. (2005) yaptıkları çalışmada, 1997 yılına ait 6 adet Japanese Earth Resources Satellite (JERS) radar verisi kullanmışlardır. Çalışmada, 1997 senesi için toprak nemi, periyodik yersel ölçümler olmadığından seçilen örnek buğday tarlalarında 5 ve 10 cm derinlikler için meteorolojik verilerin simülasyonu ile belirlenmiş ve radar verileri ile korelasyonu yapılmıştır.

Kurucu vd. (2008) tarafından "Toprağın Değişen Nem Düzeylerinin SAR (Radar) Uydu Görüntüleri İle Belirlenebilirliği Üzerine Bir Araştırma" başlıklı bir TÜBİTAK projesi yapılmıştır. Çalışmada, 2 RADARSAT-1 ve 5 ENVISAT olmak üzere toplam 7 adet SAR görüntüsü kullanılmıştır. Yardımcı veri olarak, 2006 yılı Mayıs ayında çekimi yapılan ve optik bir uydu olan SPOT görüntüsü kullanılmıştır. Araştırma sonucunda, toprak nemi ile geri saçılım değerleri arasında önemli düzeyde istatistiki ilişki saptanmıştır. Toprak yüzeyini örten buğday ve diğer tek yıllık bitkilere rağmen, SAR görüntülerinin yaklaşık 5 cm dalga boyundaki "C" bandının kullanılması ile toprak nemindeki değişikliklerin izlenebileceği belirlenmiştir. SAR görüntülerinin tek başına kullanılmasının yanında, optik görüntüler ile füzyonu durumunda da, toprak neminin izlenebilmesinde etkili oldukları yapılan bu araştırma sonucunda belirlenmiştir.

Tombul vd. (2008) yaptıkları çalışmada, seçilen ölçüm noktalarında fiziksel tabanlı bir geri saçılım modeli olan Dubois modelini kullanarak toprak yüzeyi pürüzlülüğü değerlerini



hesaplamışlardır. Bununla birlikte, arazi kullanım özelliklerine göre gerçekleştirilen model çalışması sonuçları, ERS-SAR & ENVISAT-ASAR görüntülerinin toprak neminin ve toprak pürüzlülüğünün belirlenmesinde ve radar geri saçılım değerleri ile yüzey parametreleri arasındaki ilişkiyi göstermiştir.

Şorman (2009) tarafından yapılan çalışmada, toprak yüzey pürüzlülüğü parametresi Dubois modeli kullanılarak elde edilmiştir. Water Cloud Model (WCM) yöntemi de kullanılmış ancak ilk yonteme nazaran başarılı sonuçlar elde edilememiştir. Çalışma sonucunda elde edilen nem haritaları değerlendirildiğinde, ERS-SAR & ENVISAT-ASAR görüntülerinin toprak neminin ve toprak pürüzlülüğünün belirlenmesinde ve ülkemiz havzaları ölçeğinde kullanılmasında önemli bir potansiyele sahip olduğu görüşü sunulmuştur.

Geçmişten günümüze birçok SAR uydusu uzaya fırlatılmış ve bu uyduların birçoğu misyonunu tamamlamıştır. Hali hazırda fazla sayıda SAR uydusu olmamasına karşın mevcut uydularla birçok yeryüzü gözlemleri yapılmakta ve gelişen teknoloji ile birlikte yeni uydular da fırlatılmak üzere tasarlanmaktadır. Toprak nemi tahmini ve izlenmesinde; TerraSAR-X, COSMO-SkyMed, RADARSAT-2, Advanced Land Observing Satellite (ALOS)/PALSAR ve Sentinel-1 gibi SAR uydularıyla uluslararası literatürde yapılan birçok çalışma ve bulguları aşağıda sunulmuştur. Yapılan çalışmaların genellikle açık ve düz alanlarda yapıldığı görülmektedir. Bilim adamları çalışmalarda çoğunlukla standart geri saçılım değerleri ile yersel verileri karşılaştırmışlardır. Elde edilen sonuçlar arazi yapısına göre değişiklikler göstermektedir. Ayrıca bazı çalışmalarda, az bitki örtüsü kaplı alanlarda ve çalılık alanlarda geri saçılım değerlerinde sapmalar olduğu gözlemlenmiştir. Farklı polarizasyonlar ve geliş açılarında alınan verilerin bazen olumlu sonuçlar verdiği, bazen de çok farklı değişimlerin gözlemlendiği yapılan bu çalışmalarda görülmüştür.

Moran vd. (2000) tarafından yapılan çalışmada, C bant ERS-2 uydusu kullanılmıştır. Geliş açısı  $23^\circ$  ve polarizasyon VV'dir. Çalışmada, pürüzlülük etkisini azaltmak için optik bir uydu olan Landsat TM görüntüsü de kullanılmıştır. Optik ve radar görüntülerinin füzyonu ile toprak nemi belirlenmesi için bir yaklaşım geliştirilmiştir. Üç ayrı çalışma alanı için kuru ve yaş dönemlerde farklı tarihlerde alınan 8 adet optik radar görüntü çifti kullanılmış ve geri saçılım değeri ile toprak nemi arasındaki ilişkinin zayıf olduğu görülmüştür.

Narayanan ve Hirsave (2001) tarafından yapılan çalışmada, The Shuttle Imaging Radar Mission C (SIR-C) verisi ve çeşitli metotlar kullanılarak toprak nemi tahmini

gerçekleştirilmiştir. Toprak nemi değişimi; lineer regresyon tekniği, lineer istatistik tekniği ve sinir ağı tekniği kullanılarak sunulmuştur. Lineer regresyon tekniğinde L ve C bantların geri saçılım değerlerini kullanarak toprak nemi tahmininde daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Bu modeller, yüzey pürüzlülüğünü bir parametre olarak ele almamasına rağmen, %3-5 arasında Karesel Ortalama Hata (KOH) değerlerinde toprak nemini tahmin etmişlerdir.

Bindlish ve Barros (2001) yaptıkları çalışmada, SIR-C/X-SAR verilerinden toprak nemi elde edilmesinde bitkilerin geri saçılım üzerine olan etkilerinin açık bir şekilde parametrelendirilerek formüle edilmesi ve bu durumun test edilmesi amaçlanmıştır. Çalışmada, WCM Normalize Fark Bitki Örtüsü İndeksi (NDVI: Normalized Difference Vegetation Index) ile parametrelendirilmiştir. Sonuç olarak; çapraz polarizasyonlar, geri saçılım ve NDVI arasındaki ilişkiyi arttırmıştır. WCM bitki türüne göre ayrıldığında toprak nemi elde edilmesi geliştirilmiştir.

Baghdadi vd. (2002) yaptıkları çalışmada; radar sinyalindeki satır yönü ve toprak nemi etkilerinin, yüzey pürüzlülüğü etkilerinden daha az olacağı optimum radar yapılandırmasını tanımlamayı amaçlamışlardır. Çalışmada, C bant ERS ve RADARSAT 1 uyduları kullanılmıştır. Farklı gelme açılarında (23°, 39°, 47°) ve polarizasyonlarda (VV-HH) görüntüler kullanılmıştır. Geri saçılım değerleri ve geliş açıları dikkate alınarak görüntüler incelenmiştir. Çalışma sonucunda, yüksek geliş açılarında yüzey pürüzlülüğünün toprak nemine göre daha baskın olduğu bulgusu ortaya çıkmıştır.

Srivastava vd. (2003) tarafından yapılan çalışmada; yüzey pürüzlülüğü durumu için yersel ölçüm yapmadan yüzey pürüzlülüğü etkisini toprak nemi tahminine dahil etmeyi düşünen bir yaklaşım önerilmiştir. Çalışmada, RADARSAT-1'e ait C bant, 10°-23° ve 41°-46° geliş açısında ve HH polarizasyonda görüntüler kullanılmıştır. Metot olarak, deneysel bir yöntem ile yüzey pürüzlülüğü etkisini düzeltmek için yüksek ve düşük geliş açıları kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, yüksek ve düşük geliş açılarının birleştirilmesinin yüzey pürüzlülüğü etkisini kaldırdığı, pürüzlülük ifadesi kullanıldığında deneysel model korelasyonunun arttığı ve farklı açılardaki toprak nemi etkisine yüzey pürüzlülüğü ile kıyaslandığında ihmal edilebilir olduğu bulgularına yer verilmiştir.

Álvarez-Mozos vd. (2006) tarafından yapılan çalışmada, C bant Radarsat-1 uydusu, düşük geliş açısı ve HH polarizasyonunda veriler kullanılmıştır. Landsat 7 uydusu kullanılarak

NDVI üretilmiş ve WCM parametresi olarak kullanılmıştır. WCM ve Integral Equation Model (IEM) sonuçları eşleştirilmiştir. Çalışma sonucunda, IEM simülasyonları ile yersel gözlemler arasında büyük bir ayırım olduğu gözlemlenmiştir. Havza ölçeğinde IEM/WCM modeli yersel ölçümlerle bağdaşmıştır.

Rahman vd. (2008) yaptıkları çalışmada, C bant ENVISAT ASAR'a ait 24–41° geliş açısında ve VV polarizasyonunda alınan verileri kullanmışlardır. Çalışmada, yüzeyin kuru olduğu zamanlarda yüzey pürüzlülüğünü çözmek için yüksek ve düşük geliş açılarında alınan görüntüler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, pürüzlülük ve korelasyon uzunluğunun elde edilebildiği görülmüş, yüzey pürüzlülüğü haritası üretilmiş ve toprak neminin ıslak alanlarda yüksek doğrulukla elde edilmesine karşın tüm çalışma alanı için sonuçlar zayıf çıkmıştır.

Pathe vd. (2009) yaptıkları çalışmada, ENVISAT ASAR'ın C bant, Global Mod (GM) HH polarizasyonlu verisini kullanmıştır. Çalışmada, ERS radyometre değişim belirleme algoritmasının ASAR GM için geçerliliği araştırılmıştır. Çalışma sonucunda, toprak nemi korelasyonunun verideki gürültü nedeniyle radyometreden daha zayıf olduğu ve konumsal ortalama almanın korelasyon sonuçlarını arttırdığı görülmüştür.

Iodice vd. (2011) tarafından yapılan çalışmada, polarimetrik iki ölçekli yüzey saçılım modeli, açık alanlarda yüzey parametrelerini elde etmek için uygulanmıştır. Diğer benzer yaklaşımların aksine düzlem ve yerel geliş açısının büyük ölçekli pürüzlülükten kaynaklı rastgele değişimleri dikkate alınmıştır. Geliş açısı 30° ve 60° arasında değişen orta pürüzlülükte bir yüzey için L bantta iyi sonuçlar elde edilmiştir. Hatta sadece 50° ve 60° geliş açısında, pürüzlü yüzeyler için X bantta mantıklı sonuçlar kazanılmıştır.

Aubert vd. (2011) yaptıkları çalışmada, TerraSAR-X uydusuna ait 25° ve 50° geliş açılarında alınmış HH polarizasyonundaki görüntüleri kullanarak toprak nemi tahmini üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Çalışma alanındaki tarım arazileri, buğday ve mısır ağırlıklı olmakla birlikte, düz ve tınlı topraktan oluşmaktadır (%17 kil, %78 silt, %5 kum). Yöntem olarak, radar geri saçılımı ile yersel ölçümler istatistiksel olarak karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, tarım alanlarındaki yüzey pürüzlülüğü gözlemlerinde yüksek geliş açısı daha iyi, toprak nemi gözlemlerinde ise düşük geliş açısı daha iyi sonuçlar vermiştir. Ayrıca, yazarlar gelecek çalışmalar için; birbirini tamamlayan polarizasyonlar ve geliş açıları için analizler

yapılabileceğini ve TerraSAR-X ile birlikte diğer uydu verilerinin kullanılmasının da iyi bir seçenek olabileceğini belirtmişlerdir.

Paloscia vd. (2013) tarafından yapılan çalışmada, Sentinel-1 karakteristikleri için bir toprak nemi içeriği algoritmasının geliştirilmesi, test edilmesi ve doğrulanması amaçlanmıştır. Sonuç ürün doğruluğu ve işleme süresi arasında iyi bir uzlaşma sağladığı savunulduğu için bir yapay sinir ağı kullanılmıştır. Algoritma test edilmiş ve birkaç farklı ülkedeki test alanında doğruluğu kontrol edilmiştir. Algoritmanın, çapraz korelasyonlu kanal ya da NDVI gibi bitki örtüsü bilgisi olduğunda iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Çapraz polarizasyon bitki örtüsü etkisini ortadan kaldırmaya yardımcı olmuştur. Bu bağlamda da, Sentinel-1 ve 2 verilerinin kombinasyonunun yüksek konumsal ve zamansal çözünürlükte, güvenilir toprak nemi tahmininde ideal bir çözüm olacağı önerilmiştir.

Zribi vd. (2014), açık alanlarda radar frekansının, geri saçılım ve yüzey toprak nemi arasındaki ilişkiye olan etkisini araştırmışlardır. İleri IEM; L, C ve X frekanslarında alınan çeşitli dikey nem profilleri ile toprak yüzeyinden geri saçılımı simüle etmek için kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, 5 cm derinliğinde alınan toprak nemi değerleri ile tüm frekanslarda doğrusal bir ilişki olduğu gözlemlenmiştir. L bandın, C ve X banda nazaran 5 cm derinliğine daha duyarlı kaldığı ve bu durumun L bandın toprağa daha fazla penetre etmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir.

El Hajj vd. (2016), sulanan çayır alanlarında X-bant SAR verilerinden yüzey toprak nemini tahmin etmek için bir ters çözüm yaklaşımı geliştirmeyi amaçlamışlardır. Bu yaklaşım, WCM aracılığıyla SAR ve optik görüntüler arasındaki birleştirme senaryosunu temel almaktadır. Çalışmada, güneydoğu Fransa'da sulu bir çayır bölgesinde SAR verilerinin bir zaman serisi (TerraSAR-X ve COSMO-SkyMed) ve optik (SPOT 4/5 ve LANDSAT 7/8) görüntüler kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, HH polarizasyonu ile optik görüntülerden elde edilen NDVI gibi bir bitki tanımlayıcısı birlikte kullanıldığında, toprak nemi tahminlerinde daha doğru sonuçlara ulaşılmıştır.

Bousbih vd. (2017) yaptıkları çalışmada; tarım alanlarında, pürüzlülük ve su içeriği gibi toprak özellikleri, Yaprak Alan İndeksi (YAI) ve bitki örtüsü yüksekliği (H) tahmininde Sentinel-1 SAR verisinin potansiyelini analiz etmişlerdir. Çalışmada; 2015 ve 2017 yılları arasında Kairouan Ovasının (Tunus, Kuzey Afrika) Sentinel-1 görüntüleri kullanılmış ve

görüntü tarihleri ile eş zamanlı olarak, toprak pürüzlülüğü, toprak nemi, YAI ve H parametreleri için yersel ölçümler gerçekleştirilmiştir. Sentinel-1 verilerinin toprak nemine olan duyarlılığının; bitki örtüsü büyümesi arttıkça azaldığı ve VV polarizasyonda VH polarizasyona kıyasla daha güçlü olduğu gözlenmiştir. Toprak pürüzlülüğü için de benzer duyarlılık sergilendiği gözlemlenmiştir. VV polarizasyonun, YAI ve H parametrelerine de duyarlı olduğu görülürken VH polarizasyonunda bu parametrelere karşı bir hassasiyet belirlenmemiştir.

Yukarıda detayları verilen çalışmalardan anlaşılacağı üzere toprak nemi bilgisi birçok bilim dalı için büyük önem arz etmektedir. Bu nedenle, toprak neminin konumsal dağılımının belirlenebilmesi için UA alanında da hem pasif hem de aktif algılama yapan sistemlerle ve farklı algoritmalar denenerek çalışmalar gerçekleştirilmektedir. Bu bağlamda; doktora çalışması kapsamında, yeni nesil SAR uydularından olan ALOS-2 ve Sentinel-1A uydularına ait veriler kullanılmıştır. ALOS-2 uydusu ticari bir SAR uydusudur ve L bantta görüntüler sunmaktadır. Buna karşın, Sentinel-1A uydusu C bantta veriler sunarken, uydu verileri Avrupa Uzay Ajansı (ESA) tarafından ücretsiz olarak dağıtılmaktadır. İlk zamanlarda askeri amaçlı olarak kullanılmaya başlanan radar sistemleri; özellikle SAR uydularının gelişmesi ile birlikte orman yangınları, tarımsal faaliyetler, heyelanlar, arazi kullanımı arazi örtüsü analizi gibi birçok alanda kullanılmaya başlanmıştır. Bu tez çalışmasının temel amacı, ALOS-2 ve Sentinel-1A uydu görüntülerini kullanarak bitki örtüsü olan ve olmayan alanlarda doğal nem döngüsünde (herhangi bir sulama yapılmadan) toprak nemi tahminlerinin yapılması ve toprak nemi haritalarının oluşturulmasıdır. Ayrıca, çalışmanın temel amacına ek olarak alt amaçları aşağıda belirtilmiştir;

- Hali hazırda çalışan SAR uydularından sadece ALOS-2, L-banda sahiptir. Literatürde X-bant ve C-bant uydu verileri ile yapılmış olan çok fazla çalışma olmasına karşın L bant uydu verileri ile yapılan çalışmaların sayısı oldukça azdır. Bu nedenle, hem yeni nesil bir SAR uydusu olması hem de L-banda sahip olması ALOS-2 verisinin seçilmesinin temel nedenidir ve çalışmanın alt amaçlarından biri L bant verilerinin toprak nemine olan duyarlılığını analiz etmektir.
- Sentinel-1A verilerinin, ESA tarafından ücretsiz olarak kullanıcılara temin edilmesi ve L-bant ALOS-2’de olduğu gibi C-bant Sentinel-1A uydusunun da yeni nesil bir SAR uydusu olması, çalışma materyali olarak seçilmesinde önemli rol oynamıştır. Yeni

uydu verilerinin toprak nemi tahmininde kullanılacak olması ile çalışmanın özgün değerinin artması amaçlanmıştır.

- Çalışmada, SAR verileri kullanılarak toprak nemi tahmininde faydalanılan model tabanlı yaklaşımlardan olan Dubois ve Oh modellerinin, mevcut verilerle olan sonuçlarının ortaya konması çalışmanın alt amaçlarından biridir.
- Radar geri saçılımını etkileyen; toprak nemi, lokal geliş açısı, yüzey pürüzlülüğü ve dielektrik katsayısı gibi parametrelerin, ALOS-2 ve Sentinel-1A geri saçılım değerleri ile olan ilişkilerin incelenmesi çalışmanın bir diğer önemli alt amaçlarındanıdır.
- Radar geri saçılımını etkileyen parametreler dikkate alınarak, geri saçılım değerlerinden toprak neminin tahmin edilmesi için deneysel model geliştirme çalışmalarının yapılması amaçlanmıştır.
- Bitki örtüsü olan dönemdeki verilerden bitki örtüsünden kaynaklı geri saçılımı elimine edebilmek için WCM analizlerinin gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır.
- Mevcut SAR verileri ile çalışma alanının farklı dönemlerdeki (bitki örtüsü olan ve olmayan dönemler) toprak nemi haritalarının oluşturulması çalışmanın önemli amaçlarındanıdır.



## BÖLÜM 2

### RADAR GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ

Yeryüzü kaynaklarının uydu verileri ile incelenmesi Landsat programı ile hız kazanmıştır. Optik uydu sistemleri ile birçok uygulama yapılabilmesine karşın bir takım kısıtlamalar nedeniyle her zaman kullanılamamaktadırlar. Bu kısıtlamalardan en önemlileri, olumsuz hava koşullarında ve geceleri yeryüzü görüntüsü alamama olarak gösterilebilir. Özellikle tarımsal ve yenilenebilir kaynak uygulamalarında bu sorunlarla sürekli karşılaşılmaktadır. Bu kısıtlamaları ortadan kaldırmak için radar sistemlerine sahip uydular kullanılmaya başlanmıştır. Bu sistemler aktif UA sistemleri olarak adlandırılırlar ve güneş gibi herhangi bir enerji kaynağına ihtiyaç duymazlar, gece-gündüz ve her türlü hava koşulunda veri kaydı yapabilirler.

Radar görüntüleme sistemlerinin kullanımını gerektiren esas nedenler ve özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir (Özalp 1997);

- Yeryüzü topoğrafyasını ve morfolojisini, yüzeyin eğimi, bitki dağılımı ve formu, deniz dalgalarının dinamiği gibi deniz ve karasal ortamdaki morfolojik değişimleri çok hassas algılayabilmesi
- Kar örtüsü, toprağın ekili alanlarının nem oranı gibi su ve bağıl nemi hassas olarak algılayabilmek
- Güneş gibi bir enerji kaynağından bağımsız olarak her türlü hava şartında yeryüzünü görüntüleyebilmesi

Radar görüntüleme sistemleri enerji kaynağı olarak elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesindeki ışınları kullanılmaktadırlar. Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumda 0.3 GHz veya 100 cm ile 100 GHz veya 0.3 cm aralığındaki dalgalardır. Çizelge 2.1'de radar sinyallerinin kodları, frekans ve dalga boylarına ilişkin değerler sunulmuştur. UA uygulamaları için, en yaygın olarak kullanılan bantlar; uzun dalga boyuna sahip L bant (0.39-1.55 GHz), kısa dalga boyundaki X bant (5.75-10.9 GHz) ve bu iki bandın ortasında bir dalga boyuna sahip C bant (3.9-5.75 GHz)'dir (Ulaby vd. 1981).



**Çizelge 2.1** Standart radar kodları ve bant aralıkları.

| <b>KOD</b> | <b>DALGA BOYU (mm)</b> | <b>FREKANS (GHz)</b> |
|------------|------------------------|----------------------|
| W          |                        | 56.00-100.00         |
| V          |                        | 46.00-56.00          |
| Q          |                        | 36.00-46.00          |
| K          | 7.5-24.0               | 10.90-36.00          |
| X          | 24.0-37.5              | 5.75-10.90           |
| C          | 37.5-75.0              | 4.20-5.75            |
| S          | 75.0-150.0             | 1.55-4.20            |
| L          | 150.0-300.0            | 0.39-1.55            |
| P          | 300.0-1000.0           | 0.225-0.39           |

Görüntüleme amaçlı radar sistemleri literatürde; Düzlemsel Göstergeli Radarlar (PPI: Plan Position Indicator) ve Yan Bakışlı Radarlar (SLAR: Side-Looking Airborne Radar) olarak ikiye ayrılmaktadır.

## **2.1 DÜZLEMSEL GÖSTERGELİ RADAR (PPI) GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ**

PPI, İkinci Dünya Savaşı sırasında ve sonrasında yaygın olarak kullanılan dünya yüzeyinin görüntüsünü bir harita gibi üreten sistemdir. PPI, hedeflerin azimutunu ve mesafesini gösteren katot ışınlı bir tüpten (CRT: Cathode Ray Tube) oluşmaktadır. PPI sistemlerinin antenleri tamamen 360° dönebilen yüksek oranda yatay düzlem yönelimlidir ve CRT göstergesinin dairesel dönmesi ile eş zamanlıdır. PPI görüntüleme sistemleri, günümüzde pek yaygın olmamak ile birlikte yangın kontrolü, uçak ve gemilerin navigasyonu ve hedef belirleme için kullanılan sistemlerdir (Barr 1969).

## **2.2 YAN BAKIŞLI RADAR (SLAR) GÖRÜNTÜLEME SİSTEMLERİ**

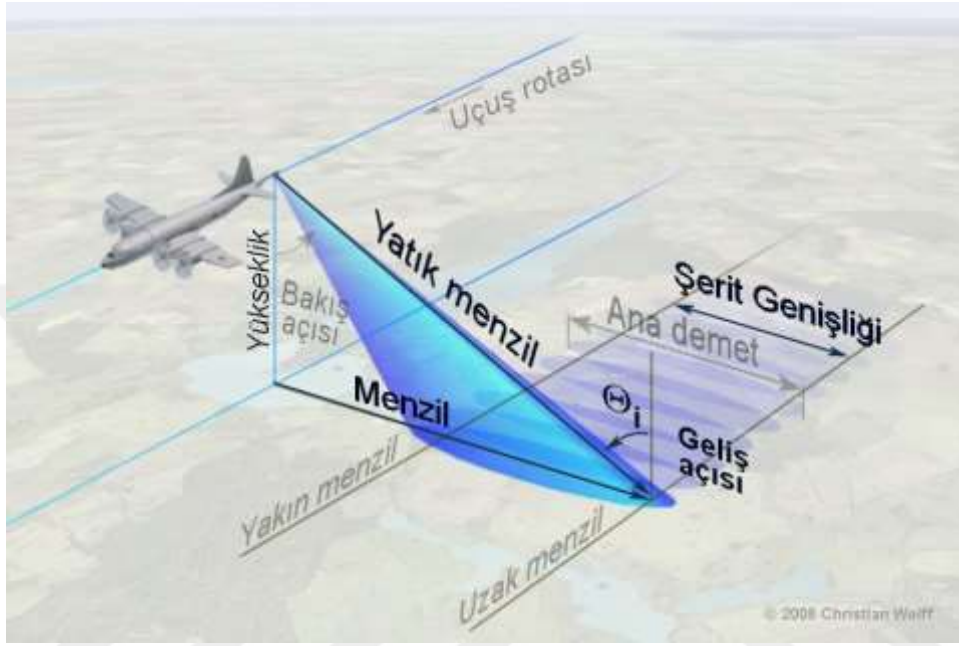
SLAR görüntüleme sistemleri Gerçek Açıklıklı Radar (RAR: Real Aperture Radar) ve SAR sistemleri olmak üzere iki ayrı başlık altında incelenmektedir.

### **2.2.1 Gerçek Açıklıklı Radar (RAR)**

RAR sistemi, anten görüş açısının antenin fiziksel uzunluğu tarafından kontrol edildiği bir sistemdir. Ayrıca; azimut çözünürlüğü, antenin fiziksel uzunluğu ve dalga boyu ile belirlenen bir yan bakışlı radar sistemidir. Basit tasarımları ve kolay veri işlenmesi RAR'ın

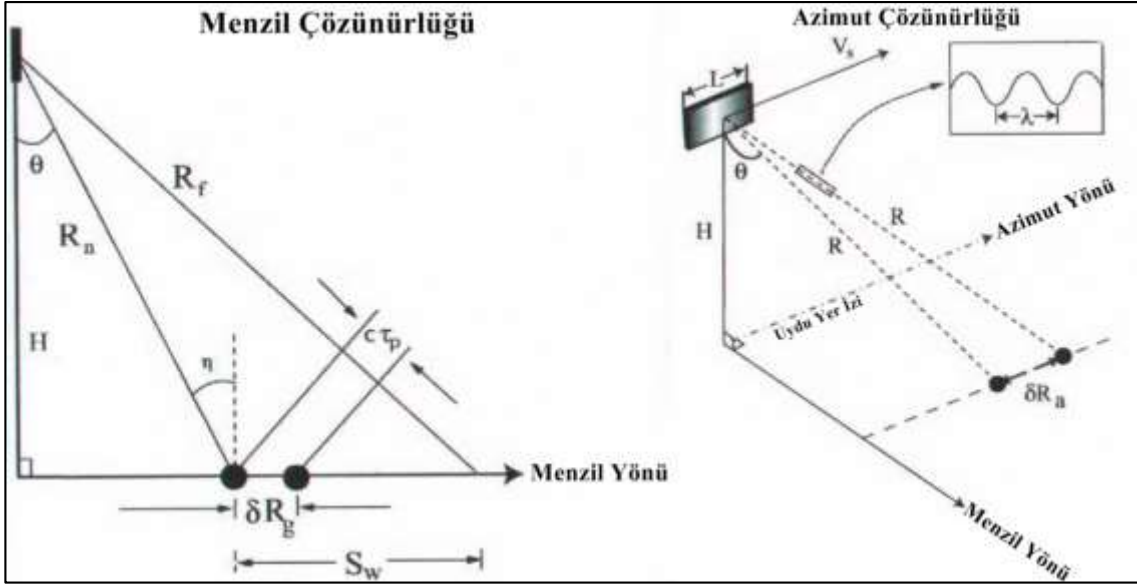
avantajlarıdır. Fakat çözünürlüğü düşük olduğu için kısa dalga boylarında tarama yapma, alçak irtifa görevleri ve kısa mesafelerde kullanılması ile sınırlıdır (URL-1 2014).

Radar uyduları bir nesnenin yerini belirleyebilmek için uydudan nesneye gönderilen ve antene geri dönen sinyalin zaman farkını ölçer. Şekil 2.1’de SLAR sisteminin geometrisi gösterilmiştir.



Şekil 2.1 SLAR geometrisi (URL-2 2014).

Optik sistemlerden farklı olarak her bir radar görüntüsünün çözünürlüğü; uzunluk, genişlik ve geliş açısı gibi anten özelliklerine, uydu yüksekliğine ve radar sinyal süresine bağlıdır (Kemaldere 2011). Radar görüntülerinin çözünürlükleri, azimut ya da iz boyunca (along track) ve ize dik yönde (across track) çözünürlük veya menzil çözünürlüğü şeklinde ayrı ayrı tanımlanır (Kurucu vd. 2008). Menzil ve azimut yönlerinde, çözünürlük aynı değildir (Şekil 2.2). Şekil 2.2’de  $H$  uydunun yüksekliği,  $R_n$  yakın menzil,  $R_f$  uzak menzil,  $S_w$  şerit genişliği,  $V_s$  uydunun hızı,  $\theta$  bakış açısıdır.



Şekil 2.2 Menzil ve azimut çözünürlükleri (Çakır 2003'den değiştirilerek).

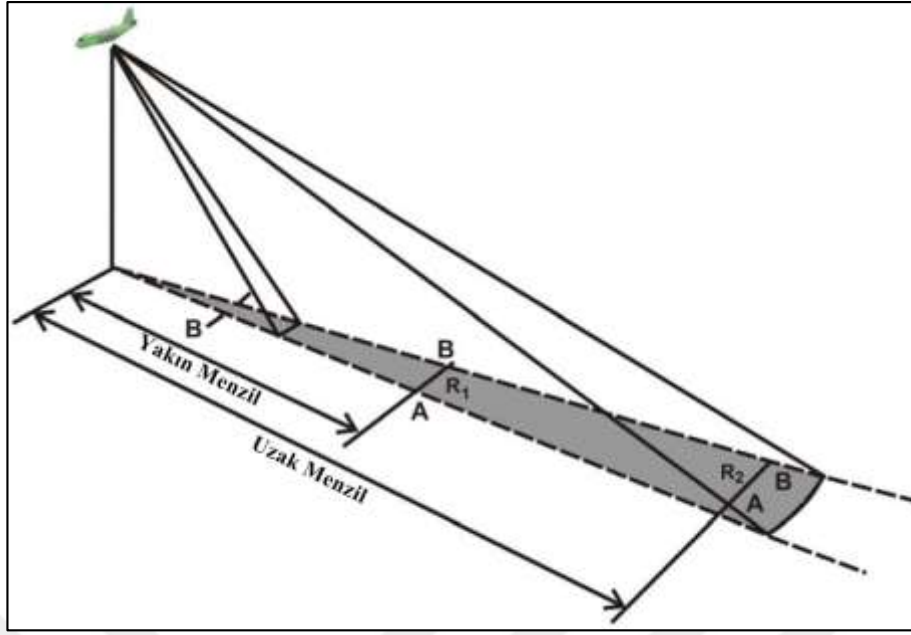
Menzil çözünürlüğü (2.1) eşitliği kullanılarak hesaplanır.

$$\delta R_g = \frac{c\tau_p}{2 \sin \theta_i} \quad (2.1)$$

Burada;  $c$  ışık hızı (299792458 m/s),  $\tau_p$  sinyal süresi ve  $\theta_i$  geliş açısıdır. Azimut çözünürlüğü ise (2.2) eşitliği ile hesaplanmaktadır.

$$\delta R_a = \frac{R\lambda}{L} \quad (2.2)$$

Burada;  $R$  menzil,  $\lambda$  dalga boyu ve  $L$  antenin boyudur. Yerdeki noktaların uyduya olan uzaklığı arttıkça azimut çözünürlük değeri büyüyecektir. Şekil 2.3'de görüldüğü gibi, uyduya yakın alım noktasındaki (near range) A ve B hedefleri birbirinden ayırt edilebilirlerken, uzak alım noktasındaki (far range) A ve B hedeflerinin ayırt edilmesi güçleşmektedir (Kurucu vd. 2008).

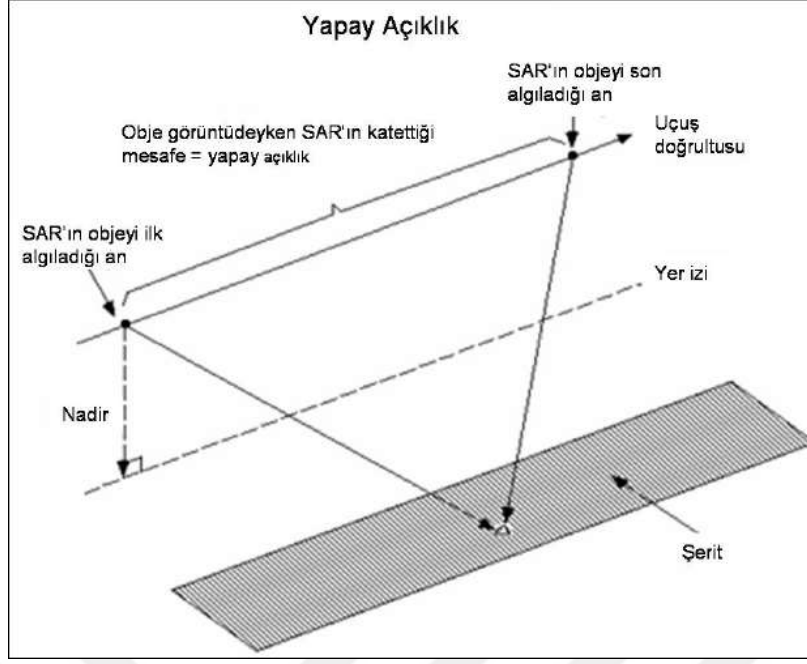


**Şekil 2.3** Azimut çözünürlüğü ve cismin ayırt edilebilirliği (Kurucu vd. 2008, Lillesand ve Kiefer 1999).

### 2.2.2 Yapay Açıklıklı Radar (SAR)

RAR, bir hava aracı ile çok etkili olabilir fakat uydu yüksekliklerinde azimut çözünürlüğü kısıtlamalarından dolayı uygulamada güç bir hal almaktadır. Eşitlik (2.2) den anlaşılacağı üzere azimut çözünürlüğü anten uzunluğuna bağlıdır. Bu bağlamda, yüksek çözünürlüklü bir görüntü elde etmek için anten boyunun artması gerekmektedir. Örneğin; 870 km'lik menzil ve 22,6 cm'lik dalga boyu ile 5 m'lik azimut çözünürlüğü elde etmek için yaklaşık olarak 41 km'lik bir antene ihtiyaç duyulmaktadır (Kemaldere 2011). Bu nedenle yapay bir anten geliştirilerek azimut çözünürlüğünün artırılması düşünülmüştür. Bu sistemde kısa bir anten, uzun bir antenin görevini göreceği şekilde tasarlanarak yapay olarak uzatılmıştır. SAR sistemine göre gönderilen ışın demeti genişliği RAR sistemine göre daha dardır. Burada Doppler prensibi temel alınmıştır (Kurucu vd. 2008).

Doppler prensibi uygulanırken, uçuş boyunca anten bir seri konum boyunca hareket ettirilerek yapay açıklık oluşturulur. Uydu, bir objeyi ilk gördüğü andan son gördüğü ana kadar ona sinyal göndermekte ve o sayıda geri yansıma almaktadır. Bu şekilde hedef nesne birden fazla görüntülenir ve bunların ortalaması alınarak geri saçılım değerleri hesaplanır (Şekil 2.4), (Abdikan 2007, Kemaldere 2011).



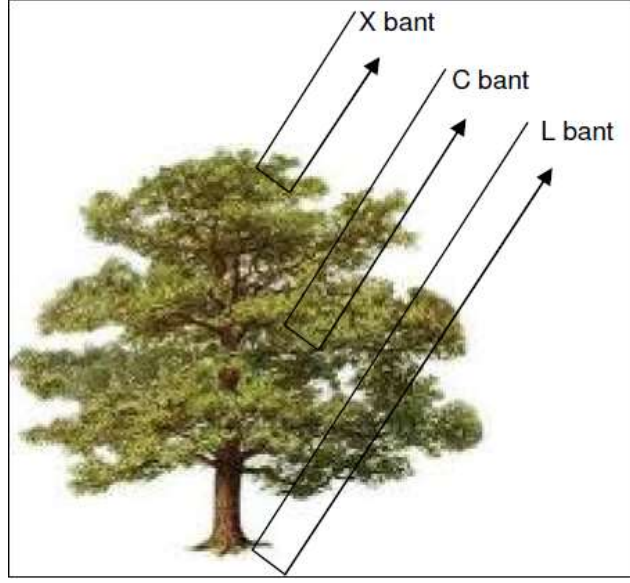
Şekil 2.4 Yapay açıklık oluşturmak (Kemaldere 2011).

## 2.3 SAR GÖRÜNTÜLERİNİN ÖZELLİKLERİ

SAR görüntüleme sistemlerinde; kullanılan dalga boyu, sinyalin gücü, polarizasyonu, geliş açısı gibi sistem parametreleri ile hedef yüzeyin pürüzlülüğü, dielektrik katsayısı ve nem içeriği gibi hedef parametreleri, görüntülerin özelliklerini belirleyen başlıca faktörlerdir.

### 2.3.1 Dalga Boyu

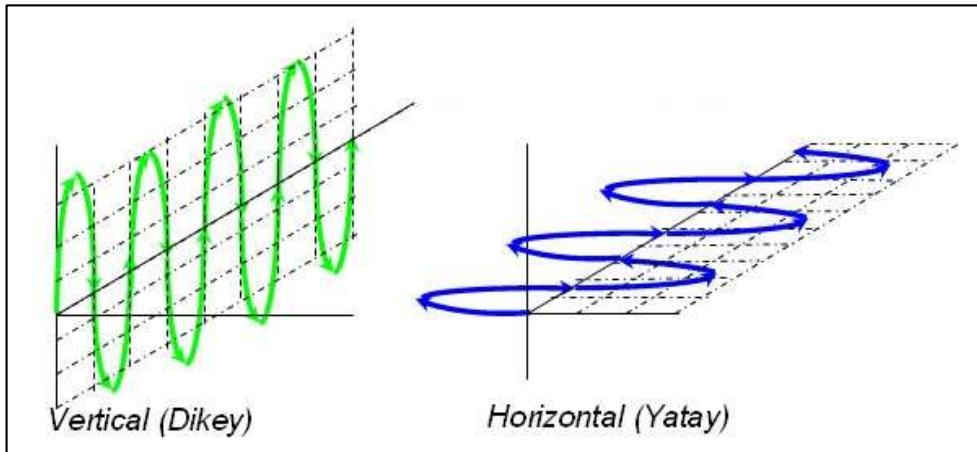
Elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesindeki enerji dalga boyu ve frekans açısından görünür bölgeye nazaran daha yüksektir. Bölüm 2’de standart radar kodları ve dalga boyları Çizelge 2.1’de sunulmuştur. Radar ışınlarının dalga boylarının farklı olması yeryüzüne gelen ışının toprağa penetrasyonunu değiştirmektedir. Örneğin; ormanlık bir arazide X-bandı (3 cm) ağaçların üzerindeki yapraklardan, L-bandı (23 cm) ise ağaçları geçerek toprağa nüfuz edebilir (Şekil 2.5).



Şekil 2.5 Bantların penetrasyonu (Kemaldere 2011).

### 2.3.2 Polarizasyon

Polarizasyon dalganın hareket yönüne dik gelen düzlemdeki salınımların yönünü tanımlayan sinyalin bir özelliğidir. Bir elektromanyetik alanın bileşenlerinin yönü ve antenin konuş biçimi sinyalin polarizasyonunu belirler. Düşey/Dikey polarizasyonlu bir dalga aşağı yukarı salınım şeklinde ileri doğru hareket eder. Bir sinyal algılayıcıdan gönderildiğinde, anten tasarımına göre elektrik alan vektörü dalgayı düşey/dikey (V) ya da yatay (H) olarak titretir (Abdikan 2007), (Şekil 2.6).



Şekil 2.6 Düşey/dikey ve yatay polarizasyon.

Gönderilen ve alınan sinyalin polarizasyonunu bir çift sembol ile ifade etmek için yatay ve dikey polarizasyon kullanan bir radar sistemi aşağıda gösterilen kanallara sahiptir.

- HH – yatay gönderilen yatay alınan sinyal için (paralel polarizasyon)
- VV - dikey gönderilen dikey alınan sinyal için (paralel polarizasyon)
- HV - yatay gönderilen dikey alınan sinyal için (çapraz polarizasyon)
- VH - dikey gönderilen yatay alınan sinyal için (çapraz polarizasyon)

Bir radar sistemi aynı zamanda aşağıda belirtildiği gibi farklı seviyelerde polarizasyon bilgisine sahip olabilir.

- Tek Polarizasyon – HH, VV, HV, VH
- Çift polarizasyon – HH ve HV, VV ve VH, veya HH ve VV
- Tam Polarizasyon – HH + VV + HV + VH

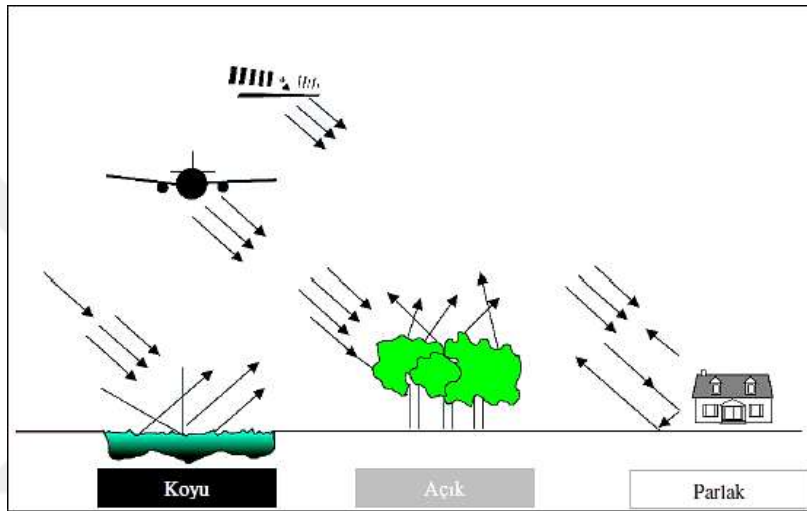
Çizelge 2.2’de söz konusu polarizasyon kombinasyonlarının kullanılabildikleri radar sistemleri ile kullanım alanları verilmiştir.

**Çizelge 2.2** Polarizasyon kombinasyonları ve kullanım alanları (Kemaldere 2011’den değiştirilerek).

| <b>Polarizasyon</b>                            | <b>Kullanılabilen radar sistemi</b>  | <b>Kullanım alanı</b>  |
|--|--|--|
| Tek polarizasyon (HH)                          | SRTM, JERS I, RADARSAT I, RADARSAT II, ENVISAT ASAR, ALOS PALSAR, TERRASAR-X | Temel SAR uygulamaları, buzulların izlenmesi, gemi arama çalışmaları                           |
| Tek polarizasyon (VV)                          | SRTM, ERS 1 – 2, ENVISAT ASAR, RADARSAT II, ALOS PALSAR, TERRASAR-X          | Temel SAR uygulamaları, oşinografik uygulamalar, toprak kullanım farklılıklarının belirlenmesi |
| Tek Çapraz Polarizasyon (HV, VH)               | SRTM, ERS 1 – 2, ENVISAT ASAR, RADARSAT II, ALOS PALSAR, TERRASAR-X          | Deniz – okyanus yüzeyi üzerindeki hedeflerin izlenmesi, bitki örtüsünün sınıflandırılması,     |
| Çift polarizasyon (VV/HH, HH/VV, HH/HV, VV/VH) | RADARSAT II, ALOS PALSAR, TERRASAR-X, Sentinel-1, COSMO-SkyMed, KOMPSAT-5    | Jeolojik yapıların analizi, kaynak araştırmaları   |
| Çoklu polarizasyon (HH+HV+VH+VV)               | RADARSAT II, ALOS PALSAR, TERRASAR-X, COSMO-SkyMed, KOMPSAT-5                | Polarimetrik uygulamalar   |

### 2.3.3 Yüzey Pürüzlülüğü

Yüzeğe gönderilen radar sinyalinin hedef ile etkileşiminden sonraki sinyalin geri saçılımı yüzey pürüzlülüğü ile orantılıdır. Deniz, göl, akarsu ve yol gibi düz ya da düze yakın bölgeler tam yansıtma özelliğine sahip oldukları için koyu tonlarda görüntülenirken, bitki örtüsüyle kaplı alanlar ile ormanlar, dağınık geri saçılım özellikleri sayesinde açık tonlarda görüntülenir. Şekil 2.7’de görüleceği üzere kentsel alanlar ise, görüntülerde parlak tonlardadır (Kemaldere 2011).



Şekil 2.7 Farklı yüzeylerin yansıtma özellikleri (URL-3 2016’den değiştirilerek).

Yüzey pürüzlülüğü, kullanılan bandın dalga boyuna ve geliş açısına göre değişen göreceli bir kavramdır. Bir yüzeydeki yükseklik değişimleri, kullanılan dalga boyundan küçükse o yüzey pürüzsüz yüzey, büyükse pürüzlü yüzey olarak adlandırılır. Bunun yanında, bir yüzeye ait geliş açısı büyüdükçe o yüzey daha pürüzsüz olarak algılanmakta ve böylece görüntüde koyu tonlarla tanımlanmaktadır. Buna göre, farklı özellikteki iki uydu tarafından görüntülenen aynı bölge, uydulardan biri için pürüzlü yüzey olarak sınıflandırılabilirken diğeri için pürüzsüz yüzey olarak tanımlanabilir (Balık 2004, Kemaldere 2011).

Yüzey geri saçılımı, gönderilen elektromanyetik enerjinin dalga boyu ile yüzey pürüzlülüğü arasındaki ilişkiye göre açıklanır ve bunlar Rayleigh ölçütü veya Fraunhofer ölçütü olarak adlandırılır.  $\Delta h$ , yüzey pürüzlülüğünün standart sapması,  $\lambda$ , dalga boyu,  $\theta_i$ , elektro manyetik enerjinin geliş açısı olmak üzere, Rayleigh ölçütüne göre yüzeyin düz olması ve Fraunhofer ölçütüne göre yüzeyin düz olması sırasıyla 2.3 ve 2.4 eşitliklerinde belirtilmiştir (Abdikan 2007);



$$\Delta h < \frac{\lambda}{8 \cos \theta_i} \quad (2.3)$$

$$\Delta h < \frac{\lambda}{32 \cos \theta_i} \quad (2.4)$$

Saçılım oranı, geliş açısı ve saçılım açısının bir fonksiyonudur. Ancak UA'da saçılım açısı ile geliş açısı aynıdır çünkü radar sistemlerinde alıcı anten ile elektromanyetik enerjinin enerji gönderen anteni aynı yerdedir. Bu nedenle radar UA'da geri saçılım değerleri ele alınır (Abdikan 2007).

### 2.3.4 Eğim (Geliş) Açısı Etkisi

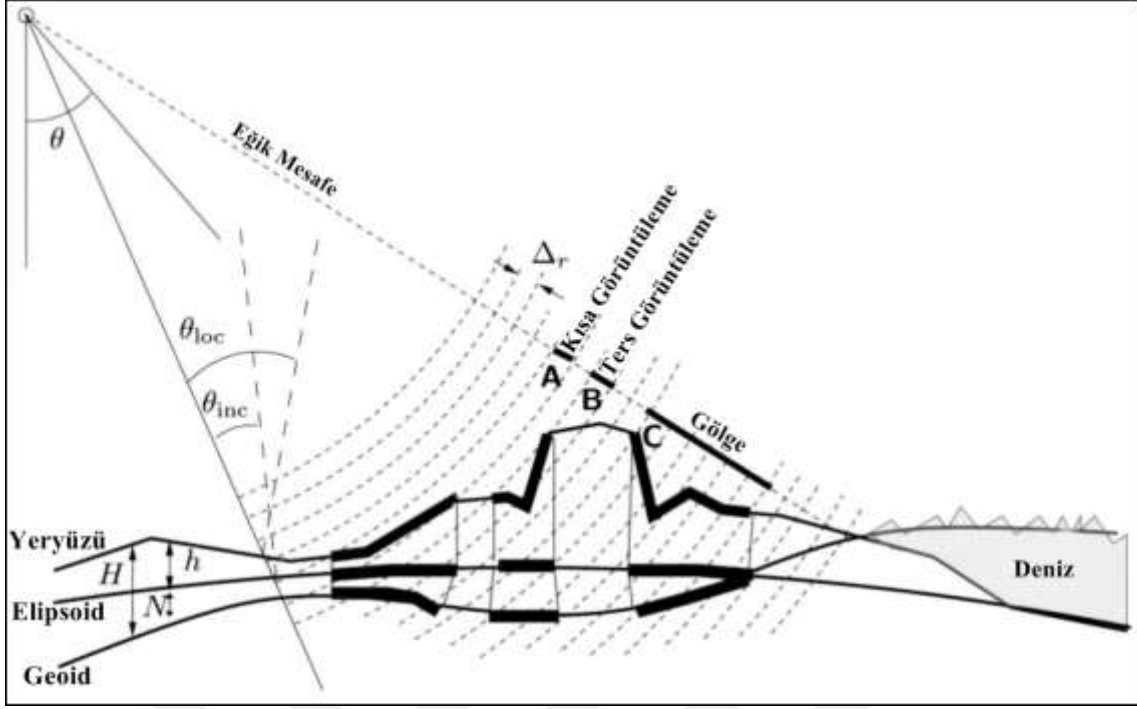
Radar görüntülerinin analiz edilmesinde önemli bir diğer parametre de sensör tarafından gönderilen ışının eğim açısıdır. Eğim açısının artması ile daha koyu gri tonlar elde edilir. Eğim açısının azalması ile de açık tonda gri değerler elde edilir. Geliş açısındaki çeşitlilik, topografyanın eğimli olmasından ve SAR görüntü alım geometrisinden dolayı oluşan geometrik hataların azaltılmasında önemli derecede etkili olmaktadır (Abdikan 2007).

### 2.3.5 Nem İçeriği

Topraktaki nem içeriği, yüzeydeki geri saçılımı etkileyen bir parametredir. Genellikle geri saçılım, nem miktarı ile doğru orantılıdır ve bu nedenle nem miktarı fazla olan bölgeler açık renk tonunda görüntülenir. Nemli toprak yüzeyinden saçılım da kuru toprak yüzeyine göre daha kuvvetlidir (Balık 2004, Kemaldere 2011).

## 2.4 SAR GÖRÜNTÜLERİNDE GEOMETRİK HATALAR

SAR görüntüleme sistemleri daha önceki bölümlerde bahsedildiği üzere yan bakışlı sistemlerdir. Bu görüntüleme sisteminde nesnelere uyduya doğru eğilmiş bir şekilde gözlemlenir. Nesnenin algılayıcı ile arasındaki eğik mesafe ölçülür ve bu nedenle de bazı geometrik hatalar meydana gelir. Bunlar; kısa görüntüleme (foreshortening), ters görüntüleme (layover) ve gölge (shadow) oluşumu olarak adlandırılır (Şekil 2.8).



Şekil 2.8 SAR görüntülerindeki geometrik hatalar (Hanssen 2001'den değiştirilerek).

#### 2.4.1 Kısa Görüntüleme

Kısa görüntüleme, sinyalin dağ ya da tepe gibi eğimli arazi yüzeylerinden geri saçılması sonucu ölçülen uzunluğun gerçek değerden kısa olmasıdır. Radar ışın demeti eğimli araziye dik olduğunda yani eğimli arazide tabana, yüzeye ve yüzeyin tepesine aynı anda ışın demeti geldiğinde kısa görüntüleme hatası en büyük değerini alır. Kısa görüntüleme etkisi, daha küçük geliş açısına sahip algılayıcılardan elde edilen görüntülerde daha azdır (Abdikan 2007, Kemaldere 2011).

#### 2.4.2 Ters Görüntüleme

Kısa görüntülemenin özel bir durumu olan ters görüntülemeye ise bir nesnenin en üst noktası en alt noktasından önce görüntülenir ve nesne radar anteni yönüne eğilmiş olarak görülür. Ters görüntülemeye, genellikle küçük geliş açısı kullanan algılayıcılardan alınan görüntülerde rastlanır ve bu durum pek çok nesnenin görüntülenememesine neden olur (Abdikan 2007, Kemaldere 2011).

### 2.4.3 Gölge

Gölge, radar ışın demetinin, yeryüzünü aydınlatamadığı yerlerde görülür ve görüntülenemeyen bölgelerdir. Bu bölgelere ait geri saçılım bilgisi, kayıt edilemediği için siyah kaydedilir. Geliş açısı yakın menzilden uzak menzile doğru arttıkça, radar ışınları daha eğimli gelecektir ve gölge etkisi artacaktır. Yüzey eğimi, ışın demetinin geliş açısından daha dik ise gölge oluşur. Dağlık bölgelerde görülen gölge hatası, o bölgeye ait geri saçılımın kaydedilememesine neden olurken, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) de üretilemez (Abdikan 2007).



## BÖLÜM 3

### TOPRAK NEMİ

Toprak nemi ifadesi, farklı disiplinlerde farklı anlamlarda kullanıldığı için tanımlanması güç bir parametredir. Ancak genel olarak, toprak nemi; toprak partikülleri arasındaki hava boşluklarında bulunan su içeriği olarak tanımlanmaktadır. Toprağın 10 cm derinliğine kadar olan su içeriği yüzey toprak nemi olarak adlandırılırken, bitkiler için gerekli olan toprağın 200 cm derinliğine kadar olan su içeriğine kök bölgesi toprak nemi adı verilmektedir (URL-4 2017).

#### 3.1 TOPRAK NEMİ BİLGİSİNİN ÖNEMİ

Toprak özelliklerinin tahmini; su bütçeleme işlemleri, meteorolojik ve tarımsal uygulamalar açısından büyük bir önem arz etmektedir (Verhoest vd. 2008, Ahmad vd. 2011). Toprak nemi, yer yüzeyi hidrolojisi açısından önemli bir parametredir. Ayrıca; tarım, ekoloji, yaban hayatı ve halk sağlığı için çok önemli etkilere sahiptir ve muhtemelen yağış parametresinden sonra hidrolojik döngü ile hayvan, bitki ve insan yaşamı arasındaki en önemli bağlantıdır (Lakshmi 2013). Toprak nemi bilgisi aynı zamanda, sel, kuraklık, erozyonlar ve kum fırtınaları gibi doğal afetler ile çevresel değişimlerin tahmini için bir gösterge olarak ifade edilebilir. Toprak nemindeki periyodik değişimleri analiz etmek için tekrarlı bir örnek alma işlemi gerektiğinden hassas yersel toprak nemi ölçümü çok maliyetli olabilmektedir. UA ile geniş alanlarda, kısa zamanda ve belirli aralıklarla birçok yeryüzü özelliği hakkında özellikle sensör işlevselliklerindeki son gelişmeler ile zamansal ve konumsal anlamda bilgi toplamak mümkündür.

#### 3.2 TOPRAKTAKİ SU İÇERİĞİNİN YERSEL YÖNTEMLER İLE BELİRLENMESİ

Toprak nemi ölçümlerini tutarlı ve mekansal olarak kapsamlı bir temelde gerçekleştirmek zordur (Bindlish vd. 2006). Mevcut toprak nemi belirleme yöntemleri genel olarak; doğrudan ve dolaylı yöntemler olarak iki grupta ele alınmaktadır.

Doğrudan yöntemlerde, toprak nemi; toprak örneğinin kurutulmasından önceki ve sonraki ağırlıkları arasındaki fark baz alınarak hesaplanmaktadır. Dolaylı yöntemlerde ise toprak nemi içeriğini etkileyen diğer değişkenlerin ölçümleri yapılarak bu ölçümlerin kalibrasyonları ile toprak nemi hesaplanabilmektedir (Evelt ve Parkin 2005, Muñoz-Carpena vd. 2004, Dobriyal vd. 2012). Doğrudan yöntem tektir ve gravimetrik yöntem ya da termostat-ağırlıklı teknik olarak adlandırılmaktadır. Diğer tüm yöntemler, dolaylı yöntemler kategorisine girmektedir. Ayrıca, UA dışında toprak nemi tahmini için kullanılan tüm yöntemler yersel ölçüm teknikleridir. Bu bölümün alt başlıklarında toprak nemi tahmininde kullanılan yersel ölçüm teknikleri, olumlu ve olumsuz yönleri ile sunulacaktır.

### 3.2.1 Gravimetrik Yöntem (Termostat-Ağırlıklı Teknik)

Bu yöntem, toprak nemi belirlenmesinde oldukça sık kullanılan bir yöntemdir (Schmugge vd. 1980). Gravimetrik yöntemde, araziden alınan toprak örneklerinin öncelikle yaş ağırlıkları tartılır ve tartılan örnekler fırına yerleştirilerek 105 °C'de 24 saat boyunca kurutulur. Kurutulma işleminin ardından örnekler tekrar tartılarak kuru ağırlıklar elde edilir ve (3.1) nolu eşitlik kullanılarak toprak nemi tahmin yapılır.

$$W_{H_2O} = \left( \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_0} \right) \times 100 \quad (3.1)$$

Burada;  $M_0$ : boş kabın kapağı ile birlikte kütlesi,  $M_1$ : Nemli toprak bulunduran kabın kütlesi,  $M_2$ : Kurutulmuş toprak örneğinin kapla birlikte kütlesidir.

Bu yöntem; uygun maliyetli, kolay ve doğru sonuçlar veren bir yöntem olmasına karşın, yoğun zaman ve iş gücü gerektiren kayalık zeminlerde kullanımı zor bir yöntemdir. Gravimetrik yöntemin kullanımı heterojen toprak profilleri ile karmaşıktır (Schmugge vd. 1980).

### 3.2.2 Nötron Metre Teknolojisi

Nötron metre teknolojisi ile toprak nemi içeriğini elde etmek için kullanılan ekipman, bir prob ve elektronik kablo ile bağlanmış bir elektron sayma ölçekleyicisinden oluşur. Yüksek enerjili, hızlı hareket eden nötronlar bir radyoaktif kaynakla toprağa salınırlar. Nötronlar, topraktaki su moleküllerinde bulunan hidrojen atomlarının çekirdeğiyle çarpışmalarla

yavaşlar ve yavaşlayan nötron sayısının özel sayaçlarla ölçülmesi yöntemin temel ilkesidir (Chanasyk ve Naeth 1996). Nötron metreler, doğru sonuçlar sunarlar ve tahrip edici değildirler. Su durumundan bağımsız olarak kullanılabilirler. Nötron metre ölçümü, toprağın fiziko-kimyasal özellikleri ile ilgilidir. Cihaz, radyoaktif kaynağın kullanılması nedeniyle eğitimli bir operatör gerektirir. Ayrıca, sağlık ve çevre için potansiyel olarak tehlikelidir (Tarantino vd. 2008). Ek olarak, cihaz pahalıdır ve kullanımını sınırlayan kapsamlı toprak özellikli kalibrasyonlar gerektirir.

### **3.2.3 Zaman Alanlı Reflektometri (TDR: Time-Domain Reflectometer)**

TDR teknolojisinde, topraktaki bir elektromanyetik enerji sinyalinin yayılma hızı ( $v$ ) belirlenir. Topraktaki ( $v$ )'yi belirlemek için çok kısa elektriksel sinyaller, metalik 2 veya 3 çubuklu prob vasıtasıyla gönderilir. Sinyalin hareket süresi ( $t$ ) ve iki kez ilerlediği sondanın uzunluğundan ( $l$ ), yayılma hızı  $v = 2l/t$  bağıntısı ile hesaplanır (Worsching vd. 2006). Sinyalin hızı, suyun bağıl büyük dielektrik değerinden dolayı toprak nemi içeriğindeki değişime bağlı olarak değişir (Muñoz-Carpena vd. 2004). Probdaki sinyal hızı ölçülmekte ve toprak nemi ile ilişkilendirilmektedir. Daha düşük bir hız, daha nemli toprakta ölçüm yapıldığına işaret etmektedir. TDR, tahrip edici olmayan ve nispeten daha az emek isteyen bir tekniktir; kullanılan alet taşınabilir, kurulumu kolaydır ve çalışması güvenlidir. Bu teknik, hacimsel su içeriğinin kısa sürede güvenilir bir şekilde ölçülmesini sağlar (Benson ve Bosscher 1999). Bununla birlikte, prob uzunluğu nem ölçümünün doğruluğunu etkiler. TDR problemleri çevreye duyarlıdır. Ölçümler, toprak ve prob arasındaki boşluklar nedeniyle hatalı olabilir (Ferre vd. 1998, Sakaki vd. 1998). Ayrıca, çok tuzlu topraklarda TDR'nin uygulanabilirliği sınırlıdır (Ferrara ve Flore 2003).

### **3.2.4 Direnç ve Frekans Alanlı Reflektometri (FDR: Frequency Domain Reflectometry)**

Frekans Alanlı Reflektometri (FDR) TDR'ye benzerdir. Ancak FDR, toprağın dielektrik özelliklerinden dolayı sinyalin frekansındaki bir değişime dayalı olarak toprak nem içeriğinin tahminini sağlamaktadır (Robock vd. 2000). Toprağı, dielektrik olarak kullanan bir kondansatörün elektriksel direnci, toprak nemi içeriğine bağlıdır. Kondansatör, elektrik devresi oluşturan bir osilatörle birleştirildiğinde, devrenin frekansındaki değişiklikler toprak nemi içeriğindeki değişiklikleri gösterir. Osilatör frekansı, rezonans frekansı belirlemek için belli bir aralıkta sınırlandırılmıştır. Bu durum, toprağın su içeriğinin bir ölçüsünü verir

(Muñoz-Carpena vd. 2004). Bu teknik doğru sonuçlar verir ancak toprağa özel kalibrasyon gerektirir. Cihazın otomatik seyahat süresinin ölçülmesindeki belirsizlik, sınırlı etki alanı, hava boşluklarına duyarlılık, toprak tuzluluğu, sıcaklık, yağın yoğunluğu ve kil içeriği bu yöntemin kullanımını sınırlar (Erlingsson vd. 2009).

### **3.2.5 Tansiyometrelerin (Gerilimölçer) Kullanımı**

Bu yöntemde bir gerilimölçer, topraktaki suya uygulanan emme kuvvetine dayanarak nem potansiyelini ölçer (Schmugge vd. 1980). Cihaz, tüpün içine geçirilmiş geçirgen bir seramik kap ile hava geçirmez su doldurulmuş içi boş bir tüpten oluşur. Alet toprağa sokulur ve üst uca bir vakum ölçer bağlanır. Gözenekli seramik uç, nem içeriğinin ölçüleceği toprak derinliklerine gömülebilen manometreye bağlıdır. Sistem su ile doludur ve kapalıdır. Toprakta kılcal gerginlikteki değişikliklere, seramik uçtaki kılcal gerginlik dışındaki gerilime eşit olana kadar toprak gözenekleri boyunca bir su hareketi eşlik eder. Manometre, kılcal gerginliği ölçer. Su akışı, manometrenin yeni okumasını üretmek için gereken hacim değişikliği ile belirlenir (Wallhan 1939). Bu teknik tahribatsız ve uygun maliyetlidir. Hem doymuş hem de doymamış koşullar altında nem dağılımını belirleme yeteneğine sahiptir. Ekipman düzgün bir şekilde muhafaza edilirse uzun süreli kullanım mümkündür. Toprak yapısına zarar vermeden toprak neminin sürekli ölçümlerini sağlayabilir. Sistem, karmaşık elektronikler içermez ve etilen glikol su çözeltisinin kullanılması, gerilim bölgelerinin soğuk bölgelerde kullanılmasına olanak sağlar. Ancak, kuru zeminlerdeki ölçümler için tansiyometrelerin uygun olmadığı belirlenmiştir (Mckim vd. 1976, Schmugge vd. 1980).

### **3.2.6 Gama Işını Zayıflatma (Gamma Ray Attenuation)**

Bu yöntem, üst toprak katmanlarındaki 1-2 cm'ye kadar nem içeriğini belirleyebilen bir radyoaktif yöntemdir. Gama iletimi, ıslak yoğunluktaki değişikliğin bir ölçüsüdür ve bu da, toprak nemi içeriğinin doğrudan bir tahminini verebilir (Zazueta ve Xin 1994). Cihaz, kolimatör, dedektör ve skaler ile çevrelenmiş gama ışınları yayan bir kaynaktan oluşur. Gama ışını zayıflatma, derinlemesine zemin nemi içeriği okumalarını sağlayan tahribatsız bir tekniktir ve topraktaki nem durumundan etkilenmez. Donmuş toprakta kullanılabilir (Goit vd. 1976). Yüksek maliyet ve kullanım zorluğu, bu tekniğin bu alanda uygulanabilirliğini sınırlamaktadır.

### **3.2.7 Kapasitif Sensörlerin Kullanımı**

Kapasitif sensör yöntemi, toprak nemi içeriğinin, topraklı elektrotlar arasındaki direncin ölçülerek belirlendiği tahribatsız bir yöntemdir. Dielektrik sabitini ölçmek için prob, bir frekansta uyarılmaya tabi tutulur. Toprak nemi, serbest su halinde bulunduğu, dielektrik sabiti doğrudan nem içeriğine bağlıdır (Zazueta ve Xin 1994). Kalibrasyonlarla bir kapasitans probu, nem profilinin yanı sıra, herhangi bir derinlikte toprak neminin mutlak değerini sağlayabilir (Schmugge vd. 1980, Zazueta ve Xin 1994). Sonuçlar toprak ve sıcaklık özelliklidir ve toprağa özgü kalibrasyon gerektirir. Sensörler pahalıdır ve uzun vadeli sürdürülebilirlikleri tartışmalıdır (Zazueta ve Xin 1994, Pardossi vd. 2009).

### **3.2.8 Alçı Blok Ölçümü (Gypsum Block Measurement)**

Bir alçı blok, kök bölge derinliklerine yerleştirilen, elektrolit olarak görev yapan doymuş bir kalsiyum sülfat çözeltisine sahip elektrokimyasal hücredir. Elektrotlar arasındaki direnci belirlemek için, bir köprü devresi kullanılarak küçük bir AC voltaj uygulanır. Okunan değerler, toprağın elektrik iletkenliğinden etkilenebileceği dolayısıyla, alçı bloklar değişen toprak tuzluluğuna karşı tampon olarak kullanılır. Bloklar topraktaki nemi emer ve bloklardaki elektrotlar, bloklardaki nem ile birlikte artan elektrik iletkenliğini ölçmek için kullanılır. Bu ölçülen değerler toprak su potansiyelini ve toprak nemi içeriğini tahmin etmek için kullanılır (Werner 2002). Bu teknik, minimum bakım gereksinimleri ile basit ve ucuzdur. Bu teknik için en önemli kısıtlamalar; alçı bloğunun çözünmesi, parçalanması ve zamanla yeniden kalibre etme ihtiyacıdır (Bulut ve Leong 2008). Bu yöntem, su drenajının hızlı olduğu kumlu topraklar için uygun değildir (Zazueta ve Xin 1994).

### **3.2.9 Basınç Plakası Yöntemi (Pressure Plate Method)**

Basınç plakası yöntemi, genellikle alan kapasitesini, kalıcı solma noktasını ve nem içeriğini farklı basınçlarda tahmin etmek için kullanılır. Cihaz, gözenekli seramik baskı plakalı, hava geçirmez metalik bölmeden oluşur (Madsen vd. 1986). Baskı plakası ve zemin numuneleri doymuştur ve metalik bölmeye yerleştirilir. Gerekli basınç, bir kompresör vasıtasıyla uygulanır ve basınçtan daha düşük bir sıcaklıkta tutulmuş olan toprak örneğindeki su, uygulanan basınca denge sağlanıncaya kadar akıtılır. Toprak örnekleri, nem içeriğini belirlemek için fırında kurutulur. Cihaz düşük su potansiyelindeki hatalara karşı hassastır



(Bittelli ve Flury 2009). Bu yöntemin, sonuçları olduğundan fazla tahmin etmesi de diğer bir dezavantaj olarak gösterilebilir (Madsen vd. 1986).



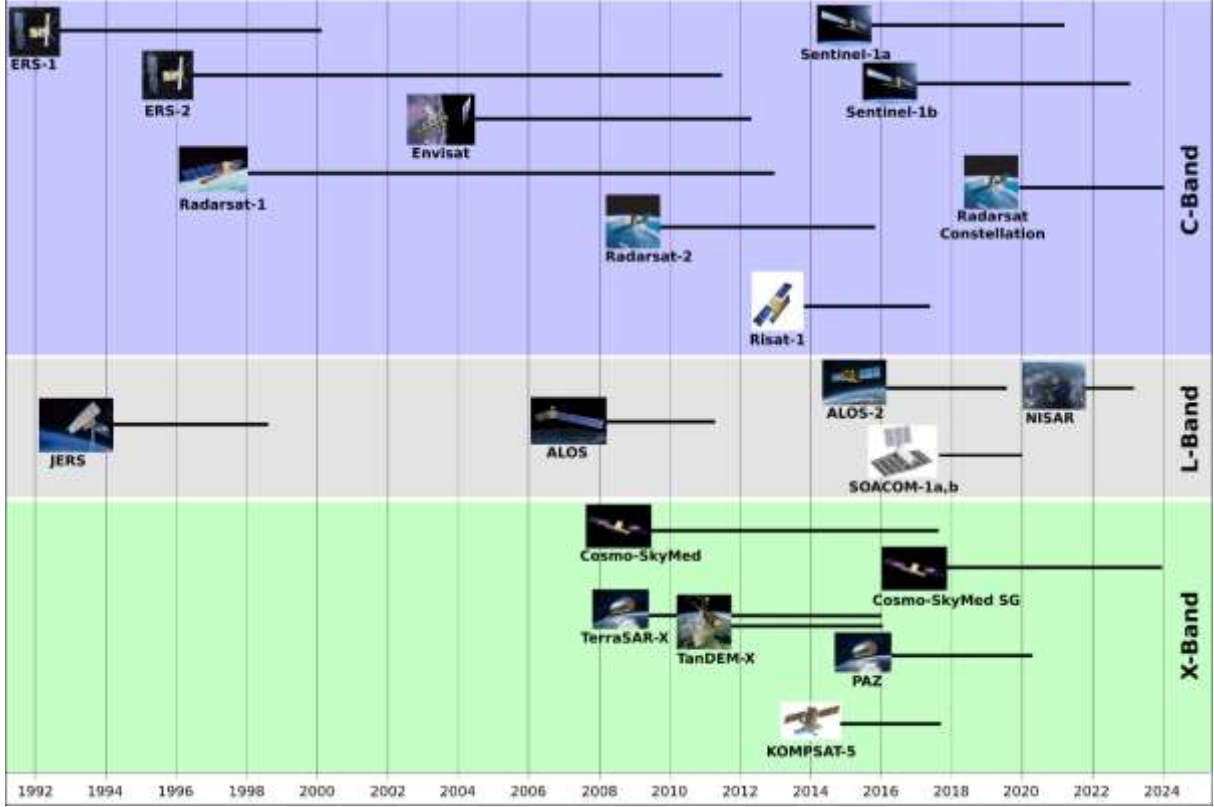
## BÖLÜM 4

### SAR VERİLERİ KULLANARAK TOPRAK NEMİ TAHMİNİ

SAR verileri kullanılarak toprak nemi tahmininde geçmişten günümüze süregelen radar uydu platformlarından yararlanılmıştır. Çeşitli ajansların desteklediği farklı SAR uydu misyonları aşağıdaki şekilde gösterilebilir;

- ESA: ERS-1, ERS-2, Envisat, Sentinel-1
- Japonya Uzay Ajansı (JAXA): JERS-1, ALOS-1, ALOS-2
- Kanada Uzay Ajansı (CSA): Radarsat-1, Radarsat-2, Radarsat constellation
- Alman Hava ve Uzay Merkezi (DLR): TerraSAR-X, TANDEM-X
- Hint Uzay Araştırmaları Örgütü (ISRO): RISAT-1, NISAR (NASA ile birlikte)
- Arjantin Ulusal Uzay Çalışmaları Komisyonu: SAOCOM
- İtalya Uzay Ajansı (ASI): COSMO-SkyMed
- İspanya Ulusal Uzay Teknolojisi Enstitüsü (INTA): PAZ
- Kore Uzay Araştırmaları Enstitüsü (KARI): KOMPSat-5
- ABD Ulusal Atmosfer ve Uzay Dairesi (NASA): NISAR (ISRO ile birlikte).

SAR uydu platformları belirli frekansta L, C ve X bant dalga boylarında çalışmaktadırlar. Şekil 4.1’de; geçmiş, günümüz ve gelecek dönemler için projelendirilmiş SAR uydu misyonları çalıştıkları dalga boylarına ve yıllara göre gösterilmiştir. Şekil 4.1’de uydulardan çıkan çizgiler söz konusu misyonun yıllara göre öngörülen görev süresini göstermektedir.



Şekil 4.1 Geçmiş, günümüz ve gelecek dönemler için planlanan SAR uydu misyonları (URL-5 2017).

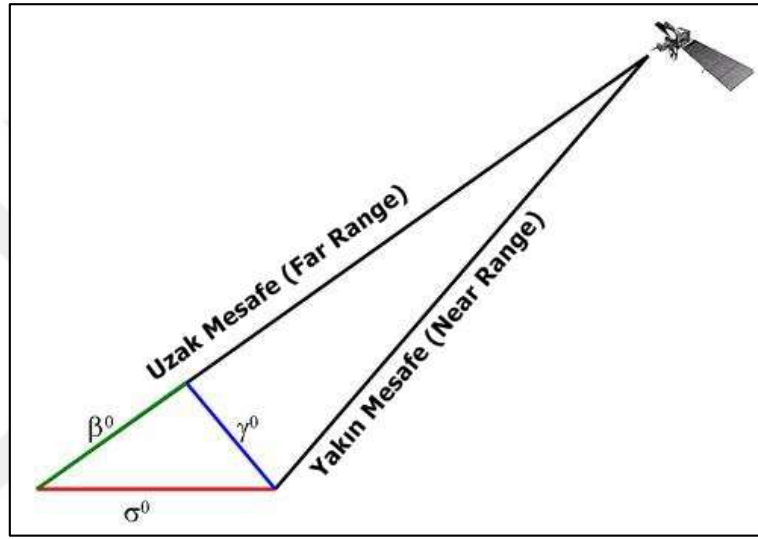
#### 4.1 SAR VERİLERİ İLE TOPRAK NEMİ TAHMİNİNDE KARŞILAŞILAN ZORLUKLAR

SAR görüntüleri ile toprak nemi tahmini, çalışma alanının yoğun bitki örtüsü veya kar ile kaplı olması ve büyük ölçüde topografik değişimler olması durumunda oldukça zorlaşmaktadır (Lakhankar vd. 2009, Sandells vd. 2008). En hassas sonuçlar, üzeri çok az veya neredeyse hiç kaplı olmayan alanlarda, özellikle test alanı düz olduğu zaman elde edilmiştir. Bu bağlamda asıl sorulması gereken soru, arazi örtüsünün ve topografik değişimlerin neden toprak nemi belirlenmesinde zorluklara sebep olduğudur. Arazi örtüsü bulunan bir alanda sensörden hedefe gönderilen ışının yüzeyden saçıldıktan sonra sensör tarafından kaydedilirken, sensör toprak yüzeyini esas alan doğru bir saçılımı almamış olabilir. Çünkü geri saçılan enerji arazi örtüsü tarafından soğurulmuş veya arttırılmış bir şekilde geri dönebilir (Du vd. 2000). Topoğrafya açısından bakıldığında; yüzey pürüzlülüğünün, yüzeyin ya sensöre doğru ya da sensörden uzak yönde eğilim göstereceği için fazla veya eksik tahmin edilebileceği söylenebilir (Ahmad vd. 2011). Toprak nemi tahmini, derinlik yönünden incelendiğinde; UA, üzeri açık yüzey veya az

bitki örtüsü ile kaplı yüzeylerde 5 cm derinlikteki bir tahminde göreceli olarak başarılı olmuştur (Jackson vd. 1996, Chauhan vd. 2003).

## 4.2 SAR VERİLERİNE GETİRİLEN RADYOMETRİK DÜZELTMELER (STANDART GERİ SAÇILIM TÜRLERİ)

SAR görüntülerinin radyometrik düzeltmeleri için beta-nought ( $\beta^0$ ), sigma-nought ( $\sigma^0$ ) ve gamma-nought ( $\gamma^0$ ) dönüşümleri yapılmaktadır (Şekil 4.2).



Şekil 4.2 Radar geri saçılım değerinin izdüşüm değerleri (Kurucu vd. 2008).

### 4.2.1 Beta-nought ( $\beta^0$ )

$\beta^0$ , antenden gönderilen ve antene geri gelen sinyalin gücü arasındaki oranı ifade etmektedir. Radar parlaklığı olarak da bilinen  $\beta^0$ , antenin bakış doğrultusundaki eğik mesafeyi ele alır. Genellikle elektronik bilimi ile ilgilenen sistem tasarımcıları bu dönüşüm katsayılarını kullanırlar.

### 4.2.2 Sigma-nought ( $\sigma^0$ )

$\sigma^0$ , yer düzleminden antene gelen gücü ifade eder. Diğer bir deyişle,  $\sigma^0$  değeri; antene dönen sinyalin eğik alım değerinden ( $\beta^0$ ) yatay alım değerine indirgenmiş şeklidir (Kurucu vd. 2008). Bilim insanları genellikle yersel gözlemlerde bu ölçütü kullanırlar. Toprak nemi

izlenmesinde, yersel nem ölçümleri ile  $\sigma^0$  geri saçılım değerleri arasındaki ilişki göz önüne alınmaktadır.

#### **4.2.3 Gamma-nought ( $\gamma^0$ )**

$\gamma^0$  değeri, anteni kalibre etmek için kullanılan geri saçılım değeridir. Kalibrasyon uzmanları eşit aralıklarla dağılmış değerler ile ilgilendikleri için  $\gamma^0$  değerlerini kullanırlar (Kurucu vd. 2008).  $\gamma^0$  geri saçılım değerlerinde, her bir birim uydudan eşit mesafede olduğu için yakın ve uzak mesafe birbirine eşittir ve bu nedenle eşit yansıma miktarına sahiptir. Bu durum, anten diyagramının belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

### **4.3 SAR VERİLERİ İLE TOPRAK NEMİ TAHMİNİNDE KULLANILAN MODELLER**

SAR verileri ile toprak nemi tahmininde kullanılan modeller aşağıda detaylı olarak sunulmuştur. Yarı deneysel geri saçılım modelleri, bu modeller arasında en fazla tercih edilen modellerdir.

#### **4.3.1 Geri saçılım Modelleri Kullanarak Toprak Nemi Tahmini**

Bir nesnenin geri saçılım katsayısı ( $\sigma^0$ ), nesnenin yüzeyinden saçılan ve radar ünitesi tarafından kaydedilen bir enerji miktarıdır (Wagner 1998). Doğal bir yüzeyden geri saçılan enerji miktarı; radar yapılandırmasına, toprak özelliklerine ve bitki örtüsü karakteristiklerine bağlıdır. Geri saçılım katsayısının şiddeti, sinyalin geliş açısı ( $\theta_i$ ), polarizasyonu ve dalga boyu ( $\lambda$ ) ile birlikte yüzeyin fiziksel ve elektriksel özelliklerine de bağlıdır (Barret vd. 2009).

##### **4.3.1.1 Teorik Geri Saçılım Modeli**

Karakteristikleri bilinen bir alan için yüzey pürüzlülüğü ve dielektrik sabiti gibi toprak özellikleri açısından geri saçılım katsayılarının simüle edilerek doğrudan teorik veya fiziksel modellerin geliştirilmesi, toprak nemi elde etmede model geliştirmek için kullanılan en yaygın yaklaşımlardır (Sikdar ve Cumming 2004). Prensipte olarak, toprak yüzeyinin dielektrik sabiti ve toprak nemi içeriği, bu modellerin matematiksel olarak ters çözümünden tahmin edilebilir. Standart teorik geri saçılım modelleri “Geometrical Optics Model (GOM)” ve “Physical Optics

Model (POM)” modellerinden oluşan Kirchhoff Yaklaşımı (KA) ve Small Perturbation Model (SPM) dir. Bu modeller, pürüzlülük, korelasyon uzunluğu ve dielektrik sabitinin bilindiği durumlarda uygulanabilir. Genel olarak, çok pürüzlü yüzeyler için GOM, orta pürüzlü yüzeyler için POM ve çok düz yüzeyler için SPM en uygun modellerdir (Barret vd. 2009).

IEM, Fung vd. (1992) tarafından geliştirilen ve KA ve SPM modellerinin birleştirilmesi ile oluşan fiziksel tabanlı bir modeldir. Geri saçılım katsayısını hesaplamak için IEM’in ihtiyaç duyduğu parametreler; sensör parametreleri, radar frekansı, polarizasyon, geliş açısı, yüzey parametreleri, dielektrik sabiti, etkin yüzey yüksekliği, korelasyon uzunluğu ve oto korelasyon fonksiyonudur. IEM; (4.1) eşitliğinde görüleceği üzere, temel olarak geri saçılım katsayısını, bilinmeyen toprak nemi içeriği ve yüzey pürüzlülüğü ile bilinen radar yapılandırmasının bir fonksiyonu olarak belirler.

$$\sigma_{pp}^o = \frac{k^2}{2} \exp[-2k_z^2 s^2] \sum_{n=1}^{\infty} s^{2n} |I_{pp}^n|^2 \frac{W^n(-2k_x, 0)}{n!} \quad (4.1)$$

p: yatay (H) veya dikey (V) polarizasyon

k: dalga numarası ( $k=2\pi/\lambda$ )

$\theta$ : geliş açısı

s: pürüzlülük

$I_{pp}^n$ : k, s ve yatay ve dikey polarizasyondaki

Fresnel yansımaya katsayılarına ( $R_H, R_V$ ) bağlıdır.

$W^n$ : yüzey korelasyon katsayısının n. Dereceden Fourier dönüşümüdür

Burada “p” yatay (H) veya dikey (V) polarizasyon, “k” dalga numarası ( $k=2\pi/\lambda$ ),  $k_z=k.\cos\theta$ ,  $k_s=k.\sin\theta$ , “ $\theta$ ” geliş açısı ve “s” etkin yüzey yüksekliğidir. “ $I_{pp}^n$ ”; k, s ve yatay ve dikey polarizasyondaki Fresnel yansımaya katsayılarına ( $R_H, R_V$ ) bağlıdır. “ $W^n$ ”, yüzey korelasyon katsayısının n. Dereceden Fourier dönüşümüdür. IEM, yüzey saçılımını dikkate alan bir model olduğu için açık toprak yüzeylerinde toprak nemi tahmininde kullanılabilir (Altese vd. 1996, Su vd. 1997).

#### 4.3.1.2 Deneysel Geri Saçılım Modeli

Teorik modellerin uygulanmasında karşılaşılan zorluk, deneysel ve yarı-deneysel modellerin gelişimine neden olmuştur (Neusch ve Sties 1999). Deneysel geri saçılım yöntemleri, farklı

başarı derecelerinde, basit çıkarım algoritmaları ile doğal yüzeyler ve mikrodalga etkileşiminin iç yüzünü anlamak için uygulanmıştır (Holah vd. 2005, Wickel vd. 2001, Mathieu vd. 2003). Deneysel modeller; frekans, geliş açısı, yüzey pürüzlülüğü, bitki örtüsü yoğunluğu ve topoğrafya gibi bir takım durumlar değiştiğinde uygulanabilir olmayabilir. Bu nedenle, farklı bir takım durumlar altındaki saha ölçümleri ile uyumlu sonuçlar ortaya çıkmayabilir (Oh vd. 1992).

Deneysel modeller, basitliği ve kısıtlı koşullardaki doğruluğu nedeniyle caziptir (Baghdadi vd. 2006, Srivastava vd. 2003, Weimann vd. 1998). Bu modeller, (4.2) nolu eşitlikte gösterildiği gibi genellikle geri saçılım katsayısı ve toprak nemi ( $m_v$ ) arasında doğrusal bir ilişkisi olduğunu varsaymaktadır (Baghdadi vd. 2007).

$$\sigma^o = am_v + b \quad (4.2)$$

(4.2) nolu eşitlikte, a ve b sabitleri veri uydurma yöntemi ile belirlenir. a sabiti; polarizasyon, geliş açısı ve frekans gibi radar konfigürasyonuna bağlıdır. b sabiti de radar konfigürasyonuna bağlı olan yüzey pürüzlülüğünün etkisi anlamına gelmektedir (Snapir 2014).

#### 4.3.1.3 Yarı-deneysel Geri Saçılım Modeli

Yarı-deneysel geri saçılım modelleri, deneysel geri saçılım modelinin basitliği ile teorik geri saçılım modellerinin karmaşıklığı arasında bir uzlaşma sunmaktadır ve yüzey pürüzlülüğü hakkında az bilgi olduğu ya da hiç bilgi olmadığı durumlarda uygulanabilir (D'Urso ve Minacapilli 2006). Bu modeller, deneysel geri saçılım modelleri için bir iyileştirme değildir. Öyle ki, fiziksel altyapıdan başlarlar ve daha sonra teorik geri saçılım yöntemini basitleştirmek için simüle edilmiş veya deneysel veri setlerini kullanırlar (Walker ve Houser 2004). Bu modellerin asıl üstün yönü, deneysel geri saçılım yönteminin aksine konum tabanlı olmamasıdır. En çok kullanılan yarı-deneysel modeller, Oh vd. (1992), Dubois vd. (1995) ve Shi vd. (1997) tarafından ortaya çıkarılmıştır.

Oh vd. (1992, 1994, 2002) ve Oh (2004), birçok açık toprak yüzeyi üzerinde teorik modeller, saçılım ölçer ölçümleri ve SAR gözlemlerini temel alarak yarı-deneysel bir geri saçılım modeli geliştirmişlerdir. Model; eş polarizasyon oranı  $p = \frac{\sigma_{HH}^o}{\sigma_{VV}^o}$  ve çapraz polarizasyon oranını

$q = \frac{\sigma_{HV}^o}{\sigma_{VV}^o}$ , geliş açısı ( $\theta$ ), dalga numarası ( $k$ ), pürüzlülük ( $h_{rms}$ ) ve hacimsel toprak nemini ( $m_v$ ) ilişkilendirir.

Oh vd. (1992) modelin ilk versiyonunu (4.3) ve (4.4) eşitlikleriyle sunmuşlardır.

$$p = \frac{\sigma_{HH}^o}{\sigma_{VV}^o} = \left[ 1 - \left( \frac{\theta}{90^\circ} \right)^{\frac{1}{3\Gamma_o}} \exp(-k \cdot h_{rms}) \right]^2 \quad (4.3)$$

$$q = \frac{\sigma_{HV}^o}{\sigma_{VV}^o} = 0.23 \sqrt{\Gamma_o} [1 - \exp(-k \cdot h_{rms})] \quad (4.4)$$

Burada;  $p$  ve  $q$ , eş ve çapraz polarize edilmiş geri saçılım oranlarını temsil eder.  $\Gamma_o$ , nadirde yüzeyin Fresnel yansıtma katsayısıdır ve (4.5) eşitliği ile elde edilir.

$$\Gamma_o = \left| \frac{1 - \sqrt{\epsilon}}{1 + \sqrt{\epsilon}} \right|^2 \quad (4.5)$$

$\sigma^o$ ; HH, HV ve VV polarizasyonlarındaki geri saçılım katsayısı,  $m_v$  hacimsel toprak nemi,  $k \cdot h_{rms}$  normalize edilmiş etkin toprak pürüzlülüğü ve  $\epsilon$  dielektrik sabitidir.

Oh vd. (1994) tarafından “ $q$ ” için geliş açısı etkisini de ele alabilmek amacıyla (4.6) eşitliğindeki ifade önerilmiştir.

$$q = \frac{\sigma_{HV}^o}{\sigma_{VV}^o} = 0.25 \sqrt{\Gamma_o} (0.1 + \sin^{0.9} \theta) (1 - e^{-[1.4 - 1.6\Gamma_o]k \cdot h_{rms}}) \quad (4.6)$$

2002 yılında, “ $p$ ” ve “ $q$ ” ifadeleri tekrar yenilenmiştir ve çapraz polarize geri saçılım katsayısı için aşağıdaki (4.7), (4.8) ve (4.9) ifadeleri önerilmiştir.

$$p = \frac{\sigma_{HH}^o}{\sigma_{VV}^o} = \left[ 1 - \left( \frac{\theta}{90^\circ} \right)^{0.35 \cdot m_v^{-0.65}} \exp(-0.4 \cdot (k \cdot h_{rms}^{1.4})) \right]^2 \quad (4.7)$$

$$q = \frac{\sigma_{HV}^o}{\sigma_{VV}^o} = 0.1 \left( \frac{h_{rms}}{L} + \sin 1.3\theta \right)^{1.2} (1 - e^{-0.9(k \cdot h_{rms})^{0.8}}) \quad (4.8)$$



$$\sigma_{HV}^0 = 0.11 m v^{0.7} \cos^{2.2} \theta (1 - e^{-0.32(k \cdot h_{rms})^{1.8}}) \quad (4.9)$$

Yukarda verilen eşitliklerde, korelasyon uzunluğunun (L) doğru olmadığı görülmüştür ve bu nedenle “q” ifadesinin pürüzlülük parametresine ( $\frac{h_{rms}}{L}$ ) duyarsız olduğu belirlenmiştir. 2004 yılında Oh “q” için korelasyon uzunluğunu ihmal eden (4.10) nolu formülü önermiştir.

$$q = \frac{\sigma_{HV}^0}{\sigma_{VV}^0} = 0.095(0.13 + \sin 1.5\theta)^{1.4} (1 - e^{-1.3(k \cdot h_{rms})^{0.9}}) \quad (4.10)$$

Algoritma, açık alanlarda  $0.1 \leq k \cdot h_{rms} \leq 2.5$ ,  $9\% \leq m_v \leq 31\%$  ve  $10^\circ \leq \theta \leq 70^\circ$  değerleri için optimize edilmiştir. Oh modellerinin temel avantajı, sadece pürüzlülük gibi bir yüzey parametresinin yeterli olmasıdır ve multi-polarize veri olduğu zaman hem dielektrik sabiti hem de yüzey pürüzlülüğü saha ölçümüne gerek kalmaksızın çıkarılabilir (Álvarez-Mozos vd. 2006).

Dubois vd. (1995), saçılım ölçer (scatterometer) verileri kullanarak, açık yüzeylerde eş-polarize radar geri saçılım katsayılarını ( $\sigma_{HH}^0, \sigma_{VV}^0$ ) modellemek için yarı-deneysel bir model geliştirmişlerdir.  $\sigma_{HH}^0$  ve  $\sigma_{VV}^0$  (4.11) ve (4.12) eşitliklerinde görüldüğü gibi; geliş açısı ( $\theta$ ), dielektrik sabiti ( $\epsilon$ ), pürüzlülük ( $h_{rms}$ ) ve dalga boyu ( $\lambda = 2\pi/k$  cm) gibi ifadeleri içermektedir. Modelde, elektromanyetik pürüzlülük  $k \cdot h_{rms}$  olarak tanımlanmıştır.

$$\sigma_{HH}^0 = 10^{-2.75} \left( \frac{\cos^{1.5} \theta}{\sin^5 \theta} \right) 10^{0.028\epsilon \tan \theta} (k \cdot h_{rms} \cdot \sin \theta)^{1.4} \lambda^{0.7} \quad (4.11)$$

$$\sigma_{VV}^0 = 10^{-2.35} \left( \frac{\cos^3 \theta}{\sin^3 \theta} \right) 10^{0.046\epsilon \tan \theta} (k \cdot h_{rms} \cdot \sin \theta)^{1.1} \lambda^{0.7} \quad (4.12)$$

Modelde yer alan pürüzlülük hesaplanmış, dielektrik sabiti C-bant field-portable dielektrik probu kullanılarak 4 cm derinliğinde ölçülmüş ve deneysel eğriler kullanılarak dielektrik sabiti hacimsel toprak nemine çevrilmiştir. Eş-polarizasyon, sistem gürültüsüne karşı zayıf geri dönüşü olan çapraz-polarizasyona göre daha az duyarlı olduğu için tercih edilmiştir. Bitki örtüsü varlığında, algoritma toprak nemini olduğundan az tahmin etmiştir. Algoritma açık alanlarda  $k \cdot h_{rms} \leq 2.5$ ,  $m_v \leq 35\%$  ve  $30^\circ \leq \theta$  değerleri için optimize edilmiştir.

(4.11) ve (4.12) eşitliklerinin ters çözümü, dalga boyu ve geliş açısı gibi radar yapılandırma parametreleri ile HH ve VV şeklinde polarize edilen geri saçılımın bir fonksiyonu olarak dielektrik sabitini ifade eder. Dubois modelinin kullanıldığı çalışmalarda, genellikle açık ve az bitki örtüsü kaplı yüzeylerde çok iyi sonuçlar elde edilmiştir (Sikdar ve Cumming 2004, Neusch ve Sties 1999). Model, sistem gürültüsüne daha az duyarlı olduğu, kalibre edilmesi daha kolay olduğu ve çapraz polarize edilmiş geri saçılım katsayılarından daha doğru olduğu için sadece eş kutuplu geri saçılım katsayılarını ele alır. Ek olarak, sadece iki polarizasyon gerektiği için Oh modelinde olduğu gibi çift polarize edilmiş sistemlerde de uygulanabilir (Barret vd. 2009). Ayrıca, Ji vd. (1996) yaptıkları çalışmada, hem C hem de L bantlarında Dubois modelinden daha iyi sonuçlar ürettiğini bulmuştur. Fakat Baghdadi vd. (2006); Oh, Dubois ve IEM modellerinin tamamının radar yansımalarını olduğundan fazla tahmin ettiğini belirtmiştir.

Shi vd. (1997) tarafından geliştirilen model, öncekiler kadar sık kullanılmamaktadır ve IEM'in tek saçılım terimini kullanarak simüle edilen geri saçılım katsayılarının bir regresyon analizine dayanır. Shi modeli, IEM modelinin uygulanmasının daha pratik yapmak ve ters çözümler için modeli basit bir hale getirmeyi amaçlamaktadır. Oh ve Dubois modellerinin aksine Shi modeli, sadece geliş açısı  $25^\circ$  ile  $70^\circ$  arasında değişen L bant ölçümleri ile elde edilmiştir. Fakat Dubois modelinde olduğu gibi sadece eş kutuplu terimler için geçerlidir.

Buraya kadar söz edilen yarı-deneysel modeller sadece çorak toprak yüzeyleri için geçerliydi. Bazı çalışmalarda büyüyen bitki örtüsü ile hataların artmasına rağmen, modellerin seyrek bitki örtüsü bulunan alanlarda oldukça doğru sonuçlar verdiği görülmüştür (van Zyl vd. 2003). Bununla birlikte, Attema ve Ulaby (1978) tarafından geliştirilen yarı-deneysel WCM çeşitli çalışmalarda kullanılmıştır (Taconet vd. 1996, Maity vd. 2004). WCM, bitki örtüsü tabakasındaki geri saçılımı ele alır. Modele göre, eş kutuplu bir kanaldaki toplam geri saçılım  $q_q$  ( $\sigma_{qq}^o$ ); bitki örtüsü ve toprak geri saçılımlarının ( $\sigma_{veg}^o, \sigma_{soil}^o$ ) katkısı ile bitki tabakasının çift taraflı sönümlenmesinin ( $\tau^2$ ) bağımsız toplamıdır. Verilen bir geliş açısı için eş kutuplu geri saçılım (4.13) eşitliği ile ifade edilebilir.

$$\sigma_{qq}^o = \sigma_{veg}^o + \tau^2 \sigma_{soil}^o \quad (4.13)$$

$$\sigma_{veg}^o = A \cdot V_1 \cdot \cos\theta (1 - \tau^2) \quad (4.14)$$

$$\tau^2 = e^{(-2B \cdot \frac{V_2}{\cos\theta})} \quad (4.15)$$

$$\sigma_{soil}^0 = C + D \cdot m_v \quad (4.16)$$

$V_1$  ve  $V_2$  bitki tanımlayıcılar,  $\theta$  geliş açısı, A,B,C ve D uygun model için belirlenen farklı bitki ve toprak özelliklerini temsil eder. WCM, birçok yazar tarafından model üzerinde bir takım değişiklikler yapılarak uygulanmıştır (Ulaby vd. 1984, Champion 1996). Model, uygulanması esnasındaki tutarsızlığına rağmen değişik sonuçlarla radar modelleme çalışmalarında geniş bir kullanım alanı bulmuştur (Graham ve Harris 2003).

### 4.3.2 Diğer Model Tabanlı Yaklaşımlar

Bu bölümde, teorik ve deneysel geri saçılım modelleri dışında geliştirilen modellere yer verilmiştir.

#### 4.3.2.1 Dielektrik Karıştırma (Mixing) Modelleri

Yukarda bahsedilen yöntemler dielektrik sabiti değerlerini çıktı olarak verirler. Bu değerler ile hacimsel toprak nemi arasında dönüşüm yapmak için bir dielektrik karıştırma modeline gereksinim vardır. Cole ve Cole (1942) ve Debye (1929) modelleri maddenin frekans davranışını, gevşeme zamanı ile ilişkilendirmiştir ancak her özel madde ve yüzey için tekrar kalibre edilmeleri gerekmektedir. Toprağın dielektrik özellikleri açısından, farklı toprak türleri arasındaki dielektrik farklarını tanımlamak için bu modellerin kullanımı zordur. Çünkü her bir toprak bileşimi, modelin geliştirilmesini gerektirir (Van Dam vd. 2005).

#### 4.3.2.2 SAR Data Füzyonu

Radar ve optik görüntülerde karşılaşılan problemleri (radar görüntülerinde benek (speckle) hatası ve optik görüntülerde kötü hava koşullarında görüntü alamama ve başarılı yansıtım değerlerinin olması vb.) gidermek için bu farklı türdeki görüntülerin birleştirilmesi yapılır. Birçok çalışma ya SAR ve pasif mikrodalga teknolojilerinin füzyonu ile ya da SAR ile optik verinin füzyonu ile ilgilidir. Fakat az da olsa iki aktif sistemin füzyonu ile yapılan çalışmalar da mevcuttur.

Wang ve Qi (2000) ve Wang vd. (2004) yaptıkları çalışmada, yüzey pürüzlülüğü ve bitki örtüsü etkisini en aza indirmek ve ortalama seyrek bir bitki örtüsü bulunan bir alandan toprak nemi çıkarımı yapmak için ERS-2 ve Landsat TM verilerini kullanarak bir yaklaşım geliştirmişlerdir. Moran vd. (2000) ve Notarnicola vd. (2006) yaptıkları çalışmalarda, toprak nemi tahmini için optik ve çok zamanlı SAR görüntülerinin füzyonunu kullanmışlardır.

#### **4.3.3 Değişim Belirleme Yaklaşımları Kullanarak Toprak Nemi Tahmini**

Belirli yüzey olgusunun zamansal değişiminin belirlenmesi, yüksek konumsal ve zamansal çözünürlükler ile dünya yüzeyinin jeofiziksel ve biyofiziksel bilgilerinin çıkarılması için uydu sensörlerinin albenisini artırmasının arkasındaki en önemli nedendir. Değişim belirleme yaklaşımları, yüzey pürüzlülüğü homojen dağılımı ve ölçeği hakkında herhangi bir ön varsayım yapmaksızın belli bir zamanda sabit olduğunu varsayarak yüzey pürüzlülüğü değişimlerinin etkisini ortadan kaldırmak için kullanılır (Kornelsen ve Coulibaly 2013). Görüntü alımları arasında bitki örtüsü büyümesinin değişmediği varsayılır. Başka bir deyişle görüntüler arasındaki zaman aralığı bitki gelişimi için oldukça azdır (Joseph vd. 2008). Aksi takdirde bitki örtüsü modelde açıkça izah edilmelidir (Wickel vd. 2001). Değişim belirleme yaklaşımları sadece kısa zaman aralıklarında mümkün olabilir çünkü tarım, erozyon ve diğer süreçler özellikle daha küçük ölçeklerde etkili olan yüzey pürüzlülüğünü değiştirebilir.

#### **4.3.4 Polarimetrik Parametreler Kullanarak Toprak Nemi Tahmini**

Toprak nemi elde etme problemine değinmek için alternatif ve çok daha yeni bir teknik tutarlılık ( $\gamma$ ), düzensizlik (H) ve alfa açısı ( $\alpha$ ) gibi polarimetrik parametrelerin kullanılmasıdır. Tamamen polarimetrik SAR (PolSAR) ve kompakt polarimetrik SAR (Souyris vd. 2005, Nord vd. 2009) ölçümleri, toprak nemi ve yüzey pürüzlülüğü gibi yüzey parametreleri ve arazi örtüsü değişiminde polarimetrik işaretin bağımlılığını çalışmak için kullanılmıştır. Geleneksel SAR yerine PolSAR kullanımının esas avantajı; bir hedef yüzeyini eş zamanlı olarak tüm polarizasyonlarda ölçebilme yeteneğidir. Geleneksel SAR uyduları, ışını hem gönderirken hem de alırken sabit bir polarizasyonda (ERS-1/2, Radarsat 1) işlev yapar. Ancak, şu an yeni sensörler çift (ENVISAT ASAR) veya tamamen polarimetrik (Radarsat-2, TerraSAR-X, ALOS-2) yetenekleri ile bir hedefin yansıtıcılığını ikili lineer polarizasyonların tüm kombinasyonlarında (HH, VV, HV, VH) ölçer.

Polarimetrik SAR'ın asıl karakteristiği, görüntülenen bir ünitenin farklı türlerdeki saçılım mekanizmalarının ayırımına izin vermesidir. Geleneksel tek polarizasyon SAR'ın aksine PolSAR elde edilen sonuçların doğruluğu ve veri analizi kalitesine önemli katkılar sağlayabilir. Tamamen polarimetrik SAR'dan toprak nemi çıkarımındaki temel kısıtlama geleneksel SAR'da da olduğu gibi bitki örtüsünün varlığıdır.

#### **4.4 SIK KULLANILAN GERİ SAÇILIM MODELLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI**

Yukarıda detaylı olarak anlatılan, literatürde sık kullanılan Oh, Dubois ve IEM modelleri, Çizelge 4.1'de gösterildiği gibi karşılaştırmalı olarak incelenmiştir. Çizelge 4.1'e göre IEM ve Oh Modelleri çapraz polarizasyonlu geri saçılım değerlerini de dikkate alırken Dubois Modeli sadece eş polarizasyonlu geri saçılım değerlerini göz önüne almaktadır. Üç model de X, C, ve L bantlar için kullanılabilir. Dubois modelinde, geliş açısı 30° üzerinde olduğuunda iyi sonuçlar elde edilmiştir. IEM modelinde, modelin doğruluğu geliş açısı ile değil pürüzlülük değerinin 1.5 cm'den büyük ve küçük olduğu durumlarda kullanılan korelasyon fonksiyonu ile ilişkilendirilmiştir. Oh modelinde, geliş açısının değişimine göre hacimsel toprak nemi değerlerinin optimuma yaklaştığı görülmektedir. Yarı-deneysel modeller olan Dubois ve Oh modellerinde bilinmesi gereken parametreler, IEM modeline göre az sayıdadır. Ancak, Dubois ve Oh modelleri açık alanlar için kullanılırken, IEM modeli az bitki örtüsü kaplı alanlar için de kullanılabilir.

**Çizelge 4.1** En çok kullanılan SAR toprak nemi modellerinin karşılaştırılması.

| MODEL                 | İYİ SONUÇLARIN ALINDIĞI DURUMLAR  | FREKANS   | UYGUN POLARİZASYON | GELİŞ AÇISI | BİLİNMESİ GEREKEN PARAMETRELER  | ARAZİ YAPISI   |
|-----------------------|---|---|--------------------|-------------|---|--|
| <b>IEM</b>            | IEM, HH ve VV polarizasyonlarında iki durumda geri saçılımı doğru simüle etmiştir: <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>h_{rms} &lt; 1.5\text{cm}</math>-üstel korelasyon fonksiyonu</li> <li>• <math>h_{rms} &gt; 1.5\text{cm}</math>-Gauss korelasyon fonksiyonu</li> </ul> | 4-12 GHz ve daha farklı frekanslarda uygulanabilir. | HH, VV ve HV       | 30°-60°     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Radar frekansı</li> <li>• Polarizasyon</li> <li>• Geliş açısı</li> <li>• Dielektrik sabiti</li> <li>• Etkin yüzey yüksekliği</li> <li>• Korelasyon uzunluğu</li> <li>• Oto korelasyon fonksiyonu</li> </ul>                        | <p>Açık yüzeyler</p> <p>Az bitki örtüsü kaplı yüzeyler</p> <p>Geniş pürüzlülük yelpazesi</p> |
| <b>Dubois MODELİ</b>  | Açık alanlarda<br>$k.h_{rms} \leq 2.5$<br>$m_v \leq \%35$<br>$30^\circ \leq \theta$   | 1.5-11 GHz<br>(X, C, L Bant)                        | HH, VV             | 10°-70°     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pürüzlülük (<math>h_{rms}</math>)</li> <li>• Dielektrik sabiti (<math>\epsilon</math>)</li> </ul>  | Bitki örtüsü olmayan açık yüzeyler   |
| <b>Oh MODELİ 2004</b> | $k.h_{rms} \leq 3.5$<br>$m_v > [-6.286/\ln(\theta/90)]^{-1.538}$<br>(Örneğin; 30° için $m_v > 0.068 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ )   | Multi Frekans<br>(X, C, L Bant)                     | HH, HV ve VV       | 10°-70°     | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Geliş açısı</li> <li>• Hacimsel toprak nemi (3cm derinliğinde ölçülmüş)</li> <li>• Pürüzlülük parametreleri (<math>k_s, k_l, s</math>; pürüzlülük, <math>l</math>; korelasyon uzunluğu, <math>k</math>; dalga numarası)</li> </ul> | Bitki örtüsü olmayan açık yüzeyler   |



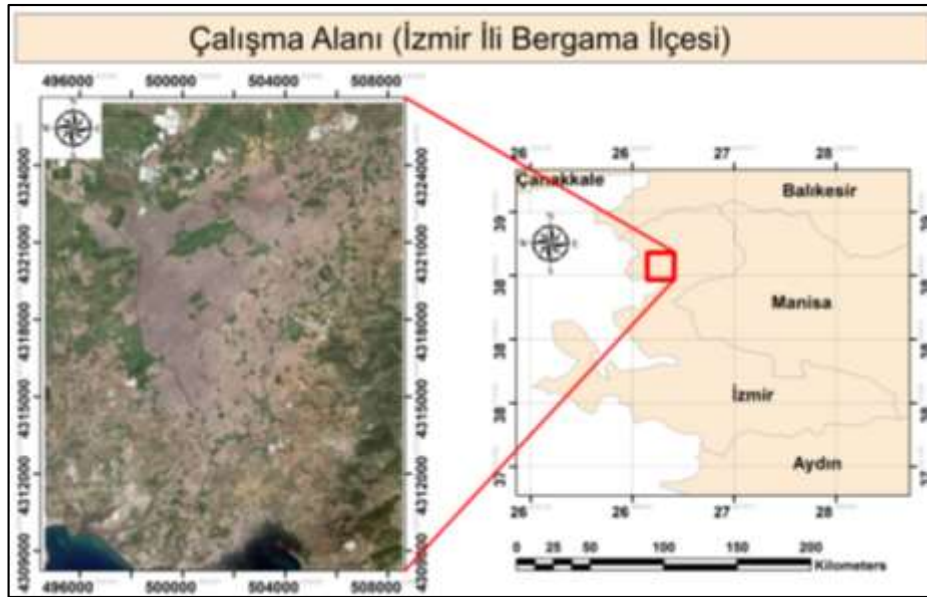
## BÖLÜM 5

### UYGULAMA

Bu bölümde; çalışma alanının genel özellikleri, çalışmada kullanılan materyaller ve metot hakkında bilgiler sunulmuştur.

#### 5.1 ÇALIŞMA ALANI VE ÖZELLİKLERİ

İzmir İline bağlı Bergama ilçesinin Şekil 5.1’de gösterilen sınırlar içerisinde kalan bölge çalışma alanı olarak seçilmiştir ve yaklaşık 150 km<sup>2</sup>’lik yüzölçümüne sahiptir. Çalışma alanının güncel arazi kullanımı incelendiği zaman, bölgede tarım faaliyetlerinin yoğun olduğu görülmektedir. Bergama ilçesi çok verimli toprakların bulunduğu zengin bir tarım bölgesidir. Bitki örtüsü, görünüm olarak çok değişkendir. İlçede, nüfusun %40 oranını karşılayan kısmı köy ve beldelerde yaşamaktadır. Genel nüfusun %40’ı doğrudan, %20’si ise dolaylı olarak tarımla uğraşmaktadır (URL-6 2013).



Şekil 5.1 Çalışma alanının 18.04.2016 tarihli Sentinel-2 doğal renkli görüntüsü (solda) ve genel bir bakış (sağda).



Çalışma alanında, farklı eğim gruplarına sahip yapılarla birlikte tarım arazileri, zeytinlik, mera gibi farklı arazi örtüleri de mevcuttur. Bakırçay nehrinin bir kolu, gösterilen çalışma alanının orta kısmından geçmekte ve bu alandaki tarım arazilerini beslemektedir. Kocadağ eteklerinden doğan Gelenbe deresinin Karakurt boğazından geçerek Kırkağaç Ovasına girmesiyle birlikte Bakırçay adını alan Bakırçay Nehri'nin uzunluğu 120 km'dir. Madra ve Yunt Dağı'ndan çıkan irili ufaklı pek çok kolla beslenen Bakırçay'ın belli kaynakları akış yönüne doğru Gelenbe Çayı, Aksu, Yağcılı, Menteşe, Ilıca, Karadere, Kırkeçit, Gümüş, Kestel, Bergama, Sınır, Boğazasar ve Sarıazmak dereleridir. En önemli kolu olan Yağcılar Çayı ile Kınık'ta birleşen Bakırçay, Bergama yakınlarından geçerek Çandarlı'dan Ege Denizi'ne dökülür. Halihazırda Boğazasar Çayı'nın da önünün tıkanmasıyla birlikte Bakırçay şu an Çandarlı'dan denize dökülmektedir (Gültekin vd. 1998, Gündoğdu ve Turhan 2004).

Bakırçay Havzası'nın yüz ölçümü 10003 km<sup>2</sup>'dir. Havzada yıllık ortalama yağış miktarı 624,2 mm<sup>3</sup> olup havzadaki yıllık toplam akış miktarı ise 2.09 km<sup>3</sup>'dür. Havzanın toplam tarım alanı 367429 ha, sulanabilir alan ise 316348 ha'dır (NEN Mühendislik Danışmanlık Ltd. Şti. 2001, Gündoğdu ve Turhan 2004). Orta Enlem kuşağında yer alması ve kıyı şehri olması nedeni ile Akdeniz iklimi karakteri hakimdir. Yazlar sıcak ve kurak, kışlar ılık ve bol yağışlı, bahar ayları ise geçiş özelliği gösterir. Güneşlenme potansiyeli yüksektir. Rüzgâr durumu denize açık kıyı şeridi ve farklı topografik yapıları bir arada bulundurması nedeni ile önemli bir potansiyel oluşturmaktadır (İzmir MGM 2015). Bergama'nın iklimi İzmir'e kıyasla yazları daha sıcakken kışları daha yağmurlu olması açısından kendine özgüdür (Erköse 2010).

Bergama ilçesinin en verimli tarım arazilerini, Bakırçay Nehri'nin taşıdığı ve biriktirdiği alüvyonlar oluşturmaktadır. İlçede özellikle tütün, pamuk, domates, bamyası, zeytin ve üzüm başlıca yetiştirilen ürünlerdir. Tarımsal ürün zenginliği bakımından İzmir'in en gelişmiş ilçelerinden birisidir. Bu bağlamda ekonomisi tarıma dayanmaktadır. İlçedeki tarımsal üretim için kullanılan alanın büyük bir kısmının tarla bitkilerine ayrıldığı, tarla bitkilerini meyve ve sebze alanlarının izlediği görülmektedir. Bergama ilçesi; arazi varlığı, göl-gölet vb. su yüzeyleri hariç toplam 153915.80 ha yüz ölçümüne sahiptir. Bu alanın, %14.38'lik bölümü orman mülkiyeti altında ve yaklaşık %3.12'lik bölümü ise ilçe merkezi ve kırsal yerleşim alanı olarak kullanılmaktadır. İlçe arazilerinin %82.36'lık bölümü ise Gıda Tarım ve Hayvancılık Bakanlığı'nın sorumluluğu altındaki arazilerden oluşmaktadır (URL-6 2013).

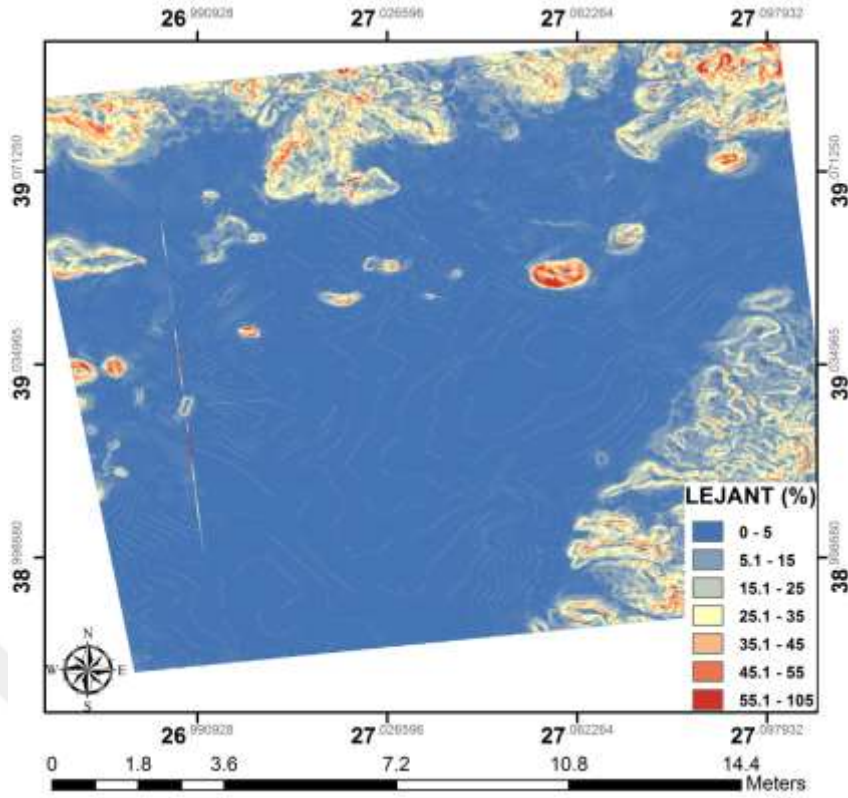
Bergama İlçesinde tarım sektörü, istihdam ve üretim bakımından en önemli sektör durumundadır. Özellikle son 10-15 yıldır tarım sektörü istihdam ve geçim kaynağı açısından çok önemli hale gelmiştir. Bu önem, gelecekte de giderek artış gösterecektir. Bu nedenle, bölgedeki iklim değişikliklerinin su kaynaklarına ve bu bağlamda toprak nemine olan etkilerinin araştırılması ile sürdürülebilir kırsal kalkınmanın sağlanması, bölge ve ülke ekonomisi açısından oldukça büyük önem taşımaktadır (URL-6 2013).

Çalışma alanında, 7 Nisan 2016 tarihinde istikşaf çalışması yapılarak yersel ölçümlerin yapılacağı tarlalar (test alanları) belirlenmiştir (Şekil 5.2). Çalışma alanında, 13 noktadan toprak özellikleri alınmış bu 13 nokta etrafında kümelenmiş tarlalar baz alınarak test alanları belirlenmiştir. Belirlenen test alanlarında uydu verileri ile eş zamanlı olarak gravimetrik toprak nemi, toprak ve bitki parametreleri ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu parametreler ile ilgili detaylı bilgiler sonraki bölümlerde sunulmuştur.

Çalışma alanında seçilen test alanlarının SAR hata kaynaklarından etkilenmemesi için dağlık olmayan az eğimli yerlerden seçilmesine dikkat edilmiştir. Çalışma alanına ait 10m konumsal çözünürlüğe sahip SYM, Coğrafi Bilgi Sistemleri (CBS) Genel Müdürlüğü'nden temin edilmiştir. SYM verisi kullanılarak çıkarılan eğim haritası Şekil 5.3'te sunulmuştur.



Şekil 5.2 Çalışma alanında seçilen tarlalar (test alanları).



Şekil 5.3 Çalışma alanı eğim haritası.

## 5.2 MATERYAL

Çalışma kapsamında, toprak nemi tahmininde kullanılacak SAR verilerinin ilk olarak ALOS-2 uydusuna ait veriler olmasına karar verilmiştir. Literatürde, oldukça fazla X ve C bant SAR uydularına ait çalışmaların olması ve şu an L banda sahip tek SAR uydusunun ALOS-2 olması bu verinin seçilmesinde önemli etkenler olmuştur. ALOS-2 verileri JAXA tarafından ücretli olarak satılmakta olduğu için veri temini amacıyla BEÜ Lisansüstü Öğrenim ve Araştırma Projesi yazılmış ve 2015-47912266-04 nolu proje kabul edilmiştir. Proje kabulünden sonra yapılan planlamada, çalışma alanı olan İzmir ili Bergama ilçesinden geçen ALOS-2 uydusu görüntü alım tarihleri NİK Sistem tarafından edinilmiş ve bu doğrultuda 22.04.2016 ve 12.06.2016 tarihli iki adet ALOS-2 veri seti alınması kararlaştırılmıştır. Çalışmanın ilerleyen aşamalarında, Sentinel-1A SAR verilerinin ESA tarafından ücretsiz olarak temin edileceğinin ilan edilmesiyle ALOS-2 verilerinin alım tarihlerine yakın olan Sentinel-1A verileri de temin edilerek çalışmaya dahil edilmiştir. Bu bağlamda, çalışmada SAR verisi materyali olarak ALOS-2 ve Sentinel-1A uydu verileri kullanılmıştır. Bu iki uydu aynı zamanda yeni nesil SAR uyduları olmaları nedeniyle doktora çalışmasının özgünlüğünün artacağı düşünülmektedir. Çalışmada, SAR uydu verilerine ek olarak bitki örtüsü olan alanlarda toprak nemi tahmininde

kullanmak üzere Sentinel-2A optik uydusundan da NDVI çıkarımında yararlanılmıştır. Çalışmada kullanılan SAR ve optik uydu verilerine ait genel özellikler Çizelge 5.1’de sunulmuştur.

**Çizelge 5.1** Çalışmada kullanılan SAR ve optik uydu verilerine ait genel özellikler.

| UYDU PLATFORMU | GÖRÜNTÜ ALIM TARİHLERİ | POLARİZASYON & BANTLAR | GÖRÜNTÜLEME SIKLIĞI |
|----------------|------------------------|------------------------|---------------------|
| ALOS-2         | 22 Nisan 2016          | HH + HV + VH + VV      | 14 Gün              |
|                | 12 Haziran 2016        |                        |                     |
| Sentinel-1A    | 18 Nisan 2016          | VH + VV                | 12 Gün              |
|                | 24 Nisan 2016          |                        |                     |
|                | 11 Haziran 2016        |                        |                     |
| Sentinel-2A    | 18 Nisan 2016          | 11 Spektral Bant       | 10 Gün              |
|                | 17 Haziran 2016        |                        |                     |

### 5.2.1 ALOS-2 (DAICHI-2) Uydusu

ALOS-2 uydusu JAXA tarafından 24 Mayıs 2014 yılında fırlatılmış ve hali hazırda çalışmakta olan tek L bant algılayıcıya sahip SAR uydusudur. ALOS-2, ALOS uydusunun ikinci nesil sürümüdür ancak yeni uydu yapısı eski sürümünden oldukça farklıdır. ALOS uydusu üç farklı sensöre sahipken, ALOS-2 sadece SAR özellikleri ile tasarlanmıştır. ALOS-2 uydusuna ait genel özellikler Çizelge 4.2’de sunulmuştur (URL-7 2017).

**Çizelge 4.2** ALOS-2 uydusuna ait genel özellikler.

|                                   |                                   |
|-----------------------------------|-----------------------------------|
| <b>Çalışma Süresi</b>             | Öngörülen: 5 yıl<br>Hedef: 7 yıl  |
| <b>Fırlatılma Tarihi</b>          | 24 Mayıs 2014                     |
| <b>Fırlatma Aracı</b>             | H-II A24                          |
| <b>Fırlatılma Yeri</b>            | Tanegashima Uzay Merkezi, Japonya |
| <b>Konum (Ekvatorda)</b>          | 628 km                            |
| <b>Görüntüleme Sıklığı</b>        | 14 gün                            |
| <b>Yörünge Boyutu (yörüngede)</b> | Yaklaşık 10.0m×16.5m×3.7m         |
| <b>PALSAR-2 Sensörü (Frekans)</b> | L Bant (1.2 GHz)                  |

ALOS-2 uydusunun öncelikli misyonları; güvenli yaşam için felaketlerin gözlemlenmesi, küresel ölçekte çevre sorunlarının belirlenmesi, ekonomik ve besin maddeleri üzerine katkıları olarak JAXA tarafından belirlenmiştir. ALOS-2; spotlight, strip map ve scansar olmak üzere üç adet görüntüleme moduna sahiptir (URL-8 2015). Bu görüntüleme modlarına ait detaylı bilgiler Çizelge 4.3'te gösterilmiştir. Çalışmada, Çizelge 4,3'te koyu olarak gösterilen strip map high sensitive modunda alınan full polarimetrik ALOS-2 verisi kullanılmıştır.

**Çizelge 4.3** ALOS-2 uydusu görüntüleme modları.

| Gözlem Modu  | Menzil Çözünürlüğü | Azimut Çözünürlüğü | Çerçeve Boyutu   | Polarimetri                                     |
|--|--------------------|--------------------|------------------|---|
| Spotlight  | 3.0m               | 1.0m               | 25kmx25km        | Tek (HH, HV, VH, VV)                            |
| Strip map Ultra-Fine                               | 3.0m               | 3.0m               | 55kmx70km        | Tek (HH, HV, VH, VV)<br>Çift (HH + HV, VH + VV) |
| Strip map High-sensitive                           | 6.0m               | 4.3m               | 55kmx70km        | Tek (HH, HV, VH, VV)<br>Çift (HH + HV, VH + VV) |
| Strip map Fine                                     | 9.1m               | 5.3m               | 70kmx70km        | Tek (HH, HV, VH, VV)<br>Çift (HH + HV, VH + VV) |
| <b>Strip map High-sensitive (Full Polarimetry)</b> | <b>5.1m</b>        | <b>4.3m</b>        | <b>30kmx70km</b> | <b>Dörtlü (HH + HV + VH + VV)</b>               |
| Fine (Full Polarimetry)                            | 8.7m               | 5.3m               | 30kmx70km        | Dörtlü (HH + HV + VH + VV)                      |
| ScanSAR nominal (28Mhz)                            | 47.5m              | 77.7m              | 350.5kmx355km    | Tek (HH, HV, VH, VV)<br>Çift (HH + HV, VH + VV) |
| ScanSAR nominal (14Mhz)                            | 95.1m              | 77.7m              | 350.5kmx355km    | Tek (HH, HV, VH, VV)<br>Çift (HH + HV, VH + VV) |
| ScanSAR wide (490km)                               | 44.2m              | 56.7m              | 489.5kmx355km    | Tek (HH, HV, VH, VV)<br>Çift (HH + HV, VH + VV) |

### 5.2.2 SENTINEL-1A Uydusu

Sentinel-1, temel hedefleri kara ve su yapılarının izlenmesi olan iki uydudan oluşan bir misyondur. Misyonun amacı, ERS-2 uydusunun tedavülden kaldırılması ve Envisat misyonunun sona ermesine takiben C-bandında SAR verisi sürekliliğini sağlamaktır. İki uydudan oluşan misyonda Sentinel-1A uydusu 3 Nisan 2014, Sentinel-1B uydusu ise 25 Nisan 2016 tarihinde fırlatılmıştır. Misyonun temel hedefleri; ormanların, suyun, toprak ve tarım arazilerinin izlenmesi, doğal felaketler durumunda acil durum haritalama desteği, deniz çevresinin izlenmesi, deniz buzu gözlemleri ve buzdağı izleme vb. olarak belirlenmiştir. Sentinel-1 uyduları; strip map, interferometric wide swath, extra wide swath ve wave mod olmak üzere dört adet görüntüleme moduna sahiptir (URL-9 2017). Bu görüntüleme

modlarına ait detaylı bilgiler Çizelge 4.4'te gösterilmiştir. Çalışmada, Çizelge 4.4'te koyu olarak gösterilen, interferometric wide swath modunda ücretsiz olarak temin edilebilen iki polarizasyonlu Sentinel-1A verisi kullanılmıştır.

**Çizelge 4.4 Sentinel-1A uydusu görüntüleme modları.**

| Gözlem Modu                       | Menzil Çözünürlüğü | Azimut Çözünürlüğü | Şerit Genişliği          | Polarimetri                                 |
|-----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------------|---|
| Strip map                         | 1.7-3.6 m          | 4.3-4.9 m          | 80 km                    | Tek (HH, VV)<br>Çift (HH+HV, VV+VH)         |
| <b>Interferometric Wide Swath</b> | <b>2.7-3.5 m</b>   | <b>22 m</b>        | <b>250 km</b>            | <b>Tek (HH, VV)<br/>Çift (HH+HV, VV+VH)</b> |
| Extra Wide Swath                  | 7.9-15 m           | 43 m               | 400 km                   | Tek (HH, VV)<br>Çift (HH+HV, VV+VH)         |
| Wave                              | 2.0-3.1 m          | 4.8 m              | 20 km'lik (alanı kapsar) | Tek (HH, VV)                                |

### 5.2.3 SENTINEL-2A Uydusu

Sentinel-2A uydusu, 23 Haziran 2015 tarihinde Fransa'dan fırlatılmıştır. Bu uydu, Avrupa Kopernikus (Copernicus) Programı'ndaki ilk optik dünya gözlem uydusudur ve ESA için Airbus Savunma ve Uzay endüstrisi liderliği altında geliştirilmiş ve inşa edilmiştir. Kopernikus, daha önce Global Monitoring for Environment and Security (GMES) olarak bilinen Avrupa Komisyonu'nun Dünya Gözlem Programının yeni adıdır. Sentinel-2A uydusu, bitki örtüsü durumu hakkında önemli bilgiler sağlayan “red edge” bölgesinde üç bant içeren kendi türünün ilk sivil optik dünya gözlem misyonudur. Sentinel-2A uydusu ile yapılması hedeflenen temel uygulamalar; tarım, ormanlar, arazi kullanımı değişikliği, arazi örtüsü değişikliği, yaprak klorofil içeriği, yaprak suyu içeriği, yaprak alanı indeksi gibi biyofiziksel değişkenlerin haritalandırılması; kıyı ve iç suların izlenmesi; risk ve felaket haritalamadır. Sentinel-2A uydusunun sahip olduğu bantlar, konumsal çözünürlükleri ve merkez dalga boyları Çizelge 4.5'te gösterilmiştir (URL-10 2017). Çalışmada kullanılan Sentinel-2A görüntülerinden NDVI haritaları oluşturulmuş ve model tabanlı yaklaşımlarda ve maskeleme işlemlerinde bu haritalardan faydalanılmıştır.

**Çizelge 4.5** Sentinel-2A uydusu temel özellikleri.

| Bantlar                           | Merkez Dalga boyu ( $\mu\text{m}$ ) | Konumsal Çözünürlük (m) |
|-----------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|
| Bant 2 (Mavi)                     | 0.490                               | 10                      |
| Bant 3 (Yeşil)                    | 0.560                               |                         |
| Bant 4 (Kırmızı)                  | 0.665                               |                         |
| Bant 8 (Yakın Kızılötesi)         | 0.842                               |                         |
| Bant 5 (Red edge-1)               | 0.705                               | 20                      |
| Bant 6 (Red edge-2)               | 0.740                               |                         |
| Bant 7 (Red edge-3)               | 0.783                               |                         |
| Bant 8a (Red edge-4)              | 0.865                               |                         |
| Bant 11 (Kısa dalga Kızılötesi-1) | 1.610                               |                         |
| Bant 12 (Kısa dalga Kızılötesi-2) | 2.190                               | 60                      |
| Bant 1 (Kıyı, Aerosol)            | 0.443                               |                         |
| Bant 9 (Su buharı)                | 0.945                               |                         |
| Bant 10 (Sirtüs)                  | 1.375                               |                         |

#### 5.2.4 Arazi Çalışmalarında Kullanılan Ekipmanlar

ALOS-2 SAR uydusu verileri ile eş zamanlı olarak gerçekleştirilen gravimetrik toprak nemi ölçümlerinde, Şekil 5.4'te gösterilen yaklaşık olarak 100 cm<sup>3</sup> lük her iki tarafı kapaklı olan metal silindir kaplar kullanılmıştır.



**Şekil 5.4** Gravimetrik toprak nemi ölçümlerinde kullanılan silindirik kaplar.

SAR verileri ile gerçekleştirilen toprak nemi çalışmalarında önemli bir yere sahip olan pürüzlülük ölçümleri, tarafımızca hazırlanan 70x50 cm boyutlarındaki profil metre ile

gerçekleştirilmiştir (Şekil 5.5). Ayrıca, çalışmada kullanmak istediğimiz bitki tanımlayıcı bir parametre olan bitki kaplama alanını belirlemek amacıyla, 1 m x 1 m boyutlarında bir çerçeve kullanılmıştır (Şekil 5.6).



**Şekil 5.5** Toprak pürüzlülük ölçümü için hazırlanan profil metre.



**Şekil 5.6** Bitki kaplama alanının belirlenmesi için kullanılan çerçeve.



## 5.3 YÖNTEM

Bu çalışmada, L bant (ALOS-2) ve C bant (Sentinel-1A) uydu verileri kullanılarak doğal nem döngüsündeki (sulama yapılmamış) test alanlarında bitki örtüsü olan ve olmayan iki farklı dönemde toprak nemi tahmini ve haritalanması çalışmaları gerçekleştirilmiştir. Nisan ayında alınan uydu görüntüleri ile eş zamanlı olarak yapılan arazi çalışmasında, test alanlarında bitki örtüsü olmadığı görüldüğü için bu tarihteki arazi çalışmasında sadece toprak nemi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Haziran ayındaki uydu verileri ile eş zamanlı yapılan arazi çalışmasında ise, test alanlarında seyrek ve orta yoğunlukta bitki örtüsü olduğu için toprak nemi ölçümlerine ek olarak, pürüzlülük ve bitki kaplama alanının belirlenmesine yönelik ölçümler gerçekleştirilmiştir.

Bu çalışmanın tamamlanması sürecinde, görüntü işleme, arazi çalışmaları ve toprak örneklerinin belirlenmesini içeren çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın yapılması sürecinde gerçekleştirilen aşamalar ve kullanılan yöntemlere ait detaylar aşağıda verilmiştir.

### 5.3.1 Toprak Özellikleri ve Toprak Neminin Belirlenmesi

Çalışma alanının daha iyi tanınması ve toprak özelliklerinin elde edilebilmesi için 7 Nisan 2016 tarihinde arazide istikşaf çalışması gerçekleştirilmiştir. Yapılan bu çalışmada 13 farklı noktadan 30 cm derinliğinde toprak örnekleri alınmıştır (Şekil 5.7). Toprak örnekleri alınan bu 13 tarla baz alınarak her bir tarlaya komşu tarlalardan da toprak nemi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 5.7’de gösterilen ve 30 cm derinlikten alınan toprak özellikleri Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarında yaptırılan analizlerle belirlenmiştir.



**Şekil 5.7** Çalışma alanından 30 cm derinlikte toprak örneği toplanması.

Toprak özelliklerinin belirlenmesine yönelik 7 Nisan 2016 tarihindeki arazi çalışmasının ardından 22 Nisan ve 12 Haziran 2016 tarihlerinde gerçekleştirilen arazi çalışmalarında Şekil 5.8’de görüldüğü gibi toprak nemi örnekleri toplanmış ve Black (1965) tarafından geliştirilen gravimetrik yöntemle nem tayini yapılmıştır.



**Şekil 5.8** Toprak nemi örneği toplanması.

Toplanması Şekil 5.8’de gösterilen toprak nemi numunelerinin yaş ağırlıkları aynı gün içinde Ege Üniversitesi Ziraat Fakültesi Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarında hassas terazi yardımıyla tartılmış ve sonrasında numuneler fırınlanarak kurutulmaya bırakılmıştır (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Toprak numunelerinin fırınlanması işlemi.

Toprak numuneleri fırında 105 °C’de yaklaşık olarak 28 saat kurutulmuştur. Kurutulan numuneler fırından çıkarılarak tekrar kuru ağırlıkları hassas terazi ile ölçülmüştür. Son olarak da numunelerin alındığı kaplar toprak örnekleri boşaltılarak tartılmış ve kap daraları elde edilmiştir. Gravimetrik yöntemle elde edilen numunelerdeki nem içeriği aşağıdaki (5.1) eşitliği yardımıyla yüzde olarak hesaplanmıştır.

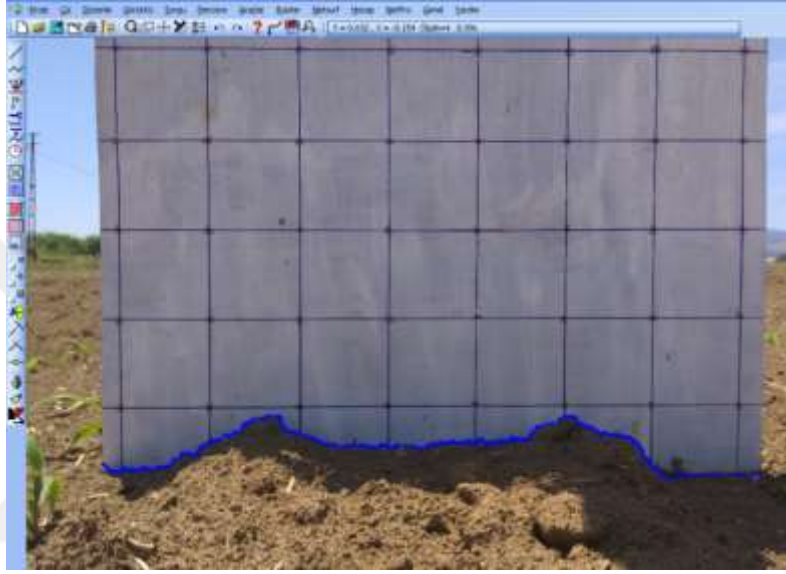
$$W_{H_2O} = \left( \frac{M_1 - M_2}{M_2 - M_0} \right) \times 100 \quad (5.1)$$

Burada;  $M_0$ , boş kabın kapağı ile birlikte kütlesi,  $M_1$ , nemli toprak bulunduran kabın kütlesi,  $M_2$ , kurutulmuş toprak örneğinin kapla birlikte kütlesi’ dir.

### 5.3.2 Toprak Pürüzlülüğünün (s) Belirlenmesi

Toprak yüzey durumunu UA uygulamalarında nümerik olarak tanımlamak için pürüzlülük indisleri gerekmektedir. Radar UA sistemleri ile pürüzlülük tahmini veya uygulamalarında

pürüzlülük değeri kullanılmaktadır ve “s” ve ya “h<sub>rms</sub>” olarak gösterilmektedir. Bu kapsamda; Şekil 5.10’da gösterilen, arazi çalışmasında kullanılan pürüzlülük levhasının fotoğrafları çekildikten sonra Computer Aided Design (CAD) ortamında sayısallaştırılarak pürüzlülük değeri (5.2) nolu eşitlikte gösterildiği gibi hesaplanmıştır. Her bir test alanı için 5 adet pürüzlülük ölçümü gerçekleştirilmiş olup; bu ölçümlerden 3’ü ekim yönüne dik, 2’si ekim yönüne paralel olarak yapılmıştır. Son olarak hesaplanan 5 pürüzlülük değerinin ortalaması alınarak ilgili test alanının pürüzlülüğü hesaplanmıştır.



Şekil 5.10 Pürüzlülük levhasının CAD ortamında sayısallaştırılması.

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Z_i - \bar{Z})^2}{n-1}} \quad (5.2)$$

Z<sub>i</sub>; X<sub>i</sub> noktasının yüksekliğini,  $\bar{Z}$ ; ortalama yüzey yüksekliğini, n; toplam nokta sayısını ifade etmektedir.

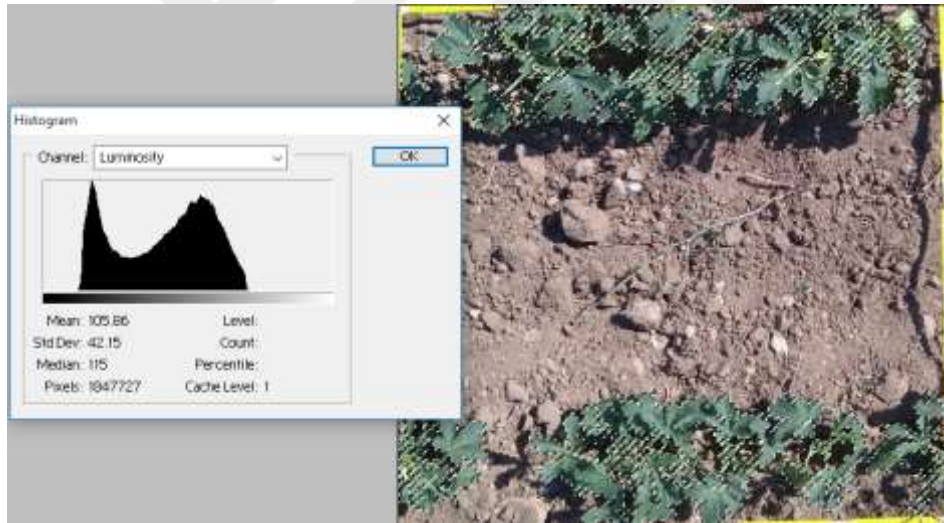
### 5.3.3 Bitki Kaplama Alanının (BKA) Belirlenmesi

12 Haziran 2016 tarihinde yapılan arazi çalışmasında, 1m x 1m’lik bir çerçeve hazırlanarak her tarladan iki adet bitki kaplama alanı görüntüsü çekilmiştir. Bu görüntüler bitki kaplama alanının yüzde olarak belirlenebilmesi için Photoshop programı yardımıyla işlenmiştir. Adobe Photoshop 7.0 (demo sürümü) programında bitki örtüsü ve diğer cisimler ayrılarak iki farklı kısmın histogramında yer alan piksel sayılarının oranlanması ile yüzde (%) olarak bitki

kaplama alanı belirlenmiştir (Şekil 5.11 ve Şekil 5.12). Bitki kaplama alanı, bitki örtüsü olan test alanlarında bir bitki tanımlayıcı parametre olarak bitkiden kaynaklı geri saçılımın elimine edilebilmesi için kullanılmıştır.



Şekil 5.11 Bitki kaplama alanı belirlemek için bitki ve diğer detayların ayrımı.



Şekil 5.12 Bitki alanının histogram değerinin gösterilmesi.

### 5.3.4 Dielektrik Katsayısının ( $\epsilon$ ) Belirlenmesi

Toprak nemi tahmininde, dielektrik katsayısı bazı model tabanlı yaklaşımlarda (Dubois, IEM vb.) girdi olarak kullanılmaktadır. Hallikainen vd. (1985) yaptıkları deneysel çalışmada, 1.4 GHz ile 18 GHz frekansları arasında toprak nemi, toprağın kil ve kum içeriğini kullanarak dielektrik katsayısının gerçek ve sanal kısımlarını karmaşık sayı olarak belirlemişlerdir. Gerçek ve sanal dielektrik katsayısı için her bir frekansa karşılık gelen katsayılar Çizelge

4.6’da gösterilmiştir. Çalışma kapsamında hesaplanan dielektrik sabitinin gerçek kısmı, hem mevcut model tabanlı yaklaşımlarda (Dubois ve Oh) hem de deneysel model geliştirme aşamalarında kullanılmıştır.

**Çizelge 4.6** Hallikainen yöntemi polinomal ifadelerin katsayıları ve tahmin doğrulukları.

| Frequency,<br>GHz      | $\epsilon_c=(a_0+a_1S+a_2C)+(b_0+b_1S+b_2C)m_v+(c_0+c_1S+c_2C)m_v^2$ |        |        |        |        |        |        |         |        | $\Delta\epsilon=\epsilon_m-\epsilon_c$ |        | $\epsilon_m=A+B\epsilon_c$ |        |        |       |       |       |
|------------------------|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--|--------|----------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|
|                        | $a_0$  | $a_1$  | $a_2$  | $b_0$  | $b_1$  | $b_2$  | $c_0$  | $c_1$   | $c_2$  | $\Delta\epsilon$                       | SD     | A                          | B      | $r^2$  | SEE   | N     |       |
| Real Part, $\epsilon'$ | 1.4  | 2.862  | -0.012 | 0.001  | 3.803  | 0.462  | -0.341 | 119.006 | -0.500 | 0.633                                  | -0.101 | 0.662                      | 0.227  | 0.967  | 0.993 | 0.620 | 53    |
|                        | 4  | 2.927  | -0.012 | -0.001 | 5.505  | 0.371  | 0.062  | 114.826 | -0.389 | -0.547                                 | -0.022 | 0.852                      | 0.112  | 0.989  | 0.986 | 0.855 | 70    |
|                        | 6  | 1.993  | 0.002  | 0.015  | 38.086 | -0.176 | -0.633 | 10.720  | 1.256  | 1.522                                  | -0.128 | 0.907                      | 0.031  | 0.987  | 0.983 | 0.908 | 73    |
|                        | 8  | 1.997  | 0.002  | 0.018  | 25.579 | -0.017 | -0.412 | 39.793  | 0.723  | 0.941                                  | -0.075 | 0.739                      | 0.038  | 0.990  | 0.987 | 0.742 | 74    |
|                        | 10   | 2.502  | -0.003 | -0.003 | 10.101 | 0.221  | -0.004 | 77.482  | -0.061 | -0.135                                 | -0.042 | 0.723                      | 0.072  | 0.989  | 0.986 | 0.725 | 77    |
|                        | 12   | 2.200  | -0.001 | 0.012  | 26.473 | 0.013  | -0.523 | 34.333  | 0.284  | 1.062                                  | -0.103 | 0.857                      | 0.015  | 0.989  | 0.976 | 0.860 | 89    |
|                        | 14   | 2.301  | 0.001  | 0.009  | 17.918 | 0.084  | -0.282 | 50.149  | 0.012  | 0.387                                  | -0.073 | 0.612                      | 0.065  | 0.984  | 0.987 | 0.612 | 62    |
|                        | 16   | 2.237  | 0.002  | 0.009  | 15.505 | 0.076  | -0.217 | 48.260  | 0.168  | 0.289                                  | -0.080 | 0.706                      | 0.096  | 0.979  | 0.983 | 0.704 | 50    |
|                        | 18   | 1.912  | 0.007  | 0.021  | 29.123 | -0.190 | -0.545 | 6.960   | 0.822  | 1.195                                  | -0.107 | 0.621                      | 0.066  | 0.978  | 0.984 | 0.616 | 88    |
|                        | All  |        |        |        |        |        |        |         |        |  | -0.082 | 0.751                      | 0.068  | 0.986  | 0.986 | 0.746 | 636   |
|                        | Imaginary Part, $\epsilon''$   | 1.4    | 0.356  | -0.003 | -0.008 | 5.507  | 0.044  | -0.002  | 17.753 | -0.313                                 | 0.206  | 0.079                      | 0.350  | -0.304 | 1.179 | 0.981 | 0.239 |
| 4                      |  | 0.004  | 0.001  | 0.002  | 0.951  | 0.005  | -0.010 | 16.759  | 0.192  | 0.290                                  | 0.419  | 0.637                      | 0.049  | 1.211  | 0.884 | 0.578 | 70    |
| 6                      |  | -0.123 | 0.002  | 0.003  | 7.502  | -0.058 | -0.116 | 2.942   | 0.452  | 0.543                                  | 0.271  | 0.580                      | -0.088 | 1.160  | 0.926 | 0.525 | 73    |
| 8                      |  | -0.201 | 0.003  | 0.003  | 11.266 | -0.085 | -0.155 | 0.194   | 0.584  | 0.581                                  | 0.139  | 0.568                      | -0.138 | 1.097  | 0.945 | 0.537 | 74    |
| 10                     |  | -0.070 | 0.000  | 0.001  | 6.620  | 0.015  | -0.081 | 21.579  | 0.293  | 0.332                                  | 0.090  | 0.411                      | -0.100 | 1.056  | 0.979 | 0.389 | 77    |
| 12                     |  | -0.142 | 0.001  | 0.003  | 11.868 | -0.059 | -0.225 | 7.817   | 0.570  | 0.801                                  | 0.137  | 0.774                      | -0.276 | 1.105  | 0.936 | 0.732 | 89    |
| 14                     |  | -0.096 | 0.001  | 0.002  | 8.583  | -0.005 | -0.153 | 28.707  | 0.297  | 0.357                                  | -0.191 | 0.326                      | -0.142 | 0.987  | 0.990 | 0.326 | 62    |
| 16                     |  | -0.027 | -0.001 | 0.003  | 6.179  | 0.074  | -0.086 | 34.126  | 0.143  | 0.206                                  | -0.114 | 0.306                      | -0.073 | 0.989  | 0.992 | 0.306 | 50    |
| 18                     |  | -0.071 | 0.000  | 0.003  | 6.983  | 0.029  | -0.128 | 29.945  | 0.275  | 0.377                                  | -0.041 | 0.340                      | -0.116 | 1.021  | 0.990 | 0.335 | 88    |
| All                    |  |        |        |        |        |        |        |         |        |  | 0.097  | 0.544                      | 0.000  | 1.032  | 0.961 | 0.538 | 636   |

Hallikainen vd. (1985) çalışmanın sonucunda (5.3) nolu polinomal denklemin etkili sonuçlar verdiğini belirtmişlerdir.

$$\epsilon = (a_0+a_1S+a_2C)+(b_0+b_1S+b_2C)m_v+(c_0+c_1S+c_2C)m_v^2 \quad (5.3)$$

Burada, S; toprak içeriğindeki kum miktarını, C; toprak içeriğindeki kil miktarını,  $m_v$ ; ise toprak nemini ifade etmektedir. SAR verileri ile dielektrik katsayısının belirlenmesine yönelik olarak Çizelge 4.6’da belirtilen radar frekanslarına bağlı polinomal katsayıların matematiksel denklemini Python programlama dili aracılığıyla kodlanmıştır.

### 5.3.5 Uydu Görüntülerinin İşlenmesi

Çalışma kapsamında, ALOS-2 ve Sentinel-1A SAR uydu verileri toprak nemi tahmininde kullanılmak üzere işlenmiştir. SAR verileri kullanılarak toprak nemi tahminine radar geri saçılımından faydalanılmaktadır. Bölüm 4.2’de belirtilen geri saçılım türlerinden sigma-nought ( $\sigma^0$ ) değerleri toprak nemi tahmininde kullanılan geri saçılım türüdür. Sigma-nought (geri saçılım katsayısı), aynı zamanda SAR görüntüsünün yatayda radyometrik düzeltilmesini temsil etmektedir. ALOS-2 ve Sentinel-1A görüntülerine öncelikle radyometrik düzeltme

getirilerek sigma-nought değerleri elde edilir. Sonrasında ise görüntülere geometrik düzeltmeler uygulanarak konumsal analizler için hazır hale getirilirler. ALOS-2 verisi dikkate alındığında, piksel değerlerinin bir diğer ifade ile Dijital Numara (DN: Digital Number) değerlerinin, geri saçılım katsayısına dnm L1.5 ve L2.1 rnleri için (5.4), L1.1 ürünü için de (5.5) eşitlikleri ile sağlanmaktadır.

$$\sigma^{\circ}=10\cdot\log_{10}(DN^2)+CF_1 \quad (5.4)$$

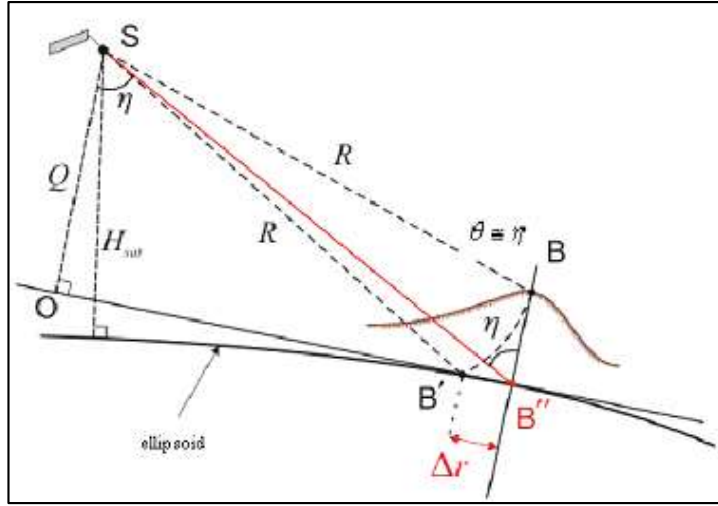
$$\sigma^{\circ}=10\cdot\log_{10}(Q^2+I^2)+CF_1-A \quad (5.5)$$

Burada,  $\sigma^{\circ}$ ; desibel (dB) biriminde geri saçılım katsayımı, DN; ALOS-2 L1.5 ve L2.1 rnlerinin piksel değerini, izelge 4.7’de değerleri sunulan  $CF_1$  ve A sabitleri; kalibrasyon sabitlerini (dB) ifade etmektedir. Eğer kullanılan rn L1.1 rnyse, DN karmaşık piksel değerinin byklgdr ve piksel değerinin gerçek (Q) ve sanal (I) kısımları kullanılarak geri saçılım katsayısı elde edilmektedir (URL-11 2016).

**Çizelge 4.7**  $CF_1$  ve A sabitlerinin değerleri (URL-11 2016).

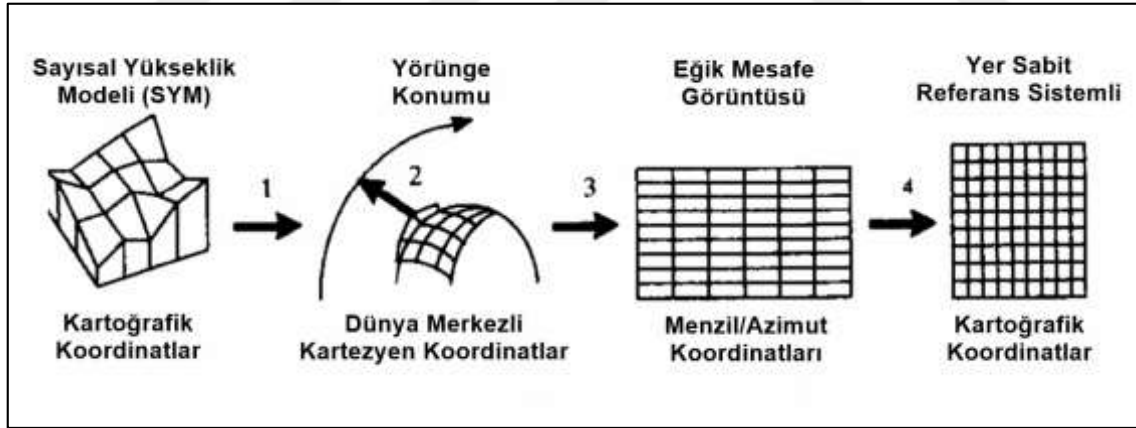
| <b>Kalibrasyon Sabiti</b> | <b>Değer [dB]</b> |
|---------------------------|-------------------|
| <b><math>CF_1</math></b>  | -83.0             |
| <b>A</b>                  | 32.0              |

Radyometrik düzeltmesi yapılan ALOS-2 verisine daha sonra ortorektifikasyon işlemi uygulanarak geometrik düzeltme işlemi gerçekleştirilir. Geometrik düzeltme işlemi, farklı sensörlerden veya geometrilere uzaktan algılanmış verilerin geometrik olarak akımalarını sağlamak için gerekli bir adımdır. Bu düzeltme işlemi için ESA tarafından geliştirilen SNAP yazılımındaki Alan Doppler Arazi Düzeltmesi (Range Doppler Terrain Correction) kullanılmaktadır. Bir alandaki, topografik değişimler ve uydu algılayıcısının eğimi nedeniyle, SAR görüntülerinde mesafeler bozulabilir. Doğrudan sensörün nadir konumunda olmayan görüntü verileri, biraz bozulmaya neden olacaktır. Alan Doppler Arazi Düzeltmeleri, görüntünün geometrik gösterimi gerçek dünyaya olabildiğince yakın olacak şekilde bu çarpıklıkları telafi etmeyi amaçlamaktadır. SAR görüntülerinde topografik bozulmaların geometrisi Şekil 5.13’de gösterilmiştir.



Şekil 5.13 SAR görüntülerinde topografik bozulmaların geometrisi (URL-12 2017).

Şekil 5.13'de, elipsoid üzerinde yüksekliği  $h$  olan  $B$  noktasının, gerçek konumunun  $B''$  olmasına karşın SAR görüntüsünde  $B'$  konumunda görüntülendiği görülebilir. Burada,  $B'$  ve  $B''$  arasındaki uzaklık  $\Delta r$ , topografik bozulmaların etkisini göstermektedir. SAR verilerinde bu etkinin giderilebilmesi için yapılan geometrik düzeltme işleminin temel adımları Şekil 5.14'te sunulmuştur.



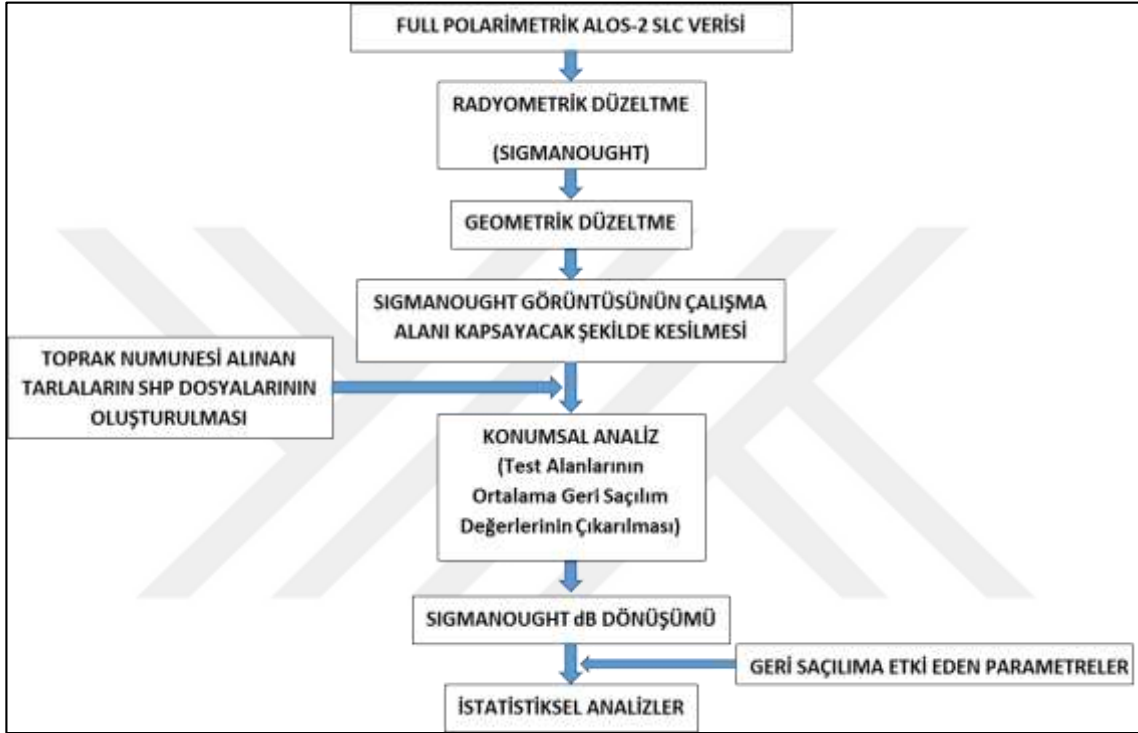
Şekil 5.14 SAR verilerinin geometrik düzeltme işlemleri için temel adımlar (Bayer vd. 1991'den değiştirilerek).

Şekil 5.14'te gösterildiği gibi geometrik düzeltme için ilk adım olarak, SYM koordinatları, Yer Merkezli Dönen (ECR: Earth Centered Rotating) Kartezyen koordinat sistemine dönüştürülür. Daha sonra ECR koordinat sistemindeki SYM'nin her bir gridi için yörünge gridleri iterasyon ile hesaplanır ve bu gridlere doğrusal dönüşümler uygulanarak, eğik mesafedeki menzil/azimut koordinatlarına sahip görüntü elde edilir. Son olarak, eğik mesafedeki görüntü yeniden örneklenerek, belli bir koordinat sistemine dönüşümü



gerçekleştirilir (Bayer vd. 1991). Çalışmada, Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) uydusuna ait 1 arc-second (1 arc-second = ~30 metre) SYM verisi kullanılmıştır.

Yukarıda belirtilen radyometrik ve geometrik düzeltmeler uygulanan ALOS-2 verisi, model tabanlı yaklaşımlar ve konumsal analizlerin yapılabilmesi için hazır hale gelmiş olur. ALOS-2 verisi için yapılan iş-akış şeması Şekil 5.15'te sunulmuştur.



Şekil 5.15 ALOS-2 verisi için uygulanan iş-akış şeması.

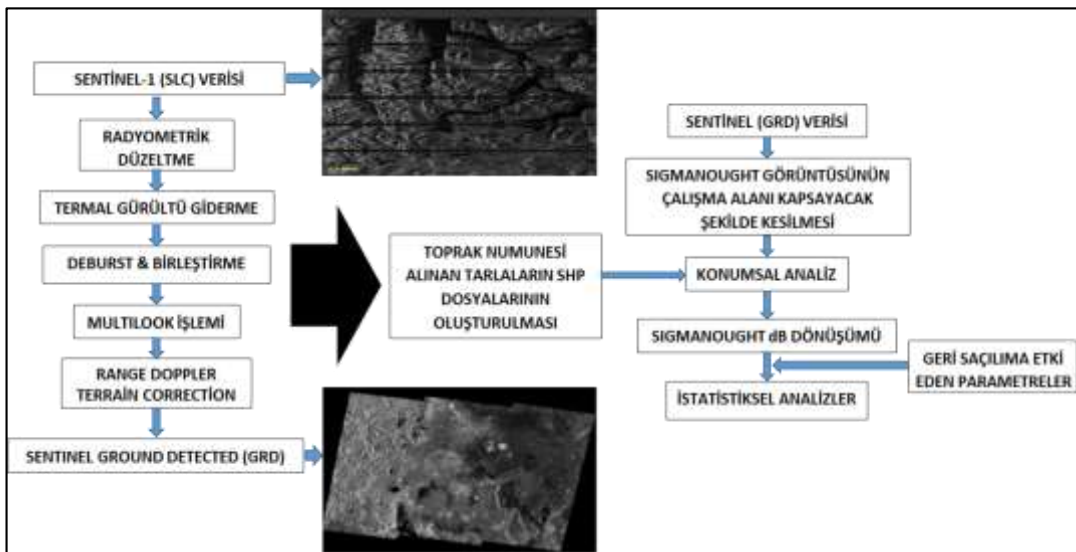
Şekil 5.15'te belirtildiği gibi, radyometrik ve geometrik düzeltme işlemleri sonrasında çerçeve boyutu büyük olan ALOS-2 görüntüsü çalışma alanını kapsayacak şekilde kesilmiştir. Görüntülerin işlenmesi ve analizlerinde, yazılımlardan yardım alınması nedeniyle bu görüntü kesme işlemi, kullanıcının daha performanslı çalışmasına katkı sağlamaktadır. Arazi çalışmasında belirlenen tarlaların “.shp” uzantılı dosyaları, sanal küre uygulaması olan Google Earth kullanılarak oluşturulduktan sonra konumsal analiz gerçekleştirilerek her bir tarlanın ortalama geri saçılım değerleri çıkarılmıştır. Çıkarılan ortalama geri saçılım değerleri, dB birimine dönüştürülerek, geri saçılıma etki eden parametrelerle istatistiksel analizler gerçekleştirilmiştir. Geri saçılıma etki eden parametreler; toprak nemi, lokal geliş açısı, yüzey pürüzlülüğü ve dielektrik katsayısı gibi parametrelerdir. Her bir parametre için tarla bazlı ortalama değerler çıkarılarak doğrusal regresyon analizleri yapılmıştır.

Yukarıda belirtilen işlemler, Sentinel-1A uydu verileri için de benzer şekilde uygulanmıştır. Sentinel-1A Single Look Complex (SLC) verisinden ve Yer Aralığı Belirlenmiş (GRD) verisinden geri saçılım değerlerinin çıkarılabilmesi için sırasıyla (5.6) ve (5.7) eşitliklerinden faydalanılmaktadır (URL-13 2017).

$$\sigma^{\circ}=10 \cdot \log _{10}\left(\frac{D N^2}{A^2}\right) \quad (5.6)$$

$$\sigma^{\circ}=10 \cdot \log _{10}\left(\frac{D N^2+b}{A}\right) \quad (5.7)$$

Burada,  $\sigma^{\circ}$ ; dB biriminde geri saçılım katsayını, DN; Sentinel-1A görüntülerinin piksel değerini, A sabiti; kalibrasyon sabitini, b; sabit ofseti ifade etmektedir. A ve b değerleri, görüntü ile indirilen dosya içindeki arama tablosu (LUT) aracılığı ile elde edilebilir. Radyometrik düzeltmesi yapılan Sentinel-1A görüntüleri de ALOS-2 verilerine uygulanan Alan Doppler Arazi Düzeltmesi işlemi ile geometrik olarak düzeltilirler. ESA tarafından ücretsiz olarak temin edilebilen Sentinel-1A verileri çalışma alanımız için SLC olarak indirilmiştir. SLC olarak elde edilen verinin çevresel ve konumsal uygulamalarda kullanılabilmesi için öncelikle GRD verisine dönüştürülmesi gerekmektedir (Foumelis vd. 2014). Dönüşüm işleminin ardından ALOS-2 verisine uygulanan konumsal ve istatistiksel analizler benzer şekilde Sentinel-1A verilerine de uygulanmıştır. Sentinel-1A verileri için gerçekleştirilen işlemlerin iş-akış şeması Şekil 5.16’te gösterilmiştir.



Şekil 5.16 Sentinel-1A verisi için uygulanan iş-akış şeması.

Şekil 5.15 ve Şekil 5.16’da bahsi geçen ve geri saçılıma etki eden parametreler; toprak nemi, lokal geliş açısı, yüzey pürüzlülüğü ve dielektrik katsayısı gibi parametrelerdir. Toprak nemi değerleri, her bir tarla için arazi çalışmalarında gravimetrik yöntemle elde edilmiştir. Yüzey pürüzlülüğü de her bir tarla için arazide profil metre ölçümleri ile belirlenmiştir. Dielektrik katsayısı, her bir tarla için Hallikainen yöntemi ile hesaplanmıştır. Lokal geliş açısı haritası, geometrik düzeltmede kullanılan SYM verisinden üretilmiştir.



## BÖLÜM 6

### BULGULAR

ALOS-2 ve Sentinel-1A SAR verileri ile toprak nemi tahmini yapabilmek için gerçekleştirilen çalışmada Bölüm 5’te detayları verilen parametreler analizler sonucunda elde edilmiştir. Bu kapsamda öncelikle 7 Nisan 2016 tarihinde gerçekleştirilen istikşaf çalışmasında toprak nemi toplanacak tarlalar belirlenmiş ve çalışma alanının toprak özelliklerinin belirlenmesi amacıyla toprak örnekleri alınmıştır (Şekil 6.1).



**Şekil 6.1** Çalışma alanının toprak özelliklerinin belirlenmesi için alınan toprak örnekleri.

Alınan toprak örnekleri, Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi, Toprak Bilimi ve Bitki Besleme Bölümü laboratuvarında analiz ettirilmiştir. Çizelge 6.1’de detayları belirtilen analizler ile toprak pH değeri, tuz, kireç, Organik Madde (OM) miktarı ile topraktaki kum, kil ve mil içeriği elde edilmiştir.

**Çizelge 6.1** Toprak analiz sonuçları.

| ÖRNEK NO | pH   | Tuz ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) | Kireç (%) | O.M. (%) | Kum (%) | Mil (%) | Kil (%) |
|----------|------|---------------------------------|-----------|----------|---------|---------|---------|
| B1       | 7.63 | 405                             | 6.09      | 1.66     | 57.84   | 7.44    | 34.72   |
| B2       | 7.72 | 644                             | 9.71      | 2.26     | 37.84   | 37.44   | 24.72   |
| B3       | 7.62 | 538                             | 7.68      | 3.92     | 41.84   | 41.44   | 16.72   |
| B4       | 7.67 | 503                             | 2.75      | 1.74     | 69.84   | 17.44   | 12.72   |
| B5       | 7.64 | 299                             | 1.25      | 1.24     | 67.84   | 19.44   | 12.72   |
| B6       | 7.96 | 1194                            | 4.06      | 1.88     | 31.84   | 19.44   | 48.72   |
| B7       | 7.85 | 934                             | 5.77      | 1.27     | 29.84   | 23.44   | 46.72   |
| B8       | 7.72 | 1093                            | 3.26      | 2.86     | 21.84   | 25.44   | 52.72   |
| B9       | 6.59 | 548                             | 0.98      | 1.93     | 53.84   | 21.44   | 24.72   |
| B10      | 5.39 | 165                             | 1.71      | 1.3      | 55.84   | 31.44   | 12.72   |
| B11      | 5.72 | 194                             | 1.51      | 4.11     | 61.84   | 23.44   | 14.72   |
| B12      | 7.55 | 687                             | 3.16      | 1.13     | 53.84   | 25.44   | 20.72   |
| B13      | 7.66 | 398                             | 4.86      | 1.76     | 65.84   | 21.44   | 12.72   |

Çalışmanın esas konusunu oluşturan yersel toprak nemi ölçümleri için belirlenen tarlalar, bu 13 noktanın etrafından seçilmiş ve her bir nokta etrafında dört tarla seçilmeye çalışılmıştır.

Toprak özelliği alınan tarla etrafında uygun başka tarlalar yoksa aynı tarladan iki adet toprak nemi ölçümü yapılmıştır. 7 Nisan 2016 tarihinde gerçekleştirilen ilk arazi çalışmasının ardından, 22 Nisan 2016 tarihinde, ikinci kez arazi çalışması yapılarak, belirlenen tarlalarda toprak nemi ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Gravimetrik yöntemle belirlenen toprak nemi değerleri, Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.

**Çizelge 6.2** 22 Nisan 2016 tarihinde alınan numunelerin % nem içerikleri.

| NOKTA NO<br>(Ürün) | KOORDİNATLAR<br>UTM (m) |         | TOPRAK NUMUNE BİLGİLERİ (gr) |                 |        | NEM<br>(%) |
|--------------------|-------------------------|---------|------------------------------|-----------------|--------|------------|
|                    | SAĞA                    | YUKARI  | YAŞ<br>AĞIRLIK               | KURU<br>AĞIRLIK | DARA   |            |
| B1_1 (Bamya)       | 505328                  | 4316225 | 314.23                       | 300.01          | 167.56 | 10.74      |
| B1_2 (Bamya)       | 505311                  | 4316244 | 307.17                       | 293.12          | 159.06 | 10.48      |
| B2_1 (Pamuk)       | 504043                  | 4315622 | 285.99                       | 263.67          | 142.61 | 18.44      |
| B2_2 (Mısır)       | 503968                  | 4315460 | 310.77                       | 291.32          | 163.81 | 15.25      |
| B2_3 (Pamuk)       | 503856                  | 4315548 | 321.02                       | 295.68          | 179.54 | 21.82      |
| B2_4 (Pamuk)       | 504075                  | 4315679 | 314.27                       | 290.33          | 169.71 | 19.85      |
| B3_1 (Pamuk)       | 503977                  | 4317910 | 328.62                       | 300.96          | 184.13 | 23.68      |
| B3_2 (Pamuk)       | 503996                  | 4317937 | 318.18                       | 284.85          | 169.06 | 28.78      |
| B3_3 (Pamuk)       | 504014                  | 4317991 | 319.46                       | 287.09          | 161.50 | 25.77      |
| B3_4 (Pamuk)       | 504022                  | 4318058 | 313.30                       | 284.70          | 168.78 | 24.67      |
| B4_1 (Mısır)       | 503157                  | 4318087 | 312.18                       | 288.46          | 159.25 | 18.36      |
| B4_2 (Mısır)       | 503113                  | 4318155 | 307.18                       | 294.50          | 159.07 | 9.36       |

**Çizelge 6.2** (devam ediyor)

| NOKTA NO<br>(Ürün)  | KOORDİNATLAR<br>UTM (m) |         | TOPRAK NUMUNE BİLGİLERİ (gr) |                 |        | NEM<br>(%) |
|---------------------|-------------------------|---------|------------------------------|-----------------|--------|------------|
|                     | SAĞA                    | YUKARI  | YAŞ<br>AĞIRLIK               | KURU<br>AĞIRLIK | DARA   |            |
| B4_3 (Pamuk)        | 503507                  | 4318251 | 312.72                       | 287.18          | 162.67 | 20.51      |
| B4_4 (Pamuk)        | 503568                  | 4318338 | 335.53                       | 309.17          | 166.80 | 18.52      |
| B5_1 (Pamuk)        | 502079                  | 4318780 | 306.73                       | 284.72          | 163.47 | 18.15      |
| B5_2 (Pamuk)        | 502263                  | 4318775 | 290.68                       | 269.18          | 133.16 | 15.81      |
| B5_3 (Pamuk)        | 502331                  | 4318792 | 293.89                       | 278.65          | 155.82 | 12.41      |
| B5_4 (Pamuk)        | 502332                  | 4318660 | 347.10                       | 323.83          | 167.20 | 14.86      |
| B6_1 (Ayçiçeği)     | 501468                  | 4319120 | 306.80                       | 281.86          | 161.85 | 20.78      |
| B6_2 (Pamuk)        | 501428                  | 4319088 | 315.88                       | 276.45          | 159.61 | 33.75      |
| B6_3 (Ayçiçeği)     | 501496                  | 4319049 | 286.31                       | 265.09          | 160.50 | 20.29      |
| B6_4 (Pamuk)        | 501542                  | 4319083 | 291.41                       | 263.69          | 150.72 | 24.54      |
| B7_1 (Pamuk)        | 502472                  | 4320628 | 309.74                       | 269.36          | 149.79 | 33.77      |
| B7_2 (Pamuk)        | 502416                  | 4320585 | 313.43                       | 280.50          | 159.51 | 27.22      |
| B7_3 (Pamuk)        | 502385                  | 4320658 | 317.59                       | 275.81          | 164.04 | 37.38      |
| B7_4 (Pamuk)        | 502287                  | 4320582 | 302.45                       | 287.51          | 160.63 | 11.77      |
| B8_1 (Pamuk)        | 502261                  | 4321972 | 291.30                       | 269.49          | 159.84 | 19.89      |
| B8_2 (Pamuk)        | 502297                  | 4321934 | 303.04                       | 268.61          | 147.90 | 28.52      |
| B8_3 (Pamuk)        | 502342                  | 4321850 | 312.01                       | 283.70          | 167.32 | 24.33      |
| B8_4 (Pamuk)        | 502395                  | 4321821 | 284.45                       | 259.94          | 147.05 | 21.71      |
| B9_1 (Pamuk)        | 504132                  | 4325254 | 309.41                       | 288.18          | 164.95 | 17.23      |
| B9_2 (Pamuk)        | 504115                  | 4325231 | 315.09                       | 296.66          | 154.54 | 12.97      |
| B9_3 (Bamya)        | 504067                  | 4325186 | 303.88                       | 286.45          | 159.66 | 13.75      |
| B9_4 (Domates)      | 504084                  | 4325139 | 310.61                       | 290.79          | 157.74 | 14.90      |
| B10_1 (Bamya)       | 503642                  | 4324875 | 313.23                       | 298.38          | 160.24 | 10.75      |
| B10_2 (Buğday)      | 503605                  | 4324877 | 273.22                       | 263.62          | 146.05 | 8.17       |
| B10_3 (Biçilmiş ot) | 503677                  | 4324851 | 305.95                       | 294.50          | 163.34 | 8.73       |
| B11_1 (mera)        | 503762                  | 4325525 | 290.49                       | 277.77          | 175.34 | 12.42      |
| B11_2 (mera)        | 503733                  | 4325527 | 289.72                       | 281.05          | 159.02 | 7.10       |
| B11_3 (mera)        | 503789                  | 4325537 | 291.88                       | 282.42          | 162.71 | 7.90       |
| B12_1 (Pamuk)       | 505493                  | 4321731 | 307.92                       | 292.37          | 165.41 | 12.25      |
| B12_2 (Mısır)       | 505545                  | 4321698 | 337.83                       | 305.98          | 169.07 | 23.26      |
| B12_3 (Mısır)       | 505597                  | 4321736 | 350.66                       | 317.80          | 168.16 | 21.96      |
| B12_4 (Mısır)       | 505668                  | 4321779 | 330.74                       | 304.76          | 163.98 | 18.45      |
| B13_1 (Bamya)       | 506118                  | 4319870 | 320.11                       | 299.96          | 164.36 | 14.86      |
| B13_2 (Pamuk)       | 506100                  | 4319832 | 309.32                       | 296.49          | 165.34 | 9.78       |
| B13_3 (Mısır)       | 506062                  | 4319890 | 306.74                       | 288.92          | 184.10 | 17.00      |
| B13_4 (Bamya)       | 506078                  | 4319925 | 309.39                       | 292.78          | 162.69 | 12.77      |

Çizelge 6.2’de, nokta numaraları ve ürün tipleri belirtilen tarlalardan toprak nemi belirlenmesi için numuneler alınarak sonuçları sunulmuştur. Nokta numaraları dikkate alındığında, Çizelge 6.1’de gösterilen 13 noktadan toprak özelliklerinin belirlenmesi için alınan toprak numunelerine verilen isimler B1’den B13’e kadar olduğu görülmektedir. Toprak nemi ölçümlerinde kullanılan numaralandırma ise toprak özellikleri numaralandırmasına eklenerek o noktaya yakın tarladan örnek alındığı anlaşılmaktadır. Örneğin; toprak nemi alınan B12\_3 nolu tarla, toprak özellikleri alınan B12 tarlasının komşu tarlasıdır. Bu şekilde, 45 tarla ve 3 meradan olmak üzere toplamda 48 adet toprak nemi numunesi alınarak hesaplama işlemi yapılmıştır.

22 Nisan 2016 tarihli arazi çalışmasında, sadece toprak nemi numuneleri alınmıştır. Tarlalarda herhangi bir bitki örtüsü olmaması nedeniyle bitki belirleyici parametrelere yönelik herhangi bir ölçüm gerçekleştirilmemiştir. Ayrıca, ilgili tarihte mevcut hazırlanmış bir profil metre olmaması nedeniyle bu tarihteki arazi çalışmasında pürüzlülük ölçümü gerçekleştirilememiştir. Ancak, Haziran ayında gerçekleştirilen arazi çalışmasında yapılan pürüzlülük ölçümleri, Nisan ayı veri seti için de kullanılmıştır.

12 Haziran 2016 tarihinde üçüncü arazi çalışması gerçekleştirilerek aynı tarlalarda toprak nemi ve pürüzlülük belirlenmesine yönelik ölçümler gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, haziran ayında yapılan çalışmada, tarlalarda seyrek ve orta yoğunlukta bitki örtüsü olduğu için bitki tanımlayıcı bir parametre olan BKA’nın belirlenmesine yönelik ölçümler de gerçekleştirilmiştir. Bu arazi çalışmasında, bitki örtüsü olması nedeniyle ALOS-2 ve Sentinel-1A verileri için WCM analizleri de gerçekleştirilebilmiştir. Çizelge 6.3’te 12 Haziran 2016 tarihinde toprak nemi belirlenmesi için alınan numunelerin sonuçları sunulmuştur.

**Çizelge 6.3** 12 Haziran 2016 tarihinde alınan numunelerin % nem içerikleri.

| NOKTA NO<br>(Ürün)      | KOORDİNATLAR<br>UTM (m) |         | NUMUNE BİLGİLERİ (gr) |                 |        | NEM<br>(%) |
|-------------------------|-------------------------|---------|-----------------------|-----------------|--------|------------|
|                         | SAĞA                    | YUKARI  | YAŞ<br>AĞIRLIK        | KURU<br>AĞIRLIK | DARA   |            |
| B1_1 (Bamya)            | 505328                  | 4316225 | 272.19                | 263.59          | 146.84 | 7.37       |
| B1_2 (Bamya)            | 505311                  | 4316244 | 288.45                | 277.09          | 157.75 | 9.52       |
| B2_1 (Pamuk)            | 504043                  | 4315622 | 310.30                | 296.29          | 165.07 | 10.68      |
| B2_2 (Mısır)            | 503968                  | 4315460 | 299.54                | 285.15          | 165.30 | 12.01      |
| B2_3 (Pamuk)            | 503856                  | 4315548 | 319.23                | 299.69          | 162.15 | 14.21      |
| B2_4 (Pamuk)            | 504075                  | 4315679 | 299.75                | 285.69          | 161.08 | 11.28      |
| B3_1 (Pamuk)            | 503977                  | 4317910 | 304.36                | 284.41          | 160.25 | 16.07      |
| B3_2 (Pamuk)            | 503996                  | 4317937 | 304.57                | 283.40          | 162.98 | 17.58      |
| B3_3 (Pamuk)            | 504014                  | 4317991 | 295.42                | 276.10          | 157.85 | 16.34      |
| B3_4 (Pamuk)            | 504022                  | 4318058 | 308.93                | 292.31          | 171.13 | 13.72      |
| B4_1 (Mısır)            | 503157                  | 4318087 | 345.10                | 296.56          | 164.03 | 36.63      |
| B4_2 (Mısır)            | 503113                  | 4318155 | 288.03                | 276.96          | 160.43 | 9.50       |
| B4_3 (Pamuk)            | 503507                  | 4318251 | 261.20                | 245.91          | 133.10 | 13.55      |
| B4_4 (Pamuk)            | 503568                  | 4318338 | 298.25                | 282.88          | 164.04 | 12.93      |
| B5_1 (Pamuk)            | 502079                  | 4318780 | 317.09                | 293.15          | 160.49 | 18.05      |
| B5_2 (Pamuk)            | 502263                  | 4318775 | 310.53                | 297.44          | 155.18 | 9.20       |
| B5_3 (Pamuk)            | 502331                  | 4318792 | 311.24                | 295.65          | 162.58 | 11.72      |
| B5_4 (Pamuk)            | 502332                  | 4318660 | 298.64                | 285.94          | 159.16 | 10.02      |
| B6_1 (Ayçiçeği)         | 501468                  | 4319120 | 323.51                | 280.15          | 163.76 | 37.25      |
| B6_2 (Pamuk)            | 501428                  | 4319088 | 311.01                | 282.37          | 168.73 | 25.20      |
| B6_3 (Ayçiçeği)         | 501496                  | 4319049 | 308.03                | 269.79          | 165.34 | 36.61      |
| B6_4 (Pamuk)            | 501542                  | 4319083 | 292.63                | 267.87          | 142.55 | 19.76      |
| B7_1 (Pamuk)            | 502472                  | 4320628 | 336.59                | 305.22          | 184.02 | 25.88      |
| B7_2 (Pamuk)            | 502416                  | 4320585 | 303.90                | 280.43          | 157.65 | 19.12      |
| B7_3 (Pamuk)            | 502385                  | 4320658 | 310.36                | 282.31          | 168.01 | 24.54      |
| B7_4 (Pamuk)            | 502287                  | 4320582 | 307.94                | 293.66          | 162.35 | 10.88      |
| B8_1 (Pamuk)            | 502261                  | 4321972 | 282.62                | 268.24          | 163.24 | 13.70      |
| B8_2 (Pamuk)            | 502297                  | 4321934 | 294.30                | 282.02          | 160.46 | 10.10      |
| B8_3 (Pamuk)            | 502342                  | 4321850 | 297.58                | 282.69          | 169.59 | 13.17      |
| B8_4 (Pamuk)            | 502395                  | 4321821 | 311.99                | 275.42          | 154.58 | 30.26      |
| B9_1 (Pamuk)            | 504132                  | 4325254 | 300.82                | 281.51          | 163.33 | 16.34      |
| B9_2 (Pamuk)            | 504115                  | 4325231 | 327.05                | 307.08          | 167.45 | 14.30      |
| B9_3 (Bamya)            | 504067                  | 4325186 | 302.53                | 287.81          | 158.93 | 11.42      |
| B9_4 (Domates)          | 504084                  | 4325139 | 317.89                | 289.49          | 168.62 | 23.50      |
| B10_1 (Bamya)           | 503642                  | 4324875 | 316.81                | 304.24          | 164.34 | 8.98       |
| B10_2 (Kesilmiş Buğday) | 503605                  | 4324877 | 320.16                | 314.80          | 175.16 | 3.84       |
| B10_3 (Sürülü alan)     | 503677                  | 4324851 | 309.03                | 296.11          | 163.12 | 9.72       |
| B11_1 (mera)            | 503762                  | 4325525 | 283.96                | 274.15          | 145.14 | 7.60       |
| B11_2 (mera)            | 503733                  | 4325527 | 296.33                | 289.38          | 159.04 | 5.33       |
| B11_3 (mera)            | 503789                  | 4325537 | 295.25                | 287.70          | 146.43 | 5.34       |
| B12_1 (Pamuk)           | 505493                  | 4321731 | 315.50                | 300.93          | 165.62 | 10.77      |
| B12_2 (Mısır)           | 505545                  | 4321698 | 325.32                | 306.02          | 167.23 | 13.91      |
| B12_3 (Mısır)           | 505597                  | 4321736 | X                     | X               | X      | X          |
| B12_4 (Mısır)           | 505668                  | 4321779 | X                     | X               | X      | X          |
| B13_1 (Bamya)           | 506118                  | 4319870 | 298.07                | 288.63          | 162.61 | 7.49       |
| B13_2 (Pamuk)           | 506100                  | 4319832 | 285.86                | 271.20          | 159.45 | 13.12      |
| B13_3 (Mısır)           | 506062                  | 4319890 | 297.50                | 277.56          | 168.66 | 18.31      |
| B13_4 (Bamya)           | 506078                  | 4319925 | 279.95                | 263.75          | 159.45 | 15.53      |



Çizelge 6.3'te görülebileceği üzere, B12\_3 ve 12\_4 tarlalarında yoğun sulama işlemleri yapıldığı için örnek numuneler alınmamıştır. Çalışmanın amaçlarından biri de doğal nem döngüsünde toprak nemi gözlemlerinin yapılması olduğu için bu tarlalar hesaplamalarda dikkate alınmamıştır.

12 Haziran 2016 tarihindeki arazi çalışmasında, profil metre oluşturularak her bir tarla için 5 adet olmak üzere toplam 240 adet pürüzlülük ölçümü gerçekleştirilmiştir. Profil metre, yaklaşık olarak 70x50 cm boyutunda bir demir sac plaka üzerine 10 cm aralıklarla gridler çizilerek tarafımızca oluşturulmuştur. Her tarla için yapılan 5 pürüzlülük ölçümünde, 3 ölçüm ekim yönüne dik, 2 ölçüm ise ekim yönüne paralel olarak yapılmış ve son olarak ortalamaları alınarak ilgili tarlanın pürüzlülük değeri çıkarılmıştır (Çizelge 6.4). Meranın pürüzlülük değerleri, profil metrenin mera toprağına girmemesi nedeniyle hesaplanmamıştır.

**Çizelge 6.4** Tarla bazlı pürüzlülük değerleri.

| NOKTA NO  | Pürüzlülük (cm) | NOKTA NO  | Pürüzlülük (cm) |
|-----------|-----------------|-----------|-----------------|
| B1_1,B1_2 | 1.11            | B7_1      | 0.95            |
| B2_1      | 1.18            | B7_2      | 0.95            |
| B2_2      | 1.13            | B7_3      | 0.94            |
| B2_3      | 1.06            | B7_4      | 0.95            |
| B2_4      | 1.42            | B8_1      | 1.98            |
| B3_1      | 1.36            | B8_2      | 1.98            |
| B3_2      | 2.58            | B8_3      | 1.98            |
| B3_3      | 1.55            | B8_4      | 1.98            |
| B3_4      | 1.58            | B9_1      | 0.95            |
| B4_1      | 1.99            | B9_2,B9_3 | 1.39            |
| B4_2      | 1.52            | B9_4      | 1.73            |
| B4_3      | 0.93            | B10_1     | 1.21            |
| B4_4      | 1.38            | B12_1     | 0.95            |
| B5_1      | 0.92            | B12_2     | 1.99            |
| B5_2,B5_3 | 1.20            | B12_3     | 1.99            |
| B5_4      | 1.14            | B12_4     | 1.99            |
| B6_1      | 1.73            | B13_1     | 1.11            |
| B6_2      | 1.03            | B13_2     | 0.92            |
| B6_3      | 1.73            | B13_3     | 1.99            |
| B6_4      | 1.03            | B13_4     | 1.05            |

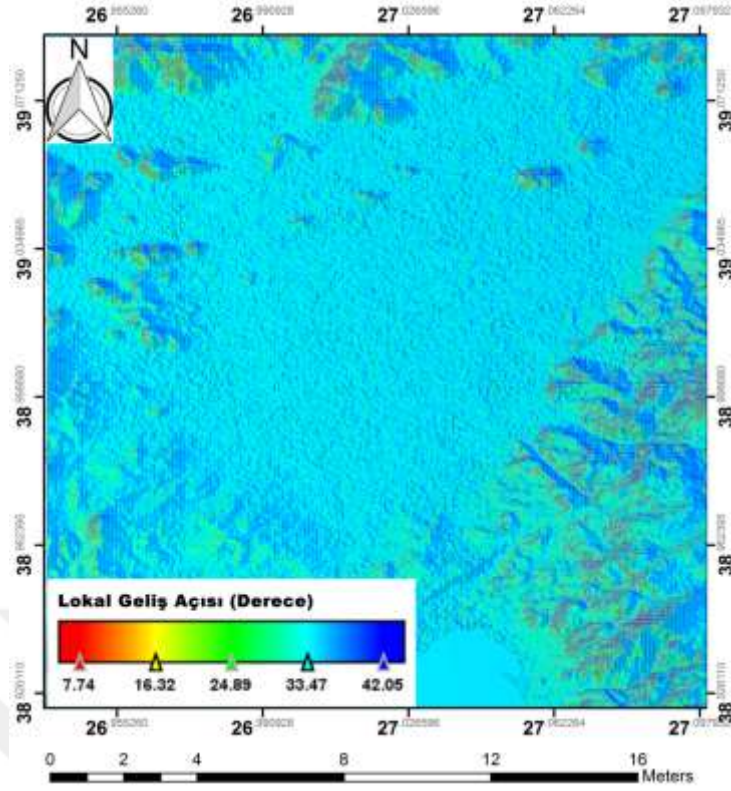
12 Haziran 2016 tarihinde gerçekleştirilen bir diğer arazi ölçümünde, BKA belirlenmesine yönelik hazırlanan 1m x 1m'lik bir çerçeve ile her tarladan iki adet görüntü çekilmiştir. Çekilen görüntüler, Bölüm 5.3.3'te belirtildiği gibi Photoshop 7.0 (demo sürümü) programında işlenerek BKA değerleri çıkarılmıştır. Her tarla için alınan iki görüntüden elde edilen sonuçların, ortalamaları alınarak ilgili tarlanın BKA değeri belirlenmiştir (Çizelge 6.5).

Çizelge 6.5'te görüleceği üzere, meralar ve sulanmış olan B12\_3 ve B12\_4 tarlaları için BKA değeri hesaplanmamıştır.

**Çizelge 6.5** Tarla bazlı BKA değerleri.

| <b>NOKTA NO</b> | <b>BKA (%)</b> | <b>NOKTA NO</b> | <b>BKA (%)</b> |
|-----------------|----------------|-----------------|----------------|
| B1_1,B1_2       | 20.775         | B6_4            | 8.085          |
| B2_1            | 6.215          | B7_1            | 19.99          |
| B2_2            | 2.115          | B7_2            | 19.99          |
| B2_3            | 4.325          | B7_3            | 8.105          |
| B2_4            | 3.685          | B7_4            | 19.99          |
| B3_1            | 9.75           | B8_1            | 12.715         |
| B3_2            | 0.945          | B8_2            | 12.715         |
| B3_3            | 6.965          | B8_3            | 12.715         |
| B3_4            | 0.945          | B8_4            | 12.715         |
| B4_1            | 39.825         | B9_1            | 17.415         |
| B4_2            | 1.245          | B9_2,B9_3       | 13.905         |
| B4_3            | 26.035         | B9_4            | 36.66          |
| B4_4            | 22.385         | B10_1           | 7.485          |
| B5_1            | 18.54          | B12_1           | 19.99          |
| B5_2,B5_3       | 24.74          | B12_2           | 39.825         |
| B5_4            | 15.825         | B13_1           | 20.775         |
| B6_1            | 37.41          | B13_2           | 18.54          |
| B6_2            | 8.085          | B13_3           | 21.825         |
| B6_3            | 37.41          | B13_4           | 7.485          |

Yukarıda belirtilen ölçümlere ek olarak tarla bazlı ortalama lokal geliş açısı ( $\theta$ ) değerleri ve dielektrik katsayısı değerleri de hesaplanmıştır. Lokal geliş açısı haritası, SYM verisine ve SAR uydusunun bakış açısına bağlı olması nedeniyle her bir veri seti için ayrı ayrı çıkarılmıştır. SYM verisi kullanılarak çıkarılan 22 Nisan 2016 tarihli ALOS-2 verisine ait lokal geliş açısı haritası örnek olarak Şekil 6.2'de sunulmuştur.



**Şekil 6.2** 22 Nisan 2016 tarihli ALOS-2 verisine ait lokal geliş açısı haritası.

Dielektrik katsayısı da; radar frekansı, toprak nemi ve içeriğine bağlı olduğundan her bir uydu verisi için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Veri setleri için hesaplanan lokal geliş açısı ve dielektrik katsayısı değerleri Çizelge 6.6’da sunulmuştur. Yapılan ön çalışmalarda, mera alanından alınan toprak nemi ve geri saçılım ilişkilerinin çok düşük olması nedeniyle, mera alanlarındaki toprak nemi, pürüzlülük, BKA ve dielektrik katsayısı değerleri uygulamalarda dikkate alınmamıştır.

**Çizelge 6.6** Veri setleri için hesaplanan tarla bazlı ortalama lokal geliş açısı ve dielektrik katsayısı değerleri.

| Tarla No         | 22.04.2016<br>ALOS-2 |            | 18.04.2016<br>Sentinel-1A |            | 24.04.2016<br>Sentinel-1A |            | 12.06.2016<br>ALOS-2 |            | 11.06.2016<br>Sentinel-1A |            |
|------------------|----------------------|------------|---------------------------|------------|---------------------------|------------|----------------------|------------|---------------------------|------------|
|                  | $\theta$ (°)         | $\epsilon$ | $\theta$ (°)              | $\epsilon$ | $\theta$ (°)              | $\epsilon$ | $\theta$ (°)         | $\epsilon$ | $\theta$ (°)              | $\epsilon$ |
| <b>B1_1,B1_2</b> | 34.02                | 4.62       | 34.58                     | 4.83       | 42.62                     | 4.83       | 22.45                | 4.04       | 41.73                     | 4.22       |
| <b>B2_1</b>      | 34.99                | 7.62       | 36.72                     | 7.86       | 40.55                     | 7.86       | 23.29                | 4.63       | 40.51                     | 4.83       |
| <b>B2_2</b>      | 34.22                | 6.22       | 36.12                     | 6.45       | 40.72                     | 6.45       | 22.55                | 5.04       | 40.82                     | 5.25       |
| <b>B2_3</b>      | 34.18                | 9.37       | 36.16                     | 9.61       | 40.77                     | 9.61       | 22.49                | 5.81       | 40.78                     | 6.04       |
| <b>B2_4</b>      | 33.29                | 8.32       | 35.52                     | 8.56       | 41.65                     | 8.56       | 21.56                | 4.81       | 41.44                     | 5.02       |
| <b>B3_1</b>      | 34.20                | 10.46      | 36.88                     | 10.69      | 39.80                     | 10.69      | 22.46                | 6.56       | 39.98                     | 6.79       |
| <b>B3_2</b>      | 36.04                | 13.84      | 38.05                     | 14.04      | 39.41                     | 14.04      | 24.38                | 7.22       | 39.42                     | 7.46       |
| <b>B3_3</b>      | 34.40                | 11.77      | 36.39                     | 11.99      | 40.23                     | 11.99      | 22.72                | 6.68       | 40.28                     | 6.91       |
| <b>B3_4</b>      | 32.06                | 11.07      | 34.84                     | 11.29      | 42.35                     | 11.29      | 20.09                | 5.64       | 41.89                     | 5.86       |
| <b>B4_1</b>      | 34.32                | 7.61       | 36.48                     | 7.84       | 40.53                     | 7.84       | 22.63                | 7.46       | 40.58                     | 7.69       |
| <b>B4_2</b>      | 34.92                | 4.28       | 37.57                     | 4.46       | 39.62                     | 4.46       | 23.26                | 4.31       | 39.54                     | 4.5        |
| <b>B4_3</b>      | 34.67                | 8.69       | 36.76                     | 8.92       | 40.20                     | 8.92       | 22.99                | 5.59       | 40.21                     | 5.8        |
| <b>B4_4</b>      | 34.04                | 7.68       | 36.17                     | 7.91       | 40.71                     | 7.91       | 22.35                | 5.37       | 41.03                     | 5.58       |
| <b>B5_1</b>      | 35.26                | 7.51       | 37.04                     | 7.74       | 39.79                     | 7.74       | 23.24                | 7.51       | 39.66                     | 7.74       |
| <b>B5_2,B5_3</b> | 33.95                | 5.79       | 36.06                     | 6.01       | 41.14                     | 6.01       | 22.26                | 4.58       | 41.14                     | 4.77       |
| <b>B5_4</b>      | 35.05                | 6.08       | 37.07                     | 6.30       | 40.02                     | 6.30       | 23.37                | 4.45       | 39.80                     | 4.65       |
| <b>B6_1</b>      | 34.81                | 8.79       | 36.81                     | 9.04       | 40.60                     | 9.04       | 22.80                | 20.8       | 40.66                     | 20.91      |
| <b>B6_2</b>      | 34.33                | 17.71      | 36.41                     | 17.87      | 40.62                     | 17.87      | 22.65                | 11.38      | 40.58                     | 11.61      |
| <b>B6_3</b>      | 34.95                | 8.53       | 36.77                     | 8.78       | 40.16                     | 8.78       | 23.16                | 20.21      | 40.11                     | 20.33      |
| <b>B6_4</b>      | 34.52                | 10.96      | 36.47                     | 11.20      | 40.44                     | 11.20      | 22.81                | 8.26       | 40.51                     | 8.51       |
| <b>B7_1</b>      | 36.21                | 17.72      | 38.15                     | 17.88      | 38.33                     | 17.88      | 24.84                | 11.82      | 37.95                     | 12.05      |
| <b>B7_2</b>      | 33.23                | 12.72      | 35.33                     | 12.94      | 41.77                     | 12.94      | 21.59                | 7.94       | 41.54                     | 8.19       |
| <b>B7_3</b>      | 34.79                | 20.92      | 36.97                     | 21.03      | 39.99                     | 21.03      | 22.98                | 10.96      | 40.09                     | 11.2       |
| <b>B7_4</b>      | 34.04                | 4.95       | 36.15                     | 5.17       | 40.99                     | 5.17       | 22.31                | 4.68       | 41.02                     | 4.89       |
| <b>B8_1</b>      | 34.58                | 8.32       | 36.64                     | 8.57       | 40.26                     | 8.57       | 22.93                | 5.61       | 40.44                     | 5.84       |
| <b>B8_2</b>      | 34.82                | 13.62      | 36.85                     | 13.84      | 40.17                     | 13.84      | 23.30                | 4.45       | 40.25                     | 4.66       |
| <b>B8_3</b>      | 33.54                | 10.82      | 35.55                     | 11.07      | 41.40                     | 11.07      | 21.75                | 5.42       | 41.40                     | 5.65       |
| <b>B8_4</b>      | 33.69                | 9.29       | 36.04                     | 9.54       | 41.21                     | 9.54       | 22.05                | 14.9       | 41.26                     | 15.33      |
| <b>B9_1</b>      | 34.65                | 7.07       | 36.70                     | 7.30       | 40.45                     | 7.30       | 22.97                | 6.68       | 40.42                     | 6.91       |
| <b>B9_2,B9_3</b> | 33.35                | 5.51       | 35.17                     | 5.73       | 41.73                     | 5.73       | 21.48                | 5.33       | 41.81                     | 5.55       |
| <b>B9_4</b>      | 33.27                | 6.09       | 35.97                     | 6.31       | 41.07                     | 6.31       | 21.66                | 10.35      | 41.04                     | 10.59      |
| <b>B10_1</b>     | 32.60                | 4.66       | 34.55                     | 4.86       | 42.49                     | 4.86       | 20.88                | 4.17       | 43.50                     | 4.36       |
| <b>B12_1</b>     | 34.80                | 5.13       | 36.89                     | 5.34       | 40.35                     | 5.34       | 23.14                | 4.66       | 40.39                     | 4.86       |
| <b>B12_2</b>     | 34.32                | 10.21      | 36.61                     | 10.45      | 40.51                     | 10.45      | 22.77                | 5.71       | 40.46                     | 5.93       |
| <b>B12_3</b>     | 34.29                | 9.46       | 36.24                     | 9.70       | 40.92                     | 9.70       | 22.81                | X          | 40.50                     | X          |
| <b>B12_4</b>     | 35.08                | 7.64       | 37.40                     | 7.87       | 40.08                     | 7.87       | 23.12                | X          | 40.40                     | X          |
| <b>B13_1</b>     | 34.43                | 6.08       | 36.71                     | 6.30       | 40.55                     | 6.30       | 24.17                | 3.84       | 38.97                     | 3.99       |
| <b>B13_2</b>     | 34.72                | 4.39       | 36.76                     | 4.58       | 40.43                     | 4.58       | 22.22                | 5.43       | 41.00                     | 5.65       |
| <b>B13_3</b>     | 35.67                | 6.98       | 37.86                     | 7.21       | 38.98                     | 7.21       | 22.45                | 7.58       | 41.73                     | 7.81       |
| <b>B13_4</b>     | 33.36                | 5.31       | 35.83                     | 5.52       | 40.89                     | 5.52       | 23.29                | 6.35       | 40.51                     | 6.57       |

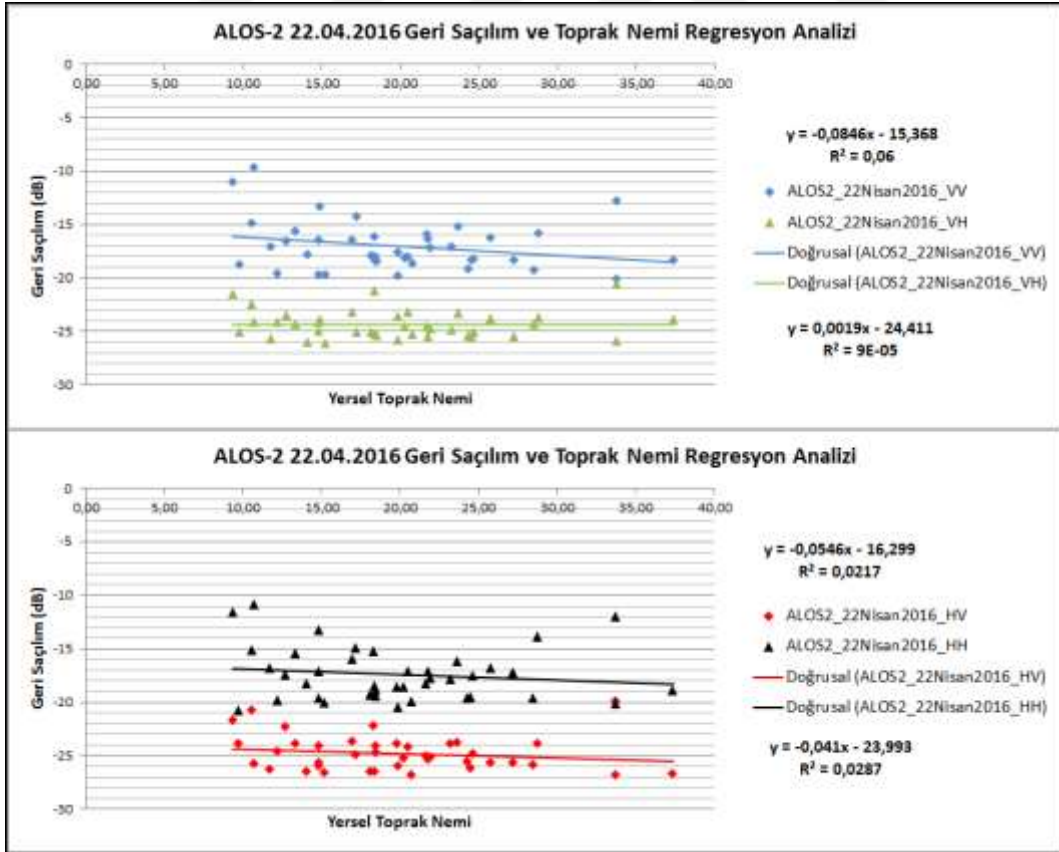
## 6.1 SAR GERİ SAÇILIMINA ETKİ EDEN PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Bu bölümde; SAR geri saçılımını etkileyen, toprak nemi, lokal geliş açısı, yüzey pürüzlülüğü ve dielektrik katsayısı gibi parametrelerin, Nisan ve Haziran (2016) ayında alınan verilerinin tüm

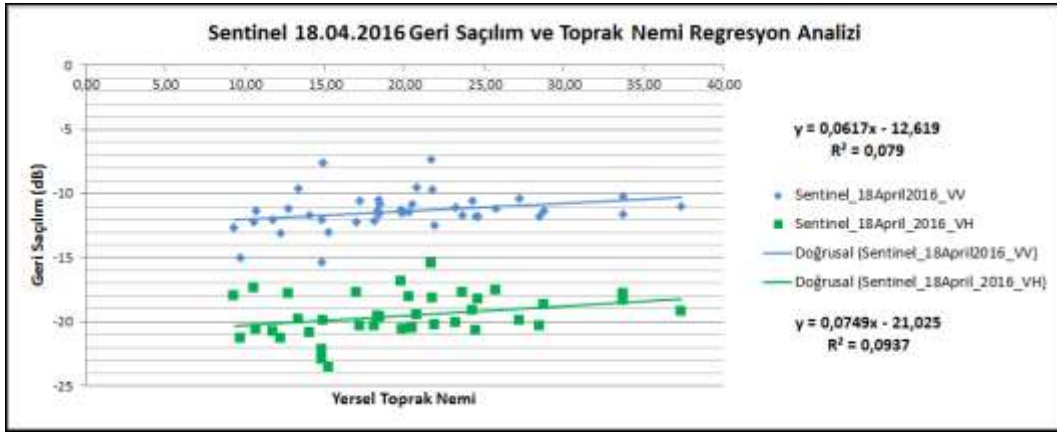
polarizasyonlarında geri saçılım değerleri ile olan ilişkileri doğrusal regresyon analizleri ile incelenmiştir.

### 6.1.1 SAR Geri Saçılımı ve Toprak Nemi İlişkisi

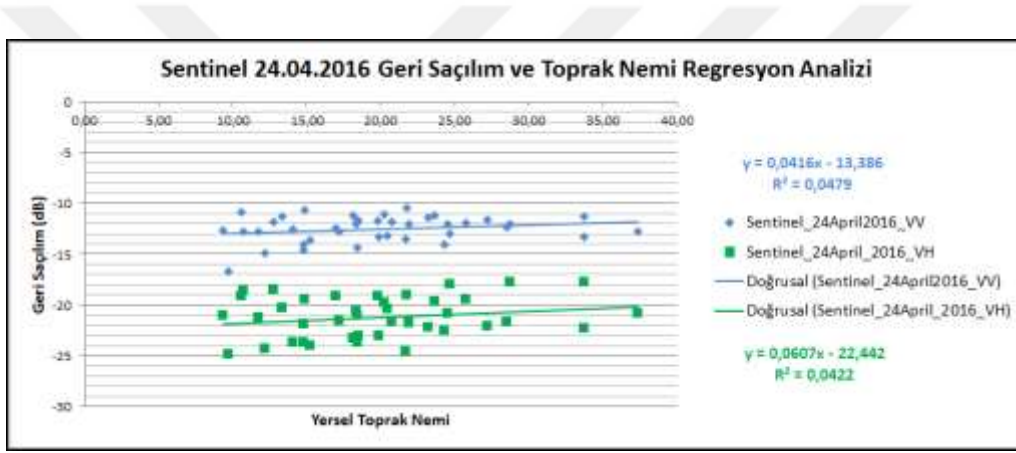
Nisan ayında alınan veriler için Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te sırasıyla 22 Nisan 2016 tarihli ALOS-2, 18 Nisan ve 24 Nisan 2016 tarihli Sentinel-1A SAR geri saçılım değerleri ile yersel toprak nemi değerleri arasındaki doğrusal regresyon grafikleri sunulmuştur. Bu grafikler tüm tarlalar baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Analizler ile elde edilen sonuçlar dikkate alındığında çalışma alanında yersel toprak nemi değerleri ile geri saçılım değerleri arasındaki ilişki, Şekil 6.3, Şekil 6.4 ve Şekil 6.5'te görüldüğü üzere düşük değerlerdedir ve bu nedenle model tabanlı yaklaşımlar kullanılarak SAR verileri ile toprak nemi tahmini yapılması önem kazanmıştır. Ayrıca, regresyon analizinde korelasyon katsayısını arttırmak amacıyla eğilim eğrisini bozan değerlerin bazıları çıkarıldığı zaman korelasyon katsayılarının gözle görülür derecede artış gösterdiği belirlenmiştir.



Şekil 6.3 ALOS-2 verisine ait geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi (tüm tarlalar).

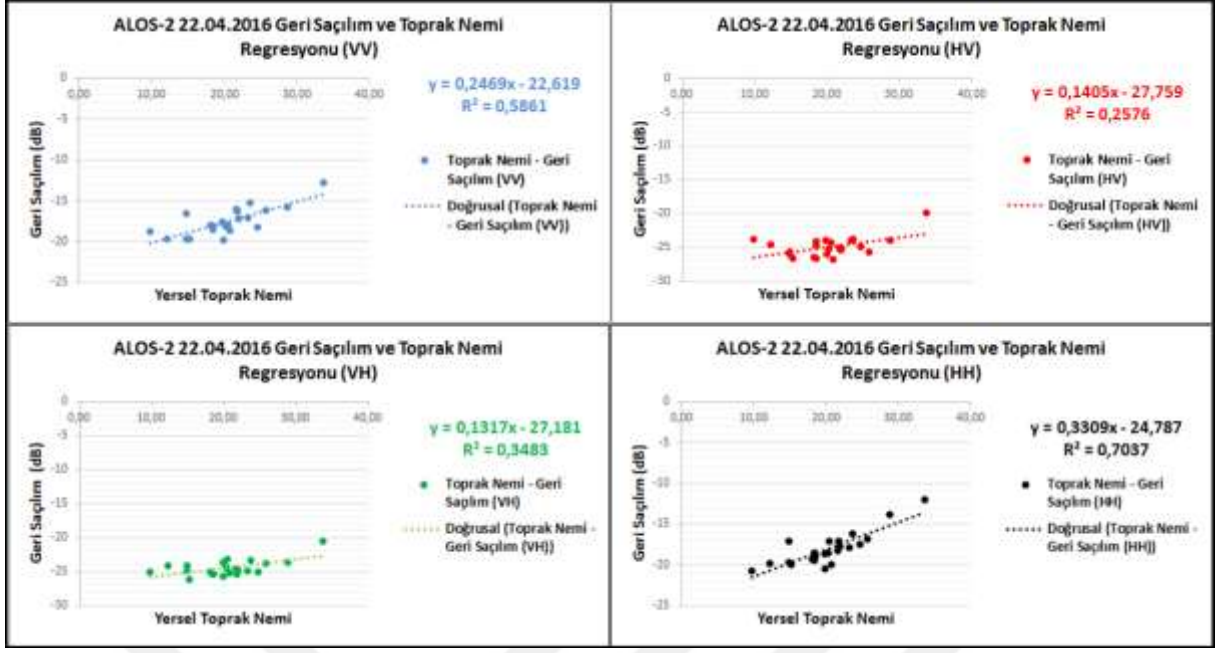


**Şekil 6.4** 18 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi (tüm tarlalar).

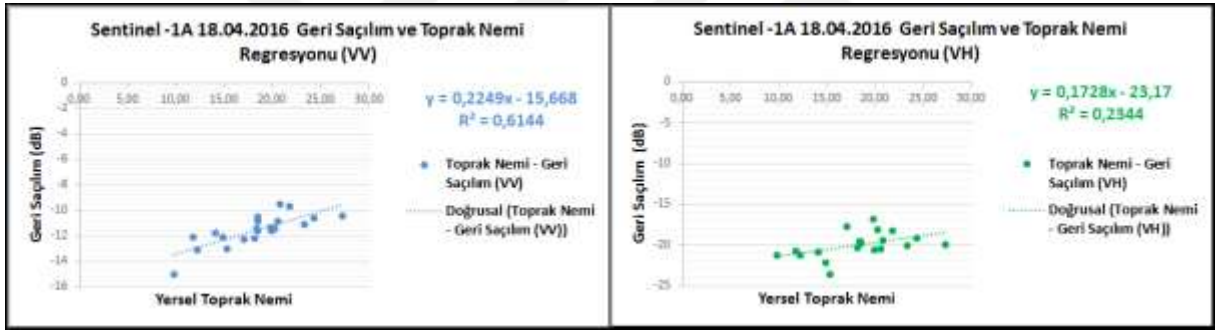


**Şekil 6.5** 24 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi (tüm tarlalar).

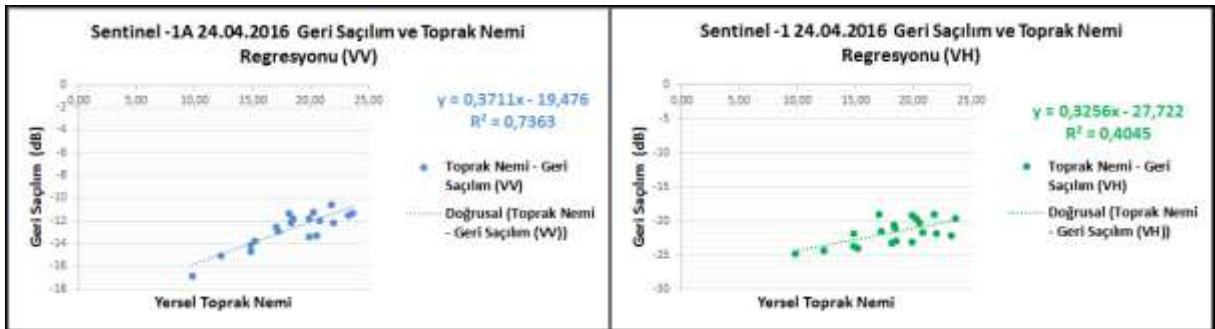
Şekil 6.6, Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’de sırasıyla yine Nisan ayı veri setleri için eğilim eğrisini bozan bazı tarlalar çıkarıldıktan sonra radar uydularından elde edilen geri saçılım değerleri ile yersel toprak nemi değerleri arasındaki regresyon analizleri sunulmuştur. Şekil 6.6’dan anlaşılacağı üzere ALOS-2 verisinin eş polarize (HH, VV) geri saçılım değerleri, çapraz polarize (HV, VH) geri saçılım değerlerine göre yersel toprak nemi değerleri ile daha yüksek bir ilişki göstermiştir. Şekil 6.7 ve Şekil 6.8’de ise Sentinel-1A veri setlerinde yine eş polarize (VV) geri saçılımın, çapraz polarize (VH) geri saçılıma kıyasla daha yüksek bir ilişki sergilediği belirlenmiştir.



Şekil 6.6 ALOS-2 geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi.



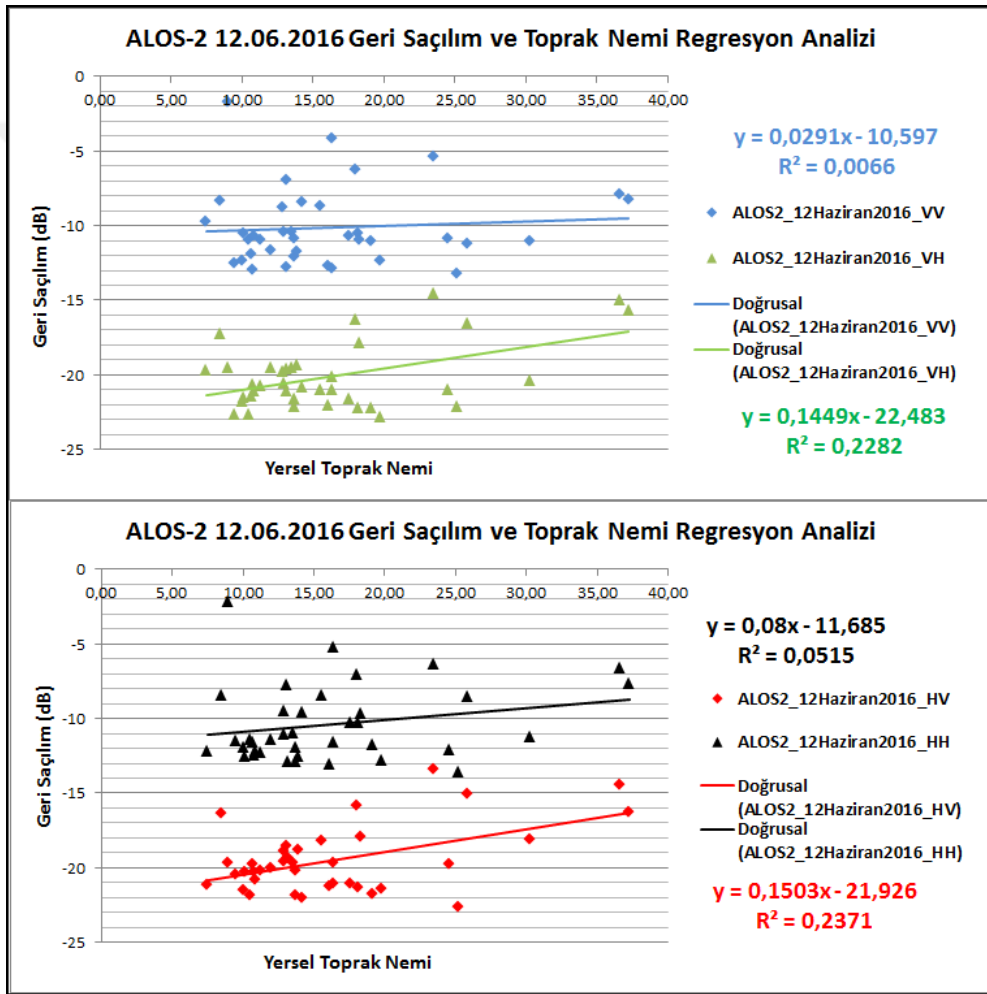
Şekil 6.7 18 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi.



Şekil 6.8 24 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi.

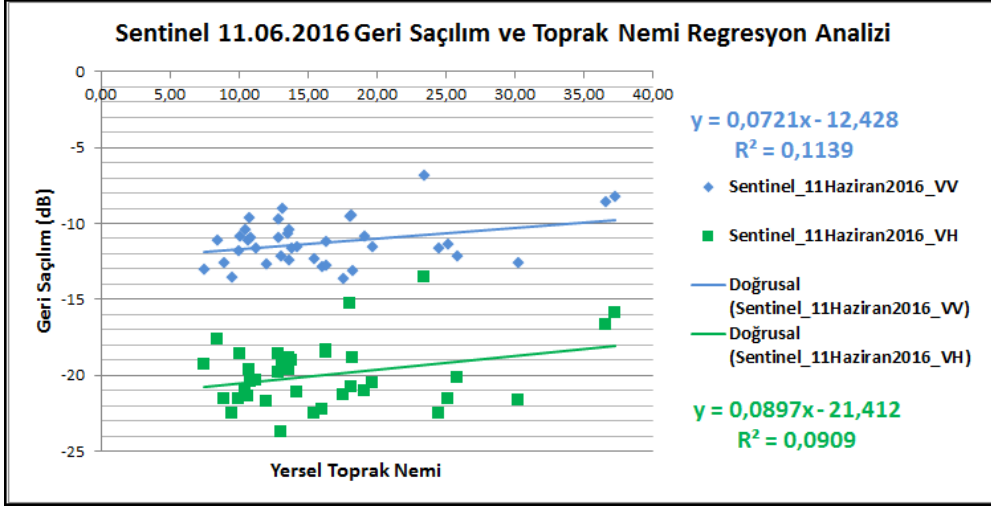
Haziran ayında alınan veriler için Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da sırasıyla 12 Haziran 2016 tarihli ALOS-2, 11 Haziran 2016 tarihli Sentinel-1A SAR geri saçılım değerleri ile yersel toprak

nemi değerleri arasındaki regresyon grafikleri sunulmuştur. Bu grafikler, Nisan verilerinde olduğu gibi öncelikle tüm tarlalar baz alınarak gerçekleştirilmiştir. Analizler ile elde edilen sonuçlar dikkate alındığında ilk veri setine nazaran yersel toprak nemi değerleri ile geri saçılım değerleri arasındaki ilişkinin bazı polarizasyonlarda daha yüksek olduğu gözlemlenmiştir. Şekil 6.11 ve Şekil 6.12’de görüleceği üzere, yapılan regresyon analizinde toprak nemi ile geri saçılım arasındaki korelasyon katsayısını arttırmak amacıyla yine ilk veri setinde yapıldığı gibi eğilim eğrisini bozan değerler çıkarılarak yeni regresyon analizleri yapılmış ve sonraki işlemler bu tarlalar baz alınarak gerçekleştirilmiştir.



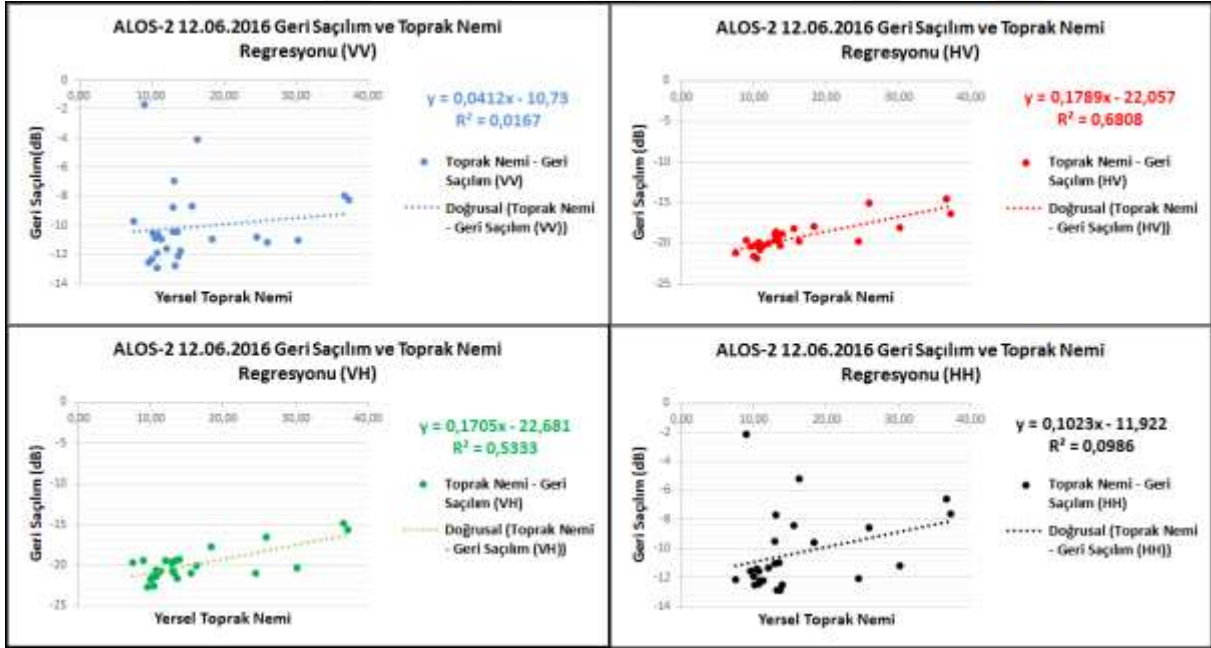
Şekil 6.9 ALOS-2 geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi (tüm tarlalar).



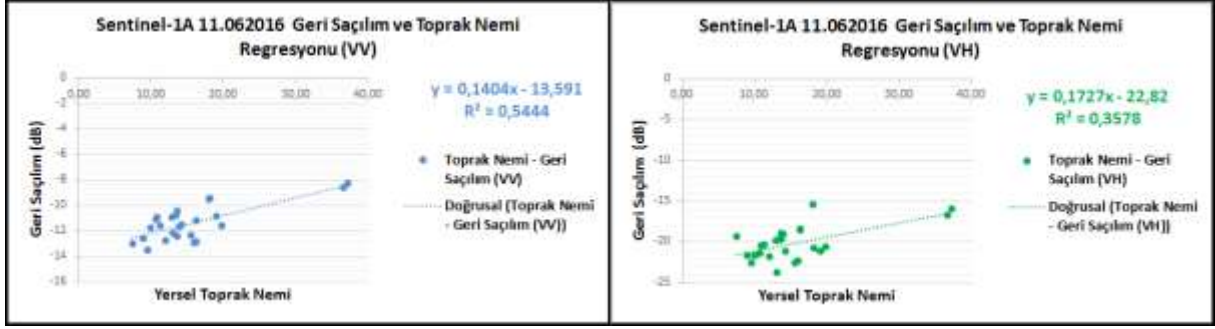


Şekil 6.10 Sentinel-1A geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi (tüm tarlalar).

Şekil 6.11'den anlaşılacağı üzere, Nisan ayı veri setinin aksine ALOS-2 verisinin çapraz polarize (HV, VH) geri saçılım değerleri, eş polarize (HH, VV) geri saçılım değerlerine göre yersel toprak nemi değerleri ile daha yüksek bir ilişki göstermektedir. Şekil 6.12'de ise Nisan verisinde olduğu gibi Sentinel-1A verisi VV polarizasyonu geri saçılımının toprak nemine daha duyarlı olduğu görülmektedir.



Şekil 6.11 12 Haziran ALOS-2 geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi.

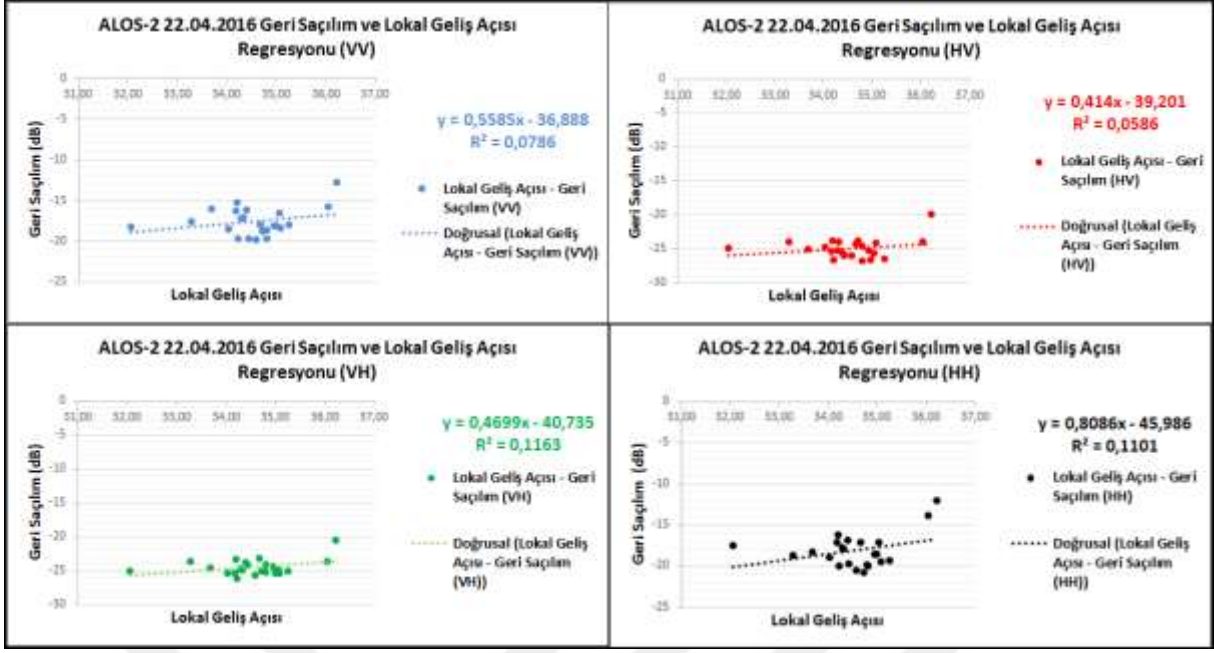


**Şekil 6.12** 11 Haziran Sentinel-1A geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi.

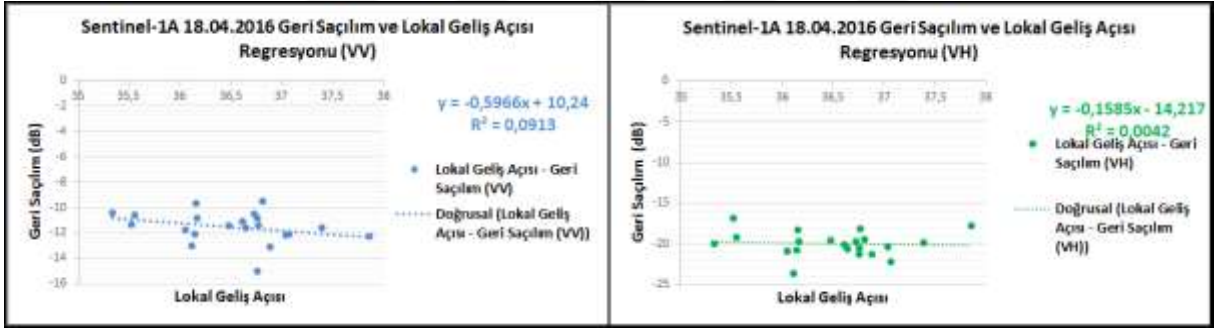
Yapılan tüm analizlerin bir sonucu olarak, yukarıdaki grafiklerden anlaşılacağı üzere toprak nemi ve radar geri saçılımı arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu söylenebilir. Topraktan saçılan radar sinyalinin toprak neminin artması sonucu artış gösterdiği anlaşılmaktadır.

### 6.1.2 SAR Geri Saçılımı ve Lokal Geliş Açısı İlişkisi

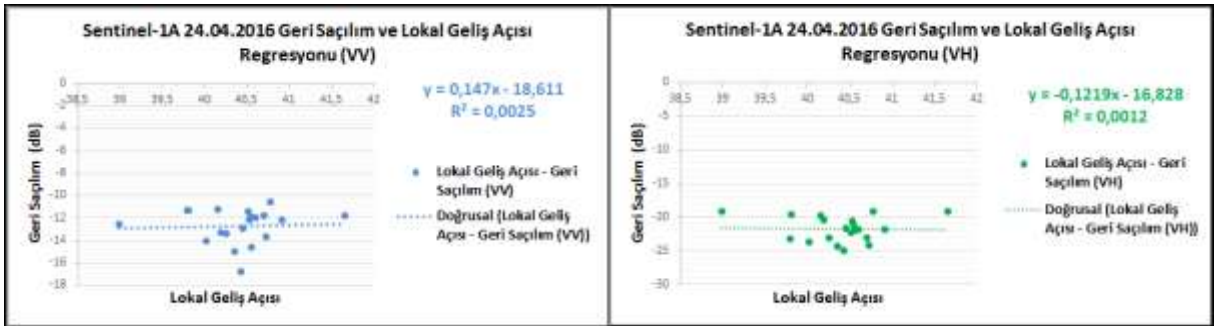
Radar geri saçılımına etki eden faktörlerden bir diğeri de lokal geliş açısıdır. Nisan ayında alınan veriler için ALOS-2 ve Sentinel-1A geri saçılım değerleri ile lokal geliş açıları değerleri arasında regresyon analizleri gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.13, Şekil 6.14 ve Şekil 6.15'te görüleceği üzere, lokal geliş açısı ile radar geri saçılımı arasında çok yüksek bir ilişki görünmese bile lokal geliş açısı sonuç ürünlerin doğruluğuna büyük oranda etki etmektedir. ALOS-2 verisi için VH ve HH polarizasyonların, Sentinel-1A verisinde ise çok yüksek bir ilişki olmasa bile VV polarizasyonun lokal geliş açısına karşı daha duyarlı olduğu grafiklerden anlaşılmaktadır.



Şekil 6.13 22 Nisan tarihli ALOS-2 geri saçılımı ile lokal geliş açısı arasındaki regresyon analizi.

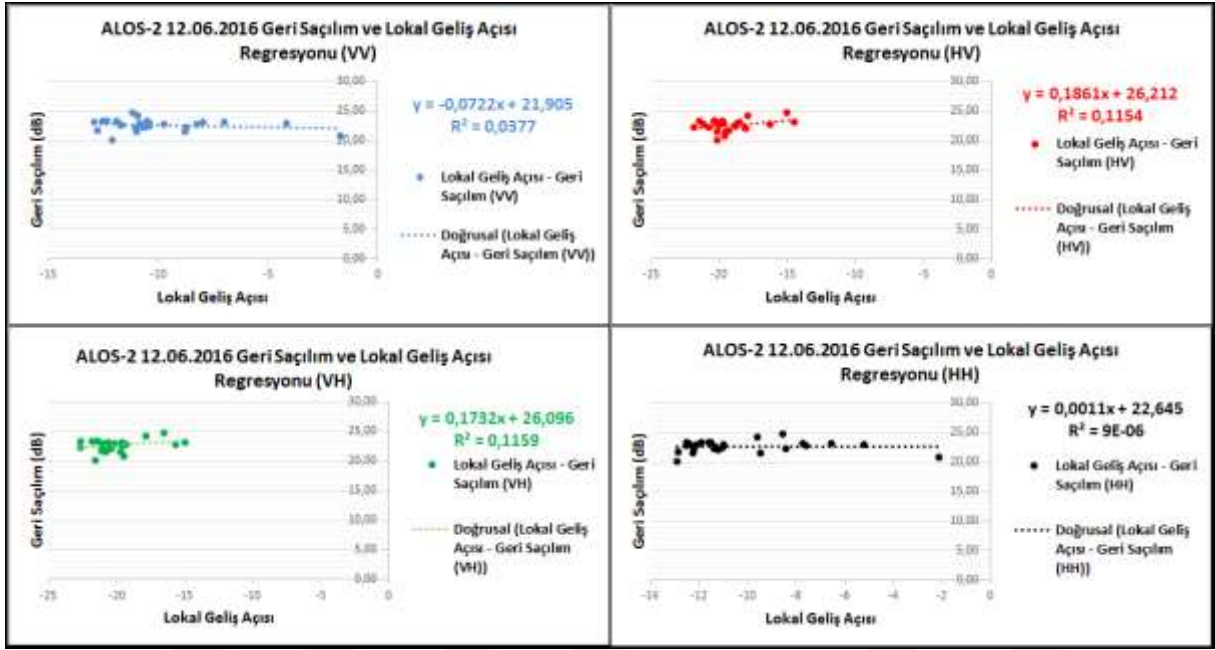


Şekil 6.14 18 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile lokal geliş açısı arasındaki regresyon analizi.

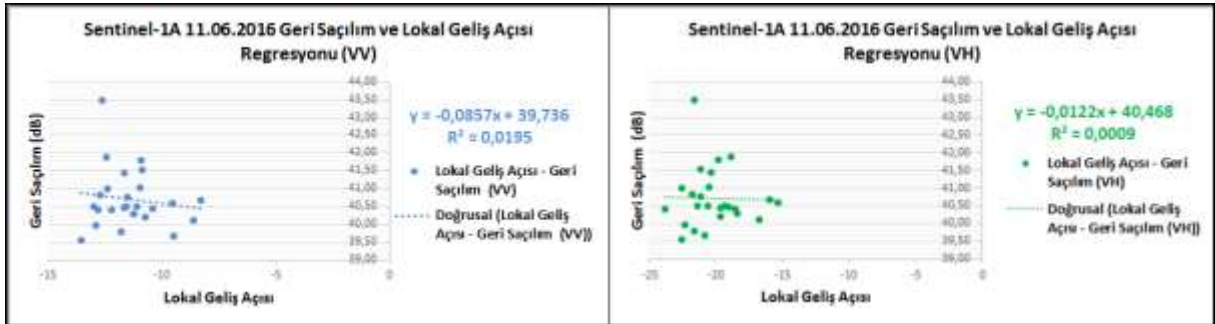


Şekil 6.15 24 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile lokal geliş açısı arasındaki regresyon analizi.

Haziran ayında alınan ALOS-2 ve Sentinel-1A geri saçılım değerleri ile lokal geliş açısı değerleri arasındaki regresyon analizleri de sırasıyla Şekil 6.16 ve Şekil 6.17’de gösterilmiştir. ALOS-2 verisi için çapraz polarizasyonun lokal geliş açısına daha duyarlı olduğu görülmektedir. Sentinel-1A verisinde ise çok olmasa da VV polarizasyonun daha duyarlı olduğu belirlenmiştir.



Şekil 6.16 12 Haziran tarihli ALOS-2 geri saçılımı ile lokal geliş açısı arasındaki regresyon analizi.

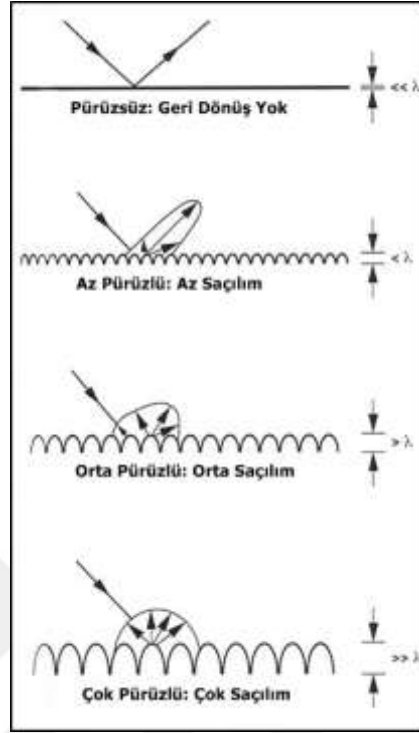


Şekil 6.17 11 Haziran tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile lokal geliş açısı arasındaki regresyon analizi.

### 6.1.3 SAR Geri Saçılımı ve Yüzey Pürüzlülüğü İlişkisi

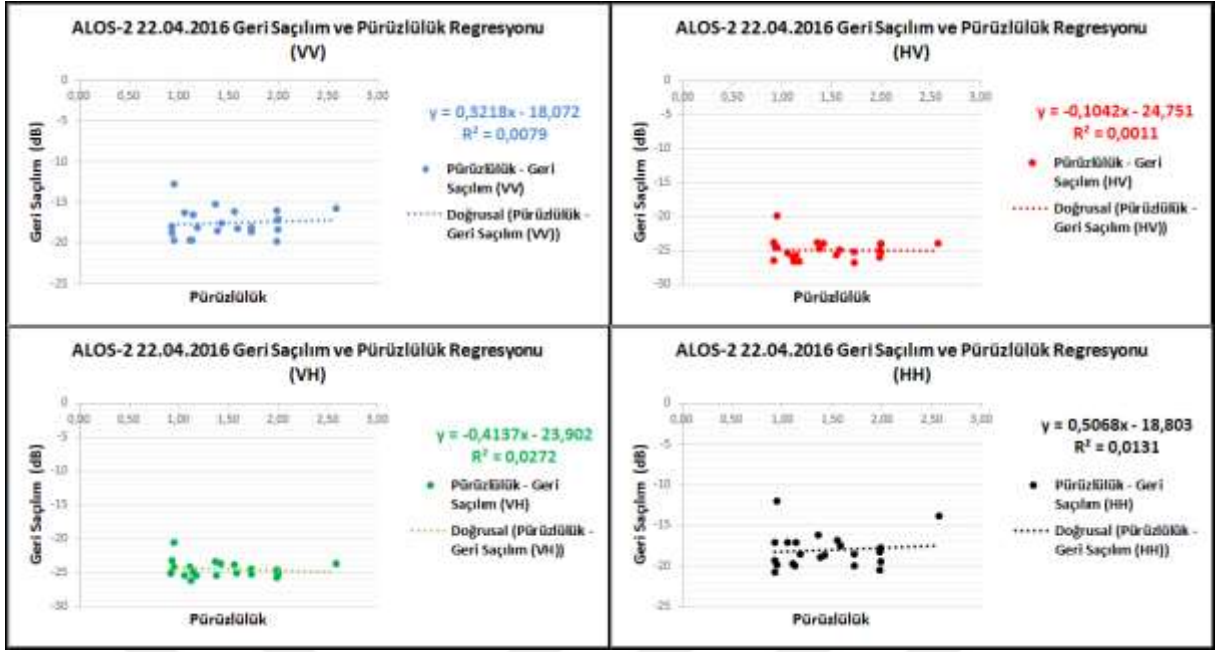
Radar geri saçılımını etkileyen önemli parametrelerden bir diğeri de yüzey pürüzlülüğüdür. Şekil 6.18’de radar dalga boyu ile yüzey pürüzlülüğünün geri saçılıma olan etkileri

sunulmuştur (Farr 1993). Bu şekle göre, pürüzlülük dalga boyundan küçükse geri saçılım zayıf, büyük ise güçlü bir geri saçılım ortaya çıkmaktadır.



**Şekil 6.18** Pürüzlülük ve dalga boyunun geri saçılıma etkisi (Farr 1993'den değiştirilerek).

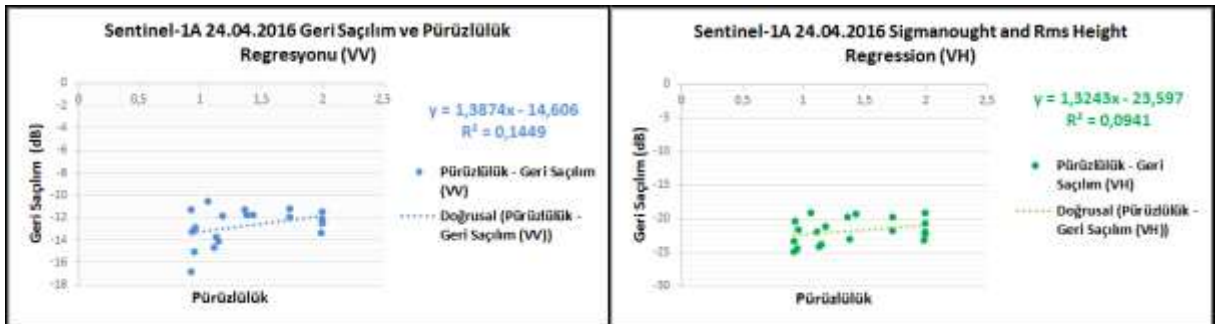
Nisan ayında alınan, ALOS-2 ve Sentinel-1A veri setleri için geri saçılım ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki regresyon analizleri Şekil 6.19, Şekil 6.20 ve Şekil 6.21'de sunulmuştur. Şekil 6.18'de gösterildiği gibi, ALOS-2 uydusu radar sinyalinin dalga boyu 22,9 cm olduğu için pürüzlülüğe olan duyarlılığının tüm polarizasyonlarda daha az olduğu Şekil 6.19'dan anlaşılmaktadır. Ancak, dalga boyu daha küçük olan Sentinel-1A (5,6 cm) polarizasyonlarının pürüzlülüğe daha duyarlı olduğu Şekil 6.20 ve Şekil 6.21'de görülmektedir. ALOS-2 verisinde, lokal geliş açısında olduğu gibi VH ve HH polarizasyonlarının pürüzlülüğe daha duyarlı olduğu görülmektedir. Sentinel-1A veri setlerinde ise, 18 Nisan'da alınan veri setinde VH, 24 Nisan tarihinde alınan veri setinde ise VV polarizasyonlarının geri saçılmalarının yüzey pürüzlülüğüne daha duyarlı olduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun, uydu sinyalinin geliş açısı ve uydunun yörüngedeki görüntüleme konumu (ascending/descending) ile ilgili olması muhtemeldir.



Şekil 6.19 22 Nisan tarihli ALOS-2 geri saçılımı ile pürüzlülük arasındaki regresyon analizi.

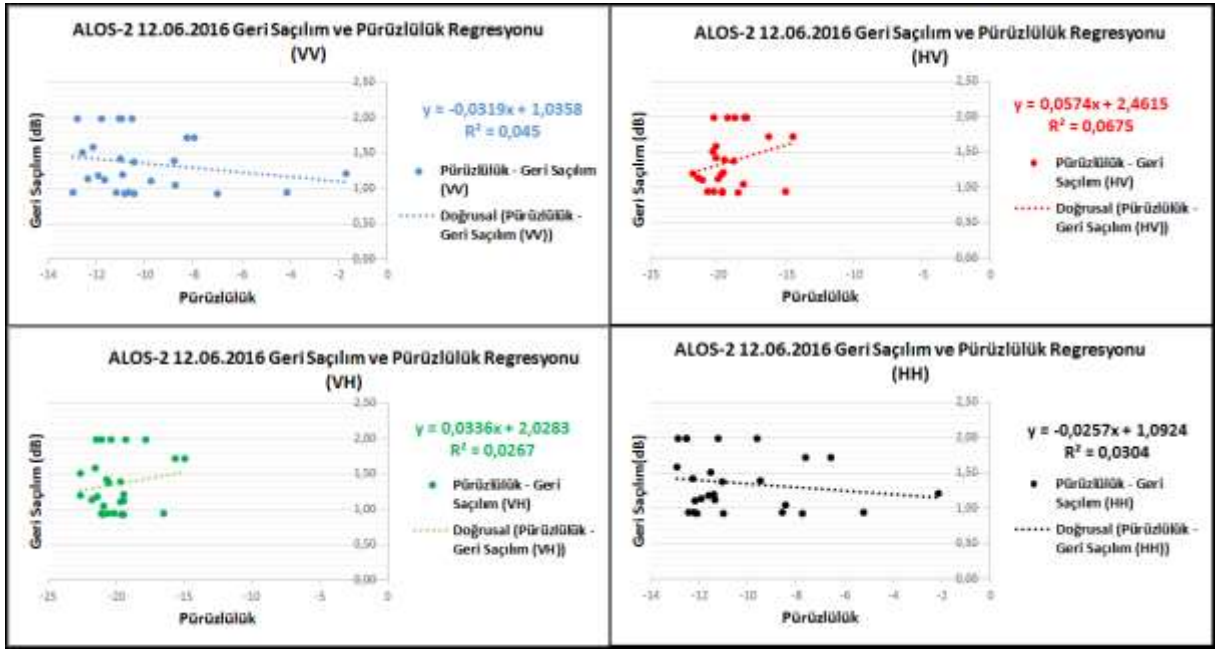


Şekil 6.20 18 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile pürüzlülük arasındaki regresyon analizi.

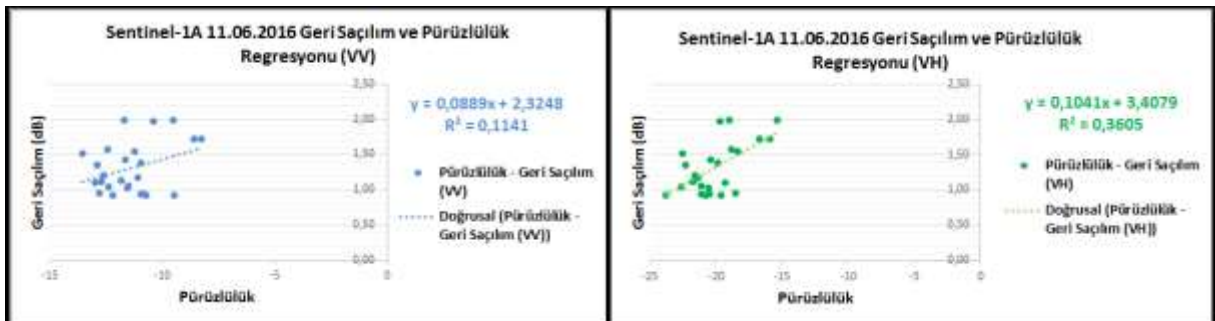


Şekil 6.21 24 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile pürüzlülük arasındaki regresyon analizi.

Haziran’da alınan ALOS-2 ve Sentinel-1A veri setleri için, geri saçılım ve yüzey pürüzlülüğü arasındaki regresyon analizleri Şekil 6.22 ve Şekil 6.23’de sunulmuştur. Şekil 6.22’de gösterildiği gibi ALOS-2 uydusu, dalga boyu büyük olduğu için pürüzlülüğe olan duyarlılığının tüm polarizasyonlarda daha az olduğu görülmektedir. Ancak ilk Nisan ayındaki veri seti sonuçları ile paralel olarak dalga boyu daha küçük olan Sentinel-1A (5.6 cm) polarizasyonlarının pürüzlülüğe daha duyarlı olduğu Şekil 6.23’den anlaşılmaktadır. Özellikle VH polarizasyonu geri saçılımının, diğer polarizasyonlara göre pürüzlülüğe daha duyarlı olduğu Şekil 6.23’de sunulmuştur.



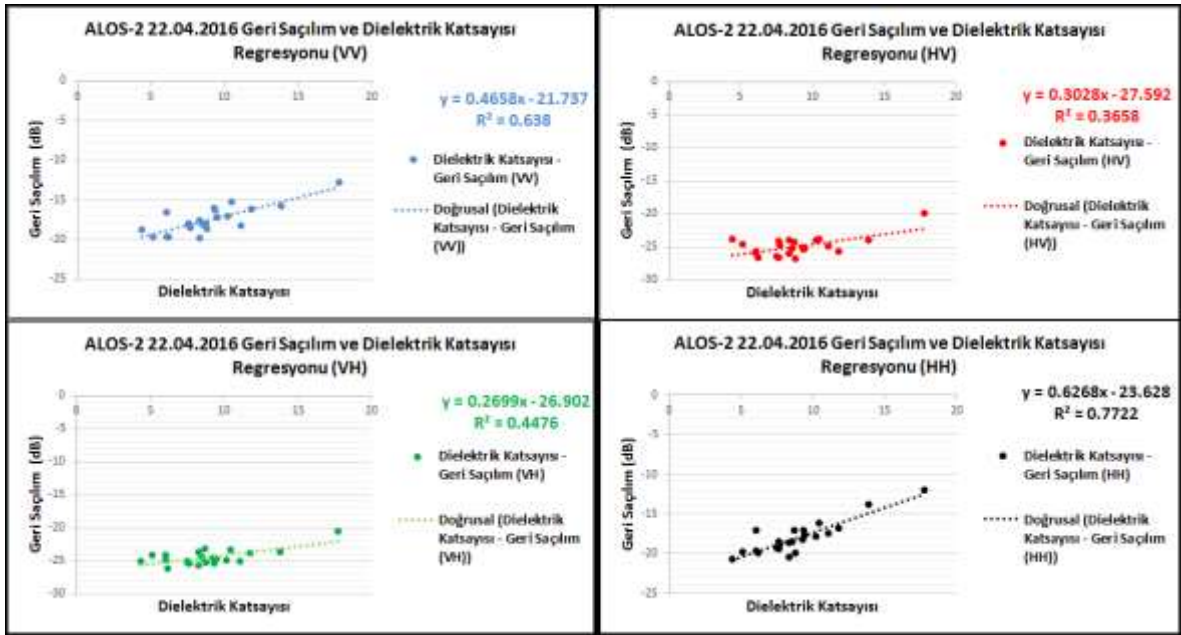
Şekil 6.22 12 Haziran tarihli ALOS-2 geri saçılımı ile pürüzlülük arasındaki regresyon analizi.



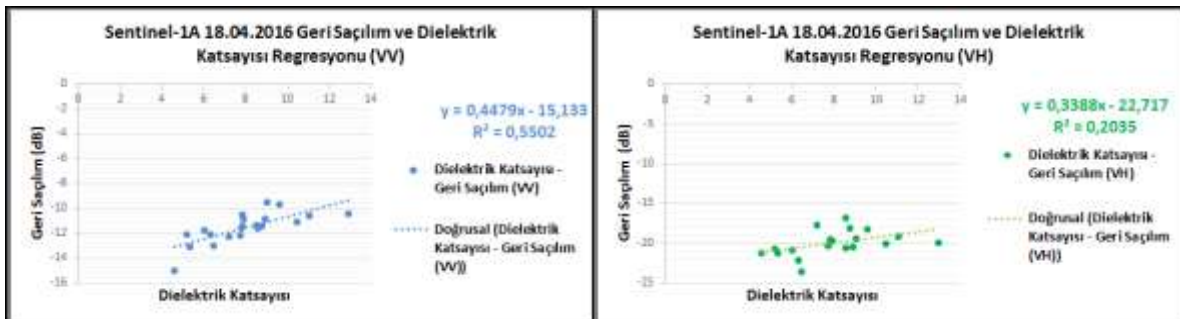
Şekil 6.23 11 Haziran tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile pürüzlülük arasındaki regresyon analizi.

#### 6.1.4 SAR Geri Saçılımı ve Dielektrik Katsayısı İlişkisi

Radar geri saçılımı ile dielektrik katsayısı arasında toprak neminde olduğu gibi doğru orantılı bir ilişki mevcuttur ve bu iki parametre arasında genellikle yüksek ilişkiler olduğu belirlenmiştir. Şekil 6.24, Şekil 6.25 ve Şekil 6.26'da sırasıyla Nisan ayında alınan ALOS-2 ve Sentinel-1A tüm polarizasyonlar için geri saçılım ve dielektrik sabiti arasındaki ilişki gösterilmiştir. ALOS-2 uydusu, VV ve HH polarizasyonlarının dielektrik katsayısına daha duyarlı olduğu Şekil 6.24'ten anlaşılmaktadır. Sentinel-1A uydusunda ise, VV polarizasyonu geri saçılımının dielektrik katsayısına daha duyarlı olduğu görülmektedir.

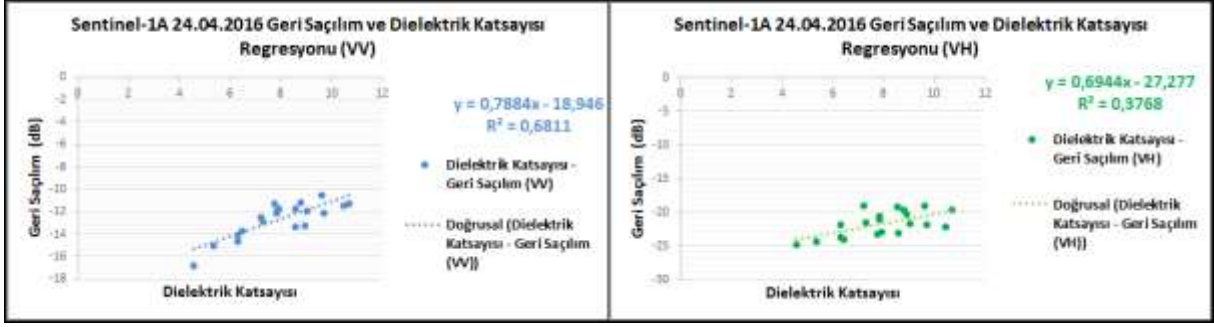


Şekil 6.24 22 Nisan tarihli ALOS-2 geri saçılımı ile dielektrik katsayısı arasındaki regresyon analizi.



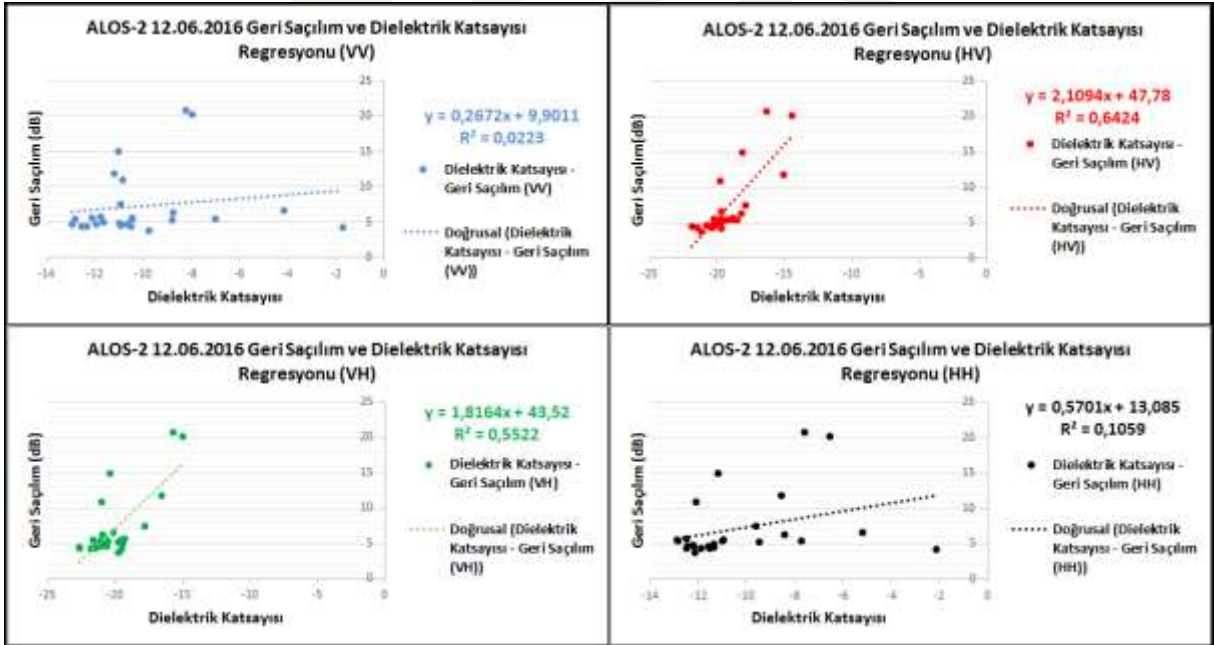
Şekil 6.25 18 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile dielektrik katsayısı arasındaki regresyon analizi.



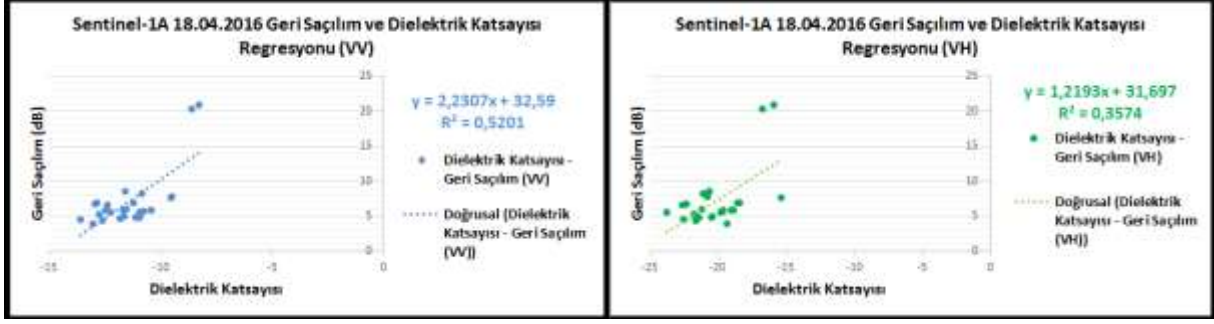


**Şekil 6.26** 24 Nisan tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile dielektrik katsayısı arasındaki regresyon analizi.

Şekil 6.27 ve 6.28’de sırasıyla Haziran ayında alınan ALOS-2 ve Sentinel-1A verilerinin, tüm polarizasyonlar için geri saçılım ve dielektrik sabiti arasındaki ilişki gösterilmiştir. Şekil 6.27 ve 6.28’den anlaşılacağı üzere, toprak nemi ile yüksek korelasyon gösteren polarizasyonlar aynı şekilde dielektrik katsayısı ile de benzer ilişki sergilemektedir. Bu durum, toprak nemi ile dielektrik katsayısı arasındaki yüksek ilişkiden kaynaklanmaktadır.



**Şekil 6.27** 12 Haziran tarihli ALOS-2 geri saçılımı ile dielektrik katsayısı arasındaki regresyon analizi.



**Şekil 6.28** 11 Haziran tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile dielektrik katsayısı arasındaki regresyon analizi.

## 6.2 TOPRAK NEMİ TAHMİNİNDE MODEL TABANLI YAKLAŞIMLAR

Açık alanlarda radar uydu verileri ile toprak nemi tahmininde en çok kullanılan iki yöntem olan Dubois ve Oh modelleri bu bölümde ele alınan modellerdir ve bunlar genellikle açık alanlarda iyi sonuçlar verdikleri için Nisan ayında alınan veri setlerine uygulanmışlardır. Bu modeller esasen radar geri saçılımını modellemek amacıyla geliştirilmiş olmalarına karşın geri saçılım değerlerini etkileyen parametreleri bünyelerinde bulundukları için ters çözüm yöntemleriyle bu parametrelerin hesaplanması sağlanabilmektedir. Ancak, bu yöntemler yarı-deneysel yöntemler olduğu için her çalışma alanında yüksek doğruluk sağlamayabilmektedir.

### 6.2.1 Dubois İnvers Çözümü

Dubois modelinin ters çözümü yapılarak toprak nemi tahmini gerçekleştirilmektedir. Modelin ters çözümünde dielektrik katsayısı elde edilerek Topp vd. (1980) tarafından, deneysel yöntemlerle elde edilen dielektrik katsayısından toprak nemi elde edilmesine ait eşitlik ile çözüm gerçekleştirilmektedir. (6.1), (6.2) ve (6.3) nolu eşitliklerde Dubois modelin HH, VV ve HH-VV polarizasyonlarındaki ters çözümleri sırasıyla sunulmuştur. Ayrıca (6.4) nolu eşitlikte Topp vd. (1980) tarafından sunulan dielektrik katsayısından toprak nemi elde edilmesine yönelik eşitlik gösterilmiştir. Bu çalışma kapsamında, modelin ters çözümünde tek polarizasyon (HH, VV) ele alındığında dielektrik katsayısının negatif değerler aldığı ancak (6.3) nolu eşitlikte gösterilen çift polarizasyon dikkate alındığında pozitif değerler elde edildiği belirlenmiştir.

$$\epsilon_r = \frac{1}{0.028 \tan \theta} \log_{10} \left( \frac{10^{2.75} (\sin \theta)^5 \sigma_{HH}^0}{(\cos \theta)^{1.5} \lambda^{0.7} (k h_{rms} \sin \theta)^{1.4}} \right) \quad (6.1)$$

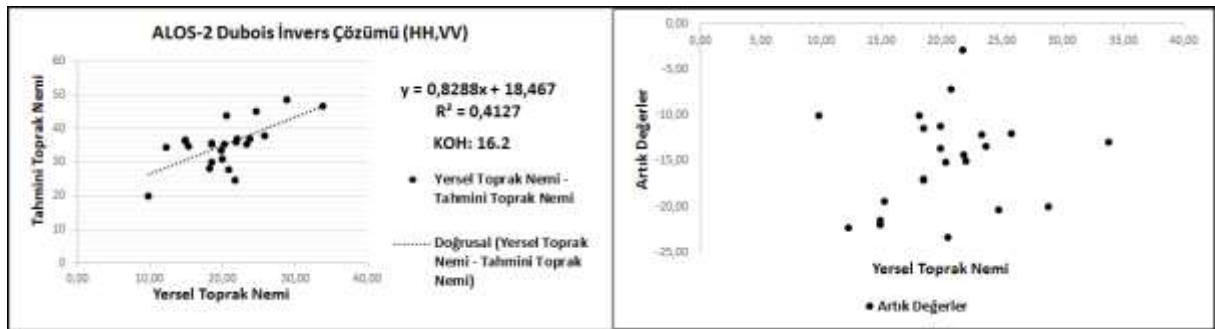
$$\varepsilon_r = \frac{1}{0.046 \tan \theta} \log_{10} \left( \frac{10^{2.35} (\sin \theta)^3 \sigma_{VV}^0}{(\cos \theta)^3 \lambda^{0.7} (kh_{rms} \sin \theta)^{1.1}} \right) \quad (6.2)$$

$$\varepsilon_r = \frac{1}{0.024 \tan \theta} \log_{10} \left( \frac{10^{0.19} \lambda^{0.15} \sigma_{HH}^0}{(\cos \theta)^{1.82} (\sin \theta)^{0.93} \sigma_{VV}^0} \right) \quad (6.3)$$

$$Mv = -5.3 \times 10^{-2} + 2.92 \times 10^{-2} \varepsilon - 5.5 \times 10^{-4} \varepsilon^2 + 4.3 \times 10^{-6} \varepsilon^3 \quad (6.4)$$

### • 22 Nisan Tarihli ALOS-2 Veri Seti için Dubois İvers Çözümü

ALOS-2 veri seti, tam polarimetrik bir veri seti olduğu için Dubois ters çözümü HH, VV ve multi polarize HH-VV polarizasyonlarının tamamına uygulanmıştır. Ancak bu ters çözümlerin tek polarize (HH, VV) sonuçlarında dielektrik katsayıları negatif çıktığı için (6.3) nolu eşitlikte gösterildiği üzere multi-polarize çözüm kullanılmıştır. Şekil 6.29'da görüldüğü üzere, Dubois ters çözümü ve yersel tekniklerle elde edilen toprak nemi değerleri karşılaştırılmış ve korelasyon katsayısı %41, Karesel Ortalama Hata (KOH) değeri 16.2 olarak belirlenmiştir. Artık değerlerin (residuals) dağılımına bakıldığında, sıfırın etrafında toplanmadığı ve çok farklı değerlerde olduğu görülmektedir. Korelasyon katsayısı yüksek olmasına karşın KOH değerinin yüksek olması ölçülerin kendi içinde duyarlı olmadığını göstermektedir.

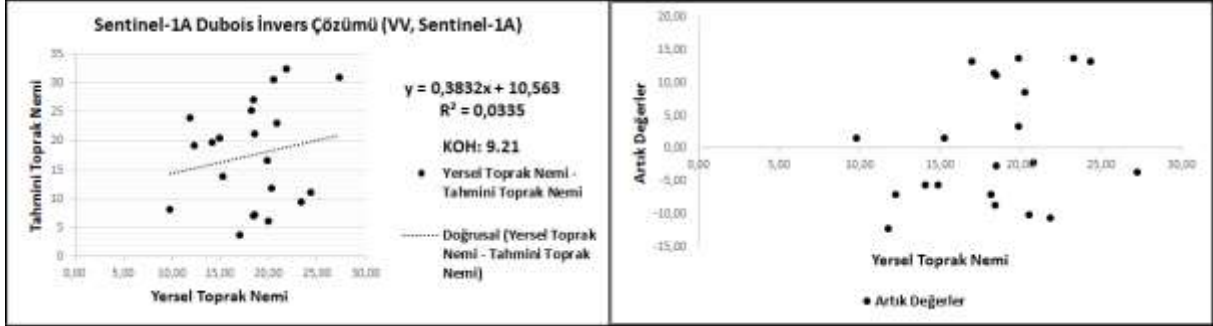


Şekil 6.29 ALOS-2 veri seti için Dubois ters çözümü sonucu.

### • 18 Nisan Tarihli Sentinel-1A Veri Seti için Dubois İvers Çözümü

Sentinel-1A veri seti VV ve VH olmak üzere iki farklı polarizasyonda görüntü sunmaktadır. Bu nedenle, Dubois ters çözümünde sadece VV polarizasyonundaki veri seti için çözüm gerçekleştirilmiştir. Şekil 6.30'da, 18 Nisan tarihli Sentinel-1A VV polarizasyonu

görüntüsünün Dubois ters çözümüne tabi tutularak yersel toprak nemi değerleri ile olan regresyon analizi gösterilmiştir. Ölçüler arasındaki korelasyon katsayısı %3 olmasına karşın KOH değeri 9.21 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.30 Sentinel-1A (18 Nisan) veri seti için Dubois ters çözümü sonucu.

- **24 Nisan Tarihli Sentinel-1A Veri Seti için Dubois İvers Çözümü**

Şekil 6.31’de, 24 Nisan tarihli Sentinel-1A VV polarizasyonu görüntüsünün Dubois ters çözümüne tabi tutularak yersel toprak nemi değerleri ile olan karşılaştırması gösterilmiştir. Soldaki grafikten görülebileceği üzere, ölçüler arasındaki korelasyon katsayısı %14 olmasına karşın KOH değeri 7.9 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 6.31 Sentinel-1A (24 Nisan) veri seti için Dubois ters çözümü sonucu.

Sentinel-1A verilerinden elde edilen sonuçların, ALOS-2’ye nazaran korelasyon katsayılarının düşük olduğu ancak KOH değerlerinin daha iyi olduğu gözlemlenmektedir. Bu durumun sebebini anlayabilmek için çizdirilen artık değer grafiklerinden bu durumun doğruluk ve duyarlılık kavramları ile bağdaştığı görülmüştür. Sentinel-1A verilerinde ölçülerin duyarlılığının ALOS-2 verilerine nazaran daha yüksek olduğu görülmüştür.

### 6.2.2 Oh İnvrs Çözümü

Oh modelinin ters çözümünde, eş polarize oran (p) ve HV polarizasyonundaki geri saçılım değerlerinden toprak nemi elde edilebilmektedir. Bu iki eşitliğin ters çözümü (6.5) ve (6.6) nolu eşitliklerde sunulmuştur. Bu dönüşümde polarizasyonlar dikkate alındığında elimizdeki veri setlerinden ALOS-2'nin uygun olduğu görülmektedir. Dönüşümler ALOS-2 verisine uygulandığında ortaya çıkan sonuçların yersel toprak nemi değerlerinden çok uzak olduğu gözlemlendiği için Oh modelinin ters çözümünün çalışma alanımız ve verilerimizle uyumlu olmadığı görülmüştür.

$$M_v = \sqrt[0.65]{\left( \frac{0.35}{\log\left(\frac{\theta}{90}\right) \left[ \frac{1-\sqrt{p}}{\exp[-0.4(kh_{rms})^{1.4}]} \right]} \right)} \quad (6.5)$$

$$M_v = \sqrt[0.7]{\frac{\sigma_{HV}^0}{0.11 \cos^{2.2} \theta (1 - e^{-0.32(kh_{rms})^{1.8}})}} \quad (6.6)$$

### 6.3 DENEYSEL MODEL GELİŞTİRME ÇALIŞMALARI

Deneysel model geliştirme aşamasında, toprak nemi elde etmede SAR sensörünün duyarlılığını etkileyen temel faktörler esas alınmıştır. Deneysel bir model geliştirebilmek amacıyla çok değişkenli doğrusal regresyon analizi kullanılarak aşamalı (stepwise) yöntem esas alınmıştır. Aşamalı yöntemle, değişkenler matematiksel modelde teker teker girdi olarak kullanılırlar ve her birinin model doğruluğuna yaptıkları katkı esas alınır. Bu analizde; toprak nemi ( $M_v$ ) bağımlı değişken olarak ele alınırken pürüzlülük ( $h_{rms}$ ), lokal geliş açısı ( $\theta$ ), dielektrik katsayısı ( $\epsilon$ ) ve geri saçılım  $\sigma_{TR}^0$  (TR:Transmitted-Received) değerleri bağımsız değişkenler olarak kabul edilmiştir (6.7). Bir başka deyişle, toprak nemi; geri saçılım, lokal geliş açısı, pürüzlülük ve dielektrik katsayısının bir fonksiyonudur.

$$M_v = f(\sigma_{TR}^0, \theta, h_{rms}, \epsilon) \quad (6.7)$$

Deneyisel model geliştirme çalışmalarında, çok değişkenli doğrusal regresyon analizlerini gerçekleştirmek için SPSS yazılımından faydalanılmıştır. Yazılımdan elde edilen standart sapma ifadesinde, denklemde kaç parametre varsa bilinmeyen olarak ele alınır ve bu şekilde hesaplama işlemi gerçekleştirilir.

- **22 Nisan 2016 Tarihli ALOS-2 Verisi için Model Geliştirme**

Model geliştirme aşamasında bağımsız değişkenler teker teker eklenerek model uyumluluğu üzerine araştırmalar gerçekleştirilmiştir. İlk olarak ALOS-2 veri setinde toprak nemi ile en yüksek korelasyona sahip olan HH polarizasyonundaki geri saçılım ele alınmıştır. Modelin ilk adımında,  $M_v$  bağımlı değişken  $\sigma_{HH}^0$  bağımsız değişken olarak ele alınmıştır. Çizelge 6.7'den görülebileceği üzere iki değişken arasında oluşturulan modelin  $R^2$  değeri 0.704 standart sapmasının ise 2.92 olduğu görülmektedir.

**Çizelge 6.7** ALOS-2 için model özeti (bağımsız değişkenler:  $\sigma_{HH}^0$ ).

| Model   | R     | $R^2$ | Düzenlenmiş $R^2$ | Standart Sapma |
|---|-------|-------|-------------------|----------------|
| 1   | 0.839 | 0.704 | 0.690             | 2.92102        |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$                    |       |       |                   |                |
| b. Tahmin Unsurları: (Sabit), $\sigma_{HH}^0$ |       |       |                   |                |

Çizelge 6.8'de, SAR sensörüne dönen sinyale etki eden parametrelerden biri olan lokal geliş açısı modele eklenmiştir. Modelde,  $M_v$  bağımlı değişken iken,  $\theta$  ve  $\sigma_{HH}^0$  bağımsız değişkenler olarak ele alınmıştır ve oluşturulan modelin  $R^2$  değeri 0.727'ye yükselirken, standart sapma değeri 2.88'e düşmüştür.

**Çizelge 6.8** ALOS-2 için model özeti (bağımsız değişkenler:  $\theta$ ,  $\sigma_{HH}^0$ ).

| Model  | R     | $R^2$ | Düzenlenmiş $R^2$ | Standart Sapma |
|--|-------|-------|-------------------|----------------|
| 1  | 0.852 | 0.727 | 0.699             | 2.87551        |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$                               |       |       |                   |                |
| b. Tahmin Unsurları: (Sabit), $\theta$ , $\sigma_{HH}^0$ |       |       |                   |                |

Çizelge 6.9'da, uydu sensörüne dönen sinyale etki eden bir diğer parametre olan pürüzlülük parametresi modele girdi olarak eklenmiştir. Modelde  $h_{rms}$ ,  $\theta$  ve  $\sigma_{HH}^0$  bağımsız değişkenler olarak düşünüldüğünde modelin  $R^2$  değerinin 0.816'ya yükseldiği, standart sapma değerinin ise 2.42'ye düştüğü gözlemlenmiştir. Yapılan literatür taramasında geri saçılım ile pürüzlülük arasında logaritmik bir ilişki olduğu için pürüzlülük değerinin  $\ln(h_{rms})$  şeklinde ele alınarak

model sonuçları irdelenmiştir (Çizelge 6.10). Pürüzlülük değeri  $\ln(h_{rms})$  olarak kabul edildiğinde model  $R^2$  değerinin 0.823'e yükseldiği standart sapma değerinin ise 2.37'ye düştüğü görülmüştür. Modelin son parametresi olarak dielektrik katsayısı model parametrelerine eklenecektir. Ancak dielektrik katsayısına sahip olunmadığı durumlarda Çizelge 6.10'da gösterilen parametreler dikkate alınarak toprak nemi değerleri hesaplanabilecektir. Çizelge 6.11'de mevcut parametrelerle oluşturulan modelin katsayıları ve ALOS-2 verisi için elde edilen denklem (6.8) nolu eşitlikte sunulmuştur.

**Çizelge 6.9** ALOS-2 için model özeti (bağımsız değişkenler:  $h_{rms}$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_{HH}^0$ ).

| Model  | R     | $R^2$ | Düzenlenmiş $R^2$ | Standart Sapma |
|--|-------|-------|-------------------|----------------|
| 1  | 0.903 | 0.816 | 0.786             | 2.42391        |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$   |       |       |                   |                |
| b. Tahmin Unsurları: (Sabit), $h_{rms}$ , $\theta$ , $\sigma_{HH}^0$ . |       |       |                   |                |

**Çizelge 6.10** ALOS-2 için model özeti (bağımsız değişkenler:  $\ln(h_{rms})$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_{HH}^0$ ).

| Model   | R     | $R^2$ | Düzenlenmiş $R^2$ | Standart Sapma |
|---|-------|-------|-------------------|----------------|
| 1   | 0.907 | 0.823 | 0.795             | 2.37424        |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$  |       |       |                   |                |
| b. Tahmin Unsurları: (Sabit), $\ln(h_{rms})$ , $\theta$ , $\sigma_{HH}^0$ |       |       |                   |                |

**Çizelge 6.11** ALOS-2 için dielektrik katsayısı yokken model katsayıları.

| Model                      |                 | Model Katsayıları |                |
|----------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
|                            |                 | B                 | Standart Sapma |
| 1                          | (Sabit)         | 81.170            | 24.213         |
|                            | $\sigma_{HH}^0$ | 2.162             | 0.261          |
|                            | $\theta$        | -0.681            | 0.640          |
|                            | $\ln(h_{rms})$  | 5.254             | 1.634          |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$ |                 |                   |                |

$$M_v = 81.170 + 2.162 \times \sigma_{HH}^0 - 0.681 \times \theta + 5.257 \times \ln(h_{rms}) \quad (6.8)$$

Modelin son adımında diğer bağımsız değişkenlere dielektrik katsayısı ( $\epsilon$ ) eklenmiştir (Çizelge 6.12). Model, 17 nokta baz alınarak üretilmiş ve sonrasında 6 nokta kullanılarak doğruluk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Dielektrik katsayısı toprak nemi ile çok yüksek bir ilişki gösterdiği için modelin  $R^2$  değerinin 0.991'e yükseldiği standart sapma değerinin ise 0.50'ye düştüğü görülmüştür. Çizelge 6.13'te model katsayıları ve (6.9) nolu eşitlikte model denklemi sunulmuştur.

**Çizelge 6.12** ALOS-2 için model özeti (bağımsız değişkenler:  $\ln(h_{rms})$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_{HH}^0$ ,  $\epsilon$ ).

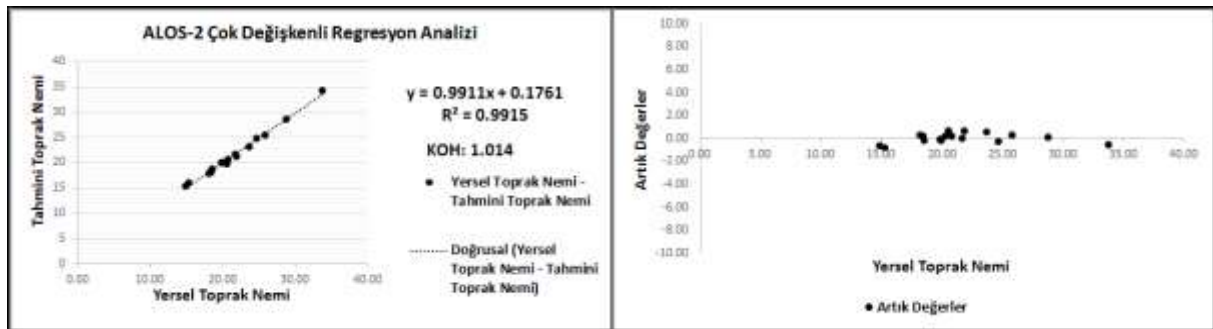
| Model  | R     | R <sup>2</sup> | Düzenlenmiş R <sup>2</sup> | Standart Sapma |
|--|-------|----------------|----------------------------|----------------|
| 1  | 0.996 | 0.991          | 0.989                      | 0.50494        |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$   |       |                |                            |                |
| b. Tahmin Unsurları: (Sabit), $\ln(h_{rms})$ , $\theta$ , $\sigma_{HH}^0$ , $\epsilon$ |       |                |                            |                |

**Çizelge 6.13** ALOS-2 için dielektrik katsayısı ile oluşturulan model katsayıları.

| Model                      |                 | Model Katsayıları |                |
|----------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
|                            |                 | B                 | Standart Sapma |
| 1                          | (Sabit)         | 12.252            | 6.348          |
|                            | $\sigma_{HH}^0$ | -0.076            | 0.127          |
|                            | $\theta$        | -0.241            | 0.144          |
|                            | $\ln(h_{rms})$  | 0.725             | 0.468          |
|                            | $\epsilon$      | 1.691             | 0.093          |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$ |                 |                   |                |

$$M_v = 12.252 - 0.076 \times \sigma_{HH}^0 - 0.241 \times \theta + 0.725 \times \ln(h_{rms}) + 1.691 \times \epsilon \quad (6.9)$$

(6.9) nolu eşitlik, ALOS-2 veri setinin HH polarizasyonundaki geri saçılım değerleri için elde edilmiştir. (6.9) nolu eşitlikte yer alan parametreler kullanılarak tahmin edilen toprak nemi değerleri ile gravimetrik yöntemlerle hesaplanan toprak nemi değerleri regresyon analizine tabi tutulmuştur (Şekil 6.32). Modelden yersel ölçümlerin elde edilmesinde korelasyon katsayısı 0.99, KOH değeri ise 1.014 olarak belirlenmiştir. Ayrıca artık değerler grafiğinde görüldüğü üzere iki veri seti farkı alındığında noktalar sıfır değerinin üzerinde kümelenmektedirler. Bu durum, model ile hesaplanan toprak nemi değerlerinin gravimetrik değerlere ne derece yakın olduğunu göstermektedir. Modelin doğruluk analizinde, 6 noktadan gerçekleştirilen değerlendirme sonucunda KOH: 1.637 olarak belirlenmiştir.



**Şekil 6.32** ALOS-2 için (6.9) nolu eşitlikle oluşturulan model sonuçları ile yersel ölçümlerin regresyon analizi.



- **18 Nisan 2016 Tarihli Sentinel-1A Verisi için Model Geliştirme**

18 Nisan ve 24 Nisan 2017 tarihlerinde alımı gerçekleştirilen iki adet Sentinel-1A veri seti için de yukarıdaki model adımları uygulanmış ve dielektrik katsayısının bilindiği ve bilinmediği durumlar için modeller geliştirilmiştir. Sentinel-1A uydusu için önceki bölümlerdeki grafikler dikkate alındığında VV polarizasyonundaki geri saçılım değerlerinin toprak nemine daha duyarlı olduğu görülmektedir. Çizelge 6.13 ve Çizelge 6.14'te sırasıyla 18 Nisan tarihli Sentinel-1A verisi için dielektrik katsayısının bilinmediği durumlardaki model değerlendirmesi ve katsayıları sunulmuştur. Model denklemi (6.10) nolu eşitlikte belirtilmiştir. Dielektrik katsayısının bilinmediği durumlarda geçerli olan modelin korelasyon katsayısı 0.69, standart sapma değeri ise 2.6 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 6.13** 18 Nisan Sentinel-1A verisi için model özeti (bağımsız değişkenler:  $h_{rms}$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_{VV}^0$ ).

| Model  | R     | R <sup>2</sup> | Düzenlenmiş R <sup>2</sup> | Standart Sapma |
|--|-------|----------------|----------------------------|----------------|
| 1  | 0.828 | 0.686          | 0.631                      | 2.59675        |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$   |       |                |                            |                |
| b. Tahmin Unsurları: : (Sabit), $h_{rms}$ , $\theta$ , $\sigma_{VV}^0$ |       |                |                            |                |

**Çizelge 6.14** 18 Nisan Sentinel-1A verisi için dielektrik katsayısı yokken model katsayıları.

| Model                      |                 | Model Katsayıları |                |
|----------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
|                            |                 | B                 | Standart Sapma |
| 1                          | (Sabit)         | 96.764            | 35.513         |
|                            | $\sigma_{VV}^0$ | 2.266             | 0.531          |
|                            | $\theta$        | -1.526            | 1.039          |
|                            | $h_{rms}$       | 2.465             | 1.435          |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$ |                 |                   |                |

$$M_v = 96.764 + 2.266 \times \sigma_{VV}^0 - 1.526 \times \theta + 2.465 \times h_{rms} \quad (6.10)$$

Çizelge 6.15 ve 6.16'da sırasıyla yukarıda belirtilen modele, dielektrik katsayısı eklendikten sonraki model değerlendirmesi ve parametre katsayıları sunulmuştur. Model 16 nokta kullanılarak üretilmiş sonrasında 5 noktadan doğruluk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Modelin toprak neminin belirlenmesinde R<sup>2</sup> değeri 0.99, standart sapma değeri ise 0.39'dur. Model denklemi (6.11) nolu eşitlikte sunulmuştur.

**Çizelge 6.15** 18 Nisan Sentinel-1A verisi için model özeti (bağımsız değişkenler:  $h_{rms}$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_{VV}^0$ ,  $\epsilon$ ).

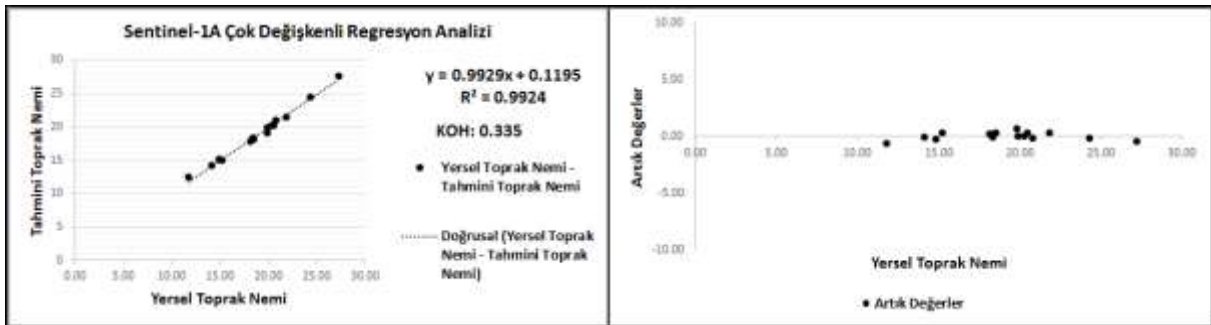
| Model   | R     | R <sup>2</sup> | Düzenlenmiş R <sup>2</sup> | Standart Sapma |
|---|-------|----------------|----------------------------|----------------|
| 1   | 0.996 | 0.992          | 0.990                      | 0.39173        |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$  |       |                |                            |                |
| b. Tahmin Unsurları: (Sabit), $h_{rms}$ , $\theta$ , $\sigma_{VV}^0$ , $\epsilon$ |       |                |                            |                |

**Çizelge 6.16** 18 Nisan Sentinel-1A verisi için dielektrik katsayısı ile oluşturulan model katsayıları.

| Model                      |                 | Model Katsayıları |                |
|----------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
|                            |                 | B                 | Standart Sapma |
| 1                          | (Sabit)         | -13.217           | 8.541          |
|                            | $\sigma_{VV}^0$ | 0.094             | 0.146          |
|                            | $\theta$        | 0.445             | 0.212          |
|                            | $h_{rms}$       | 0.429             | 0.259          |
|                            | $\epsilon$      | 1.990             | 0.078          |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$ |                 |                   |                |

$$M_v = -13.217 + 0.094 \times \sigma_{VV}^0 + 0.445 \times \theta + 0.429 \times h_{rms} + 1.990 \times \epsilon \quad (6.11)$$

(6.11) nolu eşitlikte yer alan parametreler kullanılarak tahmin edilen toprak nemi değerleri ile gravimetrik yöntemlerle hesaplanan toprak nemi değerleri regresyon analizine tabi tutulmuştur (Şekil 6.33). Modelde, yersel ölçümlerin elde edilmesinde korelasyon katsayısı 0.99, KOH değeri ise 0.335 olarak belirlenmiştir. Ayrıca artık değerler grafiğinde görüldüğü üzere iki veri seti sonuçlarının farkı alındığında noktaların sıfır değerinin çok yakın oldukları görülmektedir. Modelin doğruluk analizinde, 5 noktadan gerçekleştirilen değerlendirme sonucunda KOH değeri 0.924 olarak belirlenmiştir.



**Şekil 6.33** 18 Nisan Sentinel-1A için (16) nolu eşitlikle oluşturulan model sonuçları ile yersel ölçümlerin regresyon analizi.

- **24 Nisan 2016 Tarihli Sentinel-1A Verisi için Model Geliştirme**

Çizelge 6.17 ve Çizelge 6.18’de sırasıyla 24 Nisan tarihli Sentinel-1A verisi için dielektrik katsayısının bilinmediği durumlardaki model değerlendirme ve katsayıları sunulmuştur. Model denklemi (6.12) nolu eşitlikte belirtilmiştir. Dielektrik katsayısının bilinmediği durumlarda geçerli olan modelin korelasyon katsayısı 0.78, standart sapma değeri ise 1.85 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 6.17** 24 Nisan Sentinel-1A verisi için model özeti (bağımsız değişkenler:  $h_{rms}$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_{VV}^0$ ).

| Model  | R     | R <sup>2</sup> | Düzenlenmiş R <sup>2</sup> | Standart Sapma |
|--|-------|----------------|----------------------------|----------------|
| 1  | 0.881 | 0.776          | 0.734                      | 1.84916        |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$   |       |                |                            |                |
| b. Tahmin Unsurları: : (Sabit), $h_{rms}$ , $\theta$ , $\sigma_{VV}^0$ |       |                |                            |                |

**Çizelge 6.18** 24 Nisan Sentinel-1A verisi için dielektrik katsayısı yokken model katsayıları.

| Model                      |                 | Model Katsayıları |                |
|----------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
|                            |                 | B                 | Standart Sapma |
| 1                          | (Sabit)         | 17.743            | 33.372         |
|                            | $\sigma_{VV}^0$ | 1.795             | 0.297          |
|                            | $\theta$        | 0.518             | 0.808          |
|                            | $h_{rms}$       | 1.737             | 1.082          |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$ |                 |                   |                |

$$M_v = 17.743 + 1.795 \times \sigma_{VV}^0 + 0.518 \times \theta + 1.737 \times h_{rms} \quad (6.12)$$

Çizelge 6.19 ve 6.20’de sırasıyla yukarıda belirtilen modele dielektrik katsayısı eklendikten sonraki model değerlendirme ve parametre katsayıları sunulmuştur. Model 16 nokta kullanılarak üretilmiş sonrasında 5 noktadan doğruluk değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Modelin toprak neminin belirlenmesinde R<sup>2</sup> değeri 0.99, standart sapma değeri ise 0.28’dir. Ayrıca, model denklemi (6.13) nolu eşitlikte sunulmuştur.

**Çizelge 6.19** 24 Nisan Sentinel-1A verisi için model özeti (bağımsız değişkenler:  $h_{rms}$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_{VV}^0$ ,  $\epsilon$ ).

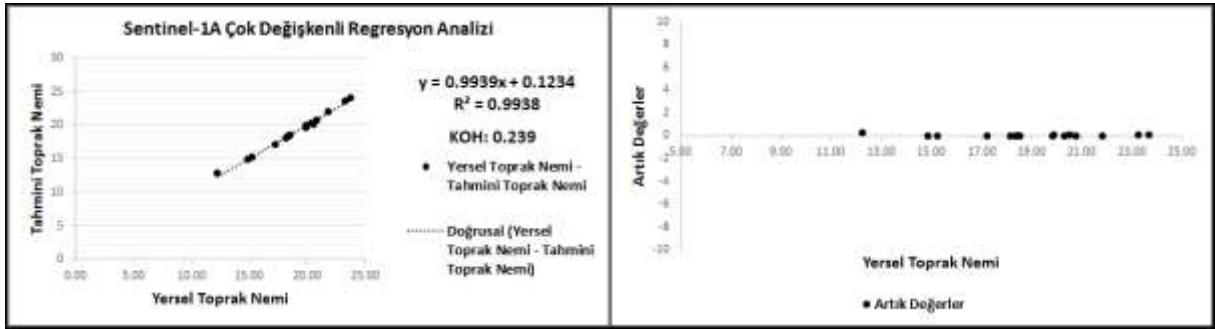
| Model   | R     | R <sup>2</sup> | Düzenlenmiş R <sup>2</sup> | Standart Sapma |
|---|-------|----------------|----------------------------|----------------|
| 1   | 0.997 | 0.994          | 0.992                      | 0.27858        |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$  |       |                |                            |                |
| b. Tahmin Unsurları: (Sabit), $h_{rms}$ , $\theta$ , $\sigma_{VV}^0$ , $\epsilon$ |       |                |                            |                |

**Çizelge 6.20** 24 Nisan Sentinel-1A verisi için dielektrik katsayısı ile oluşturulan model katsayıları.

| Model                      |                 | Model Katsayıları |                |
|----------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
|                            |                 | B                 | Standart Sapma |
| 1                          | (Sabit)         | 0.914             | 7.256          |
|                            | $\sigma_{VV}^0$ | 0.149             | 0.091          |
|                            | $\theta$        | 0.085             | 0.167          |
|                            | $h_{rms}$       | 0.123             | 0.205          |
|                            | $\varepsilon$   | 1.982             | 0.084          |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$ |                 |                   |                |

$$M_v = 0.917 + 0.149 \times \sigma_{VV}^0 + 0.085 \times \theta + 0.123 \times h_{rms} + 1.982 \times \varepsilon \quad (6.13)$$

(6.13) nolu eşitlikte yer alan parametreler kullanılarak tahmin edilen toprak nemi değerleri ile gravimetrik yöntemlerle hesaplanan toprak nemi değerleri regresyon analizine tabi tutulmuştur (Şekil 6.34). Modelde, yersel ölçümlerin elde edilmesinde korelasyon katsayısı 0.99, KOH değeri ise 0.239 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Şekil 6.34'teki artık değerler grafiğinde görüldüğü üzere iki veri seti sonuçlarının farkı alındığında noktaların sıfır değerinin çok yakın oldukları görülmektedir. Modelin doğruluk analizinde, 5 noktadan gerçekleştirilen değerlendirme sonucunda KOH değeri 0.732 olarak belirlenmiştir.



**Şekil 6.34** 24 Nisan Sentinel-1A için (16) nolu eşitlikle oluşturulan model sonuçları ile yersel ölçümlerin regresyon analizi.

Yukarıda verilen Nisan ayı veri setlerine ait model geliştirme çalışmaları, ikinci veri setinde ele alınan 12 Haziran tarihli ALOS-2 ve 11 Haziran tarihli Sentinel-1A verilerine de uygulanmıştır. Her iki veri seti için de, Nisan verilerinde olduğu gibi dielektrik katsayısına sahip olduğumuz ve olmadığımız koşullar dikkate alınarak ikişer adet model sunulmuştur.

- 12 Haziran 2016 Tarihli ALOS-2 Verisi için Model Geliştirme

Çizelge 6.21 ve Çizelge 6.22’de 12 Haziran tarihli ALOS-2 verisi için sırasıyla dielektrik katsayısının bilinmediği durumlardaki model değerlendirme ve katsayıları sunulmuştur. Model denklemi (6.14) nolu eşitlikte belirtilmiştir. Dielektrik katsayısının bilinmediği durumlarda geçerli olan modelin korelasyon katsayısı 0.69, standart sapma değeri ise 4.9 olarak belirlenmiştir.

**Çizelge 6.21** 12 Haziran ALOS-2 verisi için model özeti (bağımsız değişkenler:  $h_{rms}$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_{HV}^0$ )

| Model  | R     | R <sup>2</sup> | Düzenlenmiş R <sup>2</sup> | Standart Sapma |
|--|-------|----------------|----------------------------|----------------|
| 1  | 0.829 | 0.688          | 0.645                      | 4.89985        |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$   |       |                |                            |                |
| b. Tahmin Unsurları: (Sabit), $h_{rms}$ , $\theta$ , $\sigma_{HV}^0$ |       |                |                            |                |

**Çizelge 6.22** 12 Haziran ALOS-2 verisi için dielektrik katsayısı yokken model katsayıları.

| Model                      |                 | Model Katsayıları |                |
|----------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
|                            |                 | B                 | Standart Sapma |
| 1                          | (Sabit)         | 94.148            | 32.756         |
|                            | $\sigma_{HV}^0$ | 3.784             | 0.618          |
|                            | $\theta$        | -0.332            | 1.097          |
|                            | $h_{rms}$       | 1.421             | 2.658          |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$ |                 |                   |                |

$$M_v = 94.148 + 3.784 \times \sigma_{HV}^0 - 0.332 \times \theta + 1.421 \times h_{rms} \quad (6.14)$$

Çizelge 6.23 ve Çizelge 6.24’te sırasıyla yukarıda belirtilen modele dielektrik katsayısı eklendikten sonraki model değerlendirme ve parametre katsayıları sunulmuştur. Model 20 nokta kullanılarak üretilmiş sonrasında 6 noktadan doğruluk değerlendirme gerçekleştirilmiştir. Modelin toprak neminin belirlenmesinde R<sup>2</sup> değeri 0.98, standart sapma değeri ise 1.28’dir. Ayrıca, model denklemi (6.15) nolu eşitlikte sunulmuştur.

**Çizelge 6.23** 12 Haziran ALOS-2 verisi için model özeti (bağımsız değişkenler:  $h_{rms}$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_{HV}^0$ ,  $\epsilon$ ).

| Model   | R     | R <sup>2</sup> | Düzenlenmiş R <sup>2</sup> | Standart Sapma |
|---|-------|----------------|----------------------------|----------------|
| 1   | 0.992 | 0.984          | 0.980                      | 1.28181        |
| c. Bağımlı Değişken: $M_v$  |       |                |                            |                |
| d. Tahmin Unsurları: (Sabit), $h_{rms}$ , $\theta$ , $\sigma_{HV}^0$ , $\epsilon$ |       |                |                            |                |

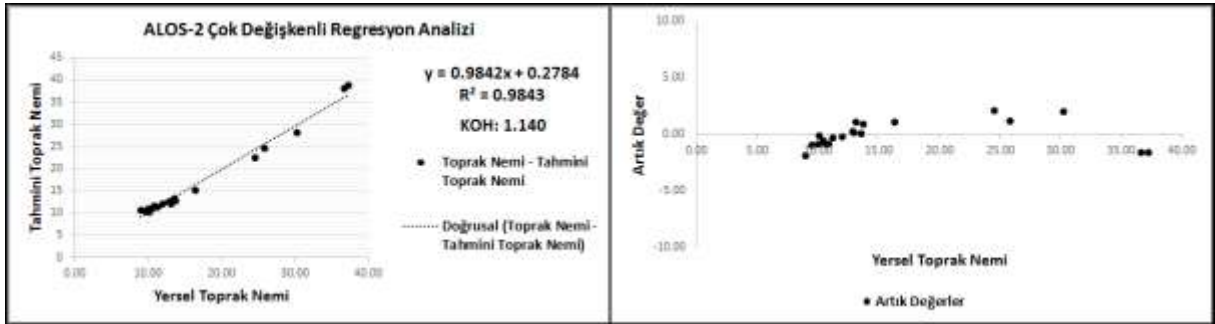
**Çizelge 6.24** 12 Haziran ALOS-2 verisi için dielektrik katsayısı ile oluşturulan model katsayıları.

| Model |                 | Model Katsayıları |                |
|-------|-----------------|-------------------|----------------|
|       |                 | B                 | Standart Sapma |
| 1     | (Sabit)         | 10.387            | 11.087         |
|       | $\sigma_{HV}^0$ | 0.203             | 0.288          |
|       | $\theta$        | -0.057            | 0.329          |
|       | $h_{rms}$       | -1.153            | 0.918          |
|       | $\varepsilon$   | 1.683             | 0.105          |

a. Bağımlı Değişken:  $M_v$

$$M_v = 10.387 + 0.203 \times \sigma_{HV}^0 - 0.057 \times \theta - 1.153 \times h_{rms} + 1.683 \times \varepsilon \quad (6.15)$$

(6.15) nolu eşitlikte yer alan parametreler kullanılarak tahmin edilen toprak nemi değerleri ile gravimetrik yöntemlerle hesaplanan toprak nemi değerleri regresyon analizine tabi tutulmuştur (Şekil 6.35). Modelde, yersel ölçümlerin elde edilmesinde korelasyon katsayısı 0.99, KOH değeri ise 1.14 olarak belirlenmiştir. Ayrıca artık değerler grafiğinde görüldüğü üzere iki veri seti sonuçlarının farkı alındığında noktaların sıfır değerinin çok yakın oldukları görülmektedir. Modelin doğruluk analizinde, 6 noktadan gerçekleştirilen değerlendirme sonucunda KOH değeri 1.753 olarak belirlenmiştir.



**Şekil 6.35** 12 Haziran ALOS-2 için (20) nolu eşitlikle oluşturulan model sonuçları ile yersel ölçümlerin regresyon analizi.

- **11 Haziran 2016 Tarihli Sentinel-1A Verisi için Model Geliştirme**

Çizelge 6.25 ve Çizelge 6.26’da, 11 Haziran tarihli Sentinel-1A verisi için sırasıyla dielektrik katsayısının bilinmediği durumlardaki model değerlendirmesi ve katsayıları sunulmuştur. Model denklemi (6.16) nolu eşitlikte belirtilmiştir. Dielektrik katsayısının bilinmediği durumlarda geçerli olan modelin korelasyon katsayısı 0.58, standart sapma değeri ise 5.11

olarak belirlenmiştir. Modelde diğer modellerden farklı olarak iki adet polarizasyon (VV, VH) kullanılmıştır.

**Çizelge 6.25** 11 Haziran Sentinel-1A verisi için model özeti (bağımsız değişkenler:  $h_{rms}$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_{VV}^0$ ,  $\sigma_{VH}^0$ ).

| Model  | R     | R <sup>2</sup> | Düzenlenmiş R <sup>2</sup> | Standart Sapma |
|--|-------|----------------|----------------------------|----------------|
| 1  | 0.761 | 0.579          | 0.494                      | 5.11037        |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$   |       |                |                            |                |
| b. Tahmin Unsurları: (Sabit), $h_{rms}$ , $\theta$ , $\sigma_{VV}^0$ , $\sigma_{VH}^0$ |       |                |                            |                |

**Çizelge 6.26** 11 Haziran Sentinel-1A verisi için dielektrik katsayısı yokken model katsayıları.

| Model                      |                 | Model Katsayıları |                |
|----------------------------|-----------------|-------------------|----------------|
|                            |                 | B                 | Standart Sapma |
| 1                          | (Sabit)         | 100.990           | 53.607         |
|                            | $\sigma_{VV}^0$ | 3.054             | 1.018          |
|                            | $\theta$        | -0.824            | 1.261          |
|                            | $h_{rms}$       | -0.531            | 3.649          |
|                            | $\sigma_{VH}^0$ | 0.812             | 0.783          |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$ |                 |                   |                |

$$M_v = 100.990 + 3.054 \times \sigma_{VV}^0 - 0.824 \times \theta - 0.531 \times h_{rms} + 0.812 \times \sigma_{VH}^0 \quad (6.16)$$

Çizelge 6.27 ve 6.28’de sırasıyla yukarıda belirtilen modele dielektrik katsayısı eklendikten sonraki model değerlendirmesi ve parametre katsayıları sunulmuştur. Model 20 nokta kullanılarak üretilmiş sonrasında 5 noktadan doğruluk değerlendirmesi gerçekleştirilmiştir. Modelin toprak neminin belirlenmesinde R<sup>2</sup> değeri 0.98, standart sapma değeri ise 1.24’tür. Ayrıca, model denklemini (6.17) nolu eşitlikte sunulmuştur.

**Çizelge 6.27** 11 Haziran Sentinel-1A verisi için model özeti (bağımsız değişkenler:  $h_{rms}$ ,  $\theta$ ,  $\sigma_{VV}^0$ ,  $\sigma_{VH}^0$ ,  $\epsilon$ ).

| Model   | R     | R <sup>2</sup> | Düzenlenmiş R <sup>2</sup> | Standart Sapma |
|---|-------|----------------|----------------------------|----------------|
| 1   | 0.990 | 0.981          | 0.974                      | 1.23704        |
| a. Bağımlı Değişken: $M_v$  |       |                |                            |                |
| b. Tahmin Unsurları: (Sabit), $h_{rms}$ , $\theta$ , $\sigma_{VV}^0$ , $\sigma_{VH}^0$ , $\epsilon$ |       |                |                            |                |

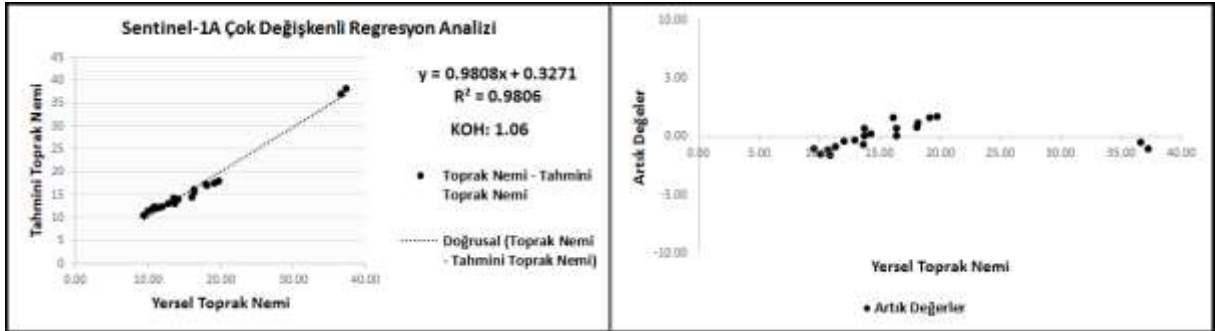
**Çizelge 6.28** 11 Haziran Sentinel-1A verisi için dielektrik katsayısı ile oluşturulan model katsayıları.

| Model |                 | Model Katsayıları |                |
|-------|-----------------|-------------------|----------------|
|       |                 | B                 | Standart Sapma |
| 1     | (Sabit)         | 13.647            | 20.165         |
|       | $\sigma_{VV}^0$ | 0.017             | 0.313          |
|       | $\theta$        | -0.031            | 0.443          |
|       | $h_{rms}$       | -1.197            | 0.998          |
|       | $\sigma_{VH}^0$ | 0.307             | 0.241          |
|       | $\epsilon$      | 1.576             | 0.094          |

a. Bağımlı Değişken:  $M_v$

$$M_v = 13.647 + 0.017 \times \sigma_{VV}^0 - 0.031 \times \theta - 1.197 \times h_{rms} + 0.307 \times \sigma_{VH}^0 + 1.576 \times \epsilon \quad (6.17)$$

(6.17) nolu eşitlikte yer alan parametreler kullanılarak tahmin edilen toprak nemi değerleri ile gravimetrik yöntemlerle hesaplanan toprak nemi değerleri regresyon analizine tabi tutulmuştur (Şekil 6.36). Modelde, yersel ölçümlerin elde edilmesinde korelasyon katsayısı 0.98, KOH değeri ise 1.06 olarak belirlenmiştir. Ayrıca Şekil 6.36'daki artık değerler grafiğinde görüldüğü üzere, iki veri seti sonuçlarının farkı alındığında noktaların sıfır değerine yakın oldukları görünmektedir. Modelin doğruluk analizinde, 6 noktadan gerçekleştirilen değerlendirme sonucunda KOH değeri 2.20 olarak belirlenmiştir.



**Şekil 6.36** 11 Haziran Sentinel-1A için (22) nolu eşitlikle oluşturulan model sonuçları ile yersel ölçümlerin regresyon analizi.

Son olarak, modellerin daha düzenli ve anlaşılır şekilde incelenebilmesi için Çizelge 6.29'da tüm modellere ait detaylar sunulmuştur. Bu çizelgeye göre Nisan ayı veri seti incelendiğinde, dielektrik katsayısının olduğu olmadığı durum için Sentinel-1'in daha iyi sonuçlar sunduğu belirlenmiştir. Bu durum, Sentinel-1'in 5 cm derinlikte alınan toprak nemi numunelerine daha duyarlı olduğunu göstermiştir. ALOS-2 ile farklı derinliklerde toprak nemi değerleri alınarak



analiz edilmesi ile daha doğru sonuçlara ulaşılabılır. Haziran ayı veri setinde ise ALOS-2 ve Sentinel-1 verilerinin benzer sonuçlar sunduğu gözlemlenmiştir.

**Çizelge 6.29** Tüm veri setleri için geliştirilen deneysel modeller.

| VERİ SETİ              |             | DENEYSEL MODEL |  | R <sup>2</sup> | σ (%) |
|------------------------|-------------|----------------|--|----------------|-------|
| NİSAN 2016 VERİ SETİ   | 18 Nisan    | ε yok          | $M_v = 96.764 + 2.266 \times \sigma_{VV}^0 - 1.526 \times \theta + 2.465 \times h_{rms}$   | 0.686          | 2.60  |
|                        | Sentinel-1A | ε var          | $M_v = -13.217 + 0.094 \times \sigma_{VV}^0 + 0.445 \times \theta + 0.429 \times h_{rms} + 1.990 \times \varepsilon$                             | 0.992          | 0.39  |
|                        | 22 Nisan    | ε yok          | $M_v = 81.170 + 2.162 \times \sigma_{HH}^0 - 0.681 \times \theta + 5.257 \times \ln(h_{rms})$  | 0.823          | 2.37  |
|                        | ALOS-2      | ε var          | $M_v = 12.252 - 0.076 \times \sigma_{HH}^0 - 0.241 \times \theta + 0.725 \times \ln(h_{rms}) + 1.691 \times \varepsilon$                         | 0.991          | 0.51  |
|                        | 24 Nisan    | ε yok          | $M_v = 17.743 + 1.795 \times \sigma_{VV}^0 + 0.518 \times \theta + 1.737 \times h_{rms}$   | 0.776          | 1.85  |
|                        | Sentinel-1A | ε var          | $M_v = 0.917 + 0.149 \times \sigma_{VV}^0 + 0.085 \times \theta + 0.123 \times h_{rms} + 1.982 \times \varepsilon$                               | 0.994          | 0.28  |
| HAZİRAN 2016 VERİ SETİ | 12 Haziran  | ε yok          | $M_v = 94.148 + 3.784 \times \sigma_{HH}^0 - 0.332 \times \theta + 1.421 \times h_{rms}$   | 0.688          | 4.90  |
|                        | ALOS-2      | ε var          | $M_v = 10.387 + 0.203 \times \sigma_{HH}^0 - 0.057 \times \theta - 1.153 \times h_{rms} + 1.683 \times \varepsilon$                              | 0.984          | 1.28  |
|                        | 11 Haziran  | ε yok          | $M_v = 100.990 + 3.054 \times \sigma_{VV}^0 - 0.824 \times \theta - 0.531 \times h_{rms} + 0.812 \times \sigma_{VH}^0$                           | 0.579          | 5.11  |
|                        | Sentinel-1A | ε var          | $M_v = 13.647 + 0.017 \times \sigma_{VV}^0 - 0.031 \times \theta - 1.197 \times h_{rms} + 0.307 \times \sigma_{VH}^0 + 1.576 \times \varepsilon$ | 0.981          | 1.24  |

## 6.4 WCM ANALİZLERİ

Doktora çalışması kapsamında, Haziran ayında alınan ikinci veri setinde bitki örtüsünden kaynaklı geri saçılımın elde edilerek elimine edilebilmesi için WCM kullanılmıştır. Prevot vd. (1993) tarafından önerilen (6.18) nolu eşitlikteki WCM, çalışmada ele alınacak modeldir. Model; A, B, C ve D olmak üzere dört adet deneysel katsayı içermektedir. A ve B bitki parametreleri iken C ve D toprak parametreleridir. A parametresi bitkinin albedosunu, B parametresi ise sönmülenme faktörünü ifade etmektedir. Bindlish ve Barros (2001) tarafından yapılan deneysel çalışma sonucu, tüm arazi sınıfları için A parametresinin 0.0012, B parametresinin ise 0.091 olarak kabul edilebileceği belirlenmiştir. D parametresi radar sinyalinin toprak nemine duyarlılığını, C parametresi ise kalibrasyon sabitini ifade etmektedir.

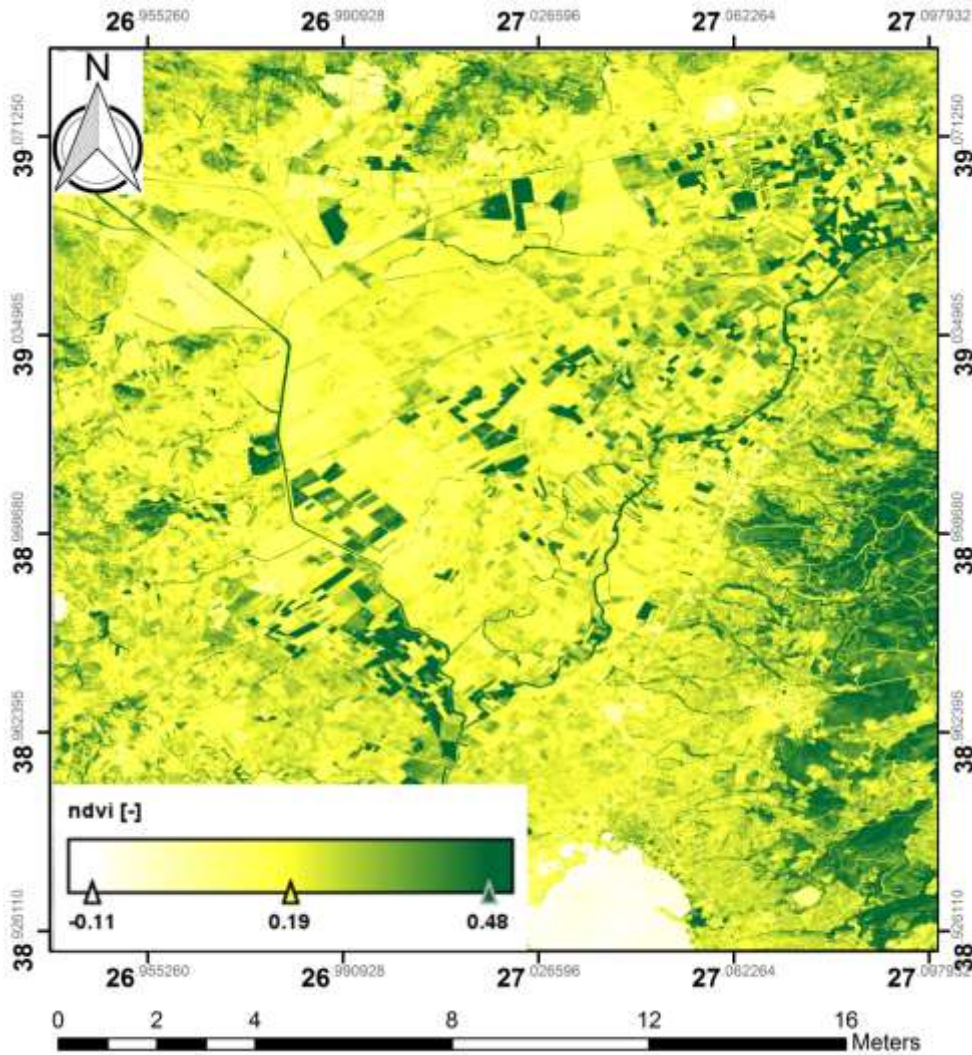
$$\sigma_{pp}^0 = \sigma_{veg}^0 + L^2 \sigma_{soil}^0 \quad (6.18)$$

$$\sigma_{veg}^0 = AV_1 \cos \theta (1 - L^2) \quad (6.19)$$

$$L^2 = \exp(-2BV_2 \sec \theta) \quad (6.20)$$

$$\sigma_{soil}^0 = C + DM_v \quad (6.21)$$

Yukarıdaki eşitliklerde,  $\theta$ ; lokal geliş açısı,  $V_1$  ve  $V_2$ ; bitki tanımlayıcı parametreler,  $M_v$ ; toprak nemini ifade etmektedir. C ve D parametreleri, doğrusal model kurularak elde edilmektedir.  $V_1$  ve  $V_2$  parametreleri, bitkinin su içeriği ile geometrisinin geri saçılma olan etkilerini tanımlamaktadır. Genellikle YAI ve Bitki Su İçeriği (BSİ) bu parametreler olarak ele alınmaktadır. Ancak bu verilerin yokluğunda NDVI, Normalize Fark Su İndeksi (NDWI: Normalized Difference Water Index) vb. indeksler de çalışmalarda ele alınmıştır. Çalışma kapsamında ele alınacak parametreler; YAI, BKA ve BSİ parametreleridir. YAI ve BSİ parametreleri daha önce yapılan çalışmalardaki deneysel modeller baz alınarak NDVI verisinden üretilmiştir (Jackson vd. 1999, Fan vd. 2009, Pontailier vd. 2003). NDVI görüntüsü, çalışma alanına ait 17 Haziran 2016 tarihinde alınan Sentinel-2A verisi kullanılarak 10m konumsal çözünürlükte üretilmiştir (Şekil 6.37). BKA parametresi ise, arazi çalışmasında çekilen görüntüler ile hesaplanmıştır.



Şekil 6.37 Çalışma alanına ait 17 Haziran 2016 tarihli Sentinel-2A NDVI görüntüsü.

Jackson vd. (1999) yaptıkları çalışmada, üç test alanı için NDVI değerinden BSİ belirlemek amacıyla deneysel çalışmalar gerçekleştirmiş ve üç test alanı için %2.1, %3.3 ve %2.7 standart sapmayla (6.22) nolu eşitliği kullanarak başarılı bir şekilde BSİ parametresini tahmin etmişlerdir. Bu çalışmada da, (6.22) nolu eşitlik kullanılarak her tarla için ortalama NDVI verisi çıkarılarak ortalama BSİ hesaplanmıştır.

$$BSİ = 1.9134 \times (NDVI)^2 - 0.3215 \times (NDVI) \quad (6.22)$$

Pontailles vd. (2003) yaptıkları çalışmada, deneysel çalışmalar sonucunda elde ettikleri sonuçları kullanarak (6.23) nolu eşitlik yardımıyla  $R^2=0.987$ 'lik korelasyon katsayısı ile NDVI değerinden YAI parametresinin belirlenebileceğini ortaya koymuşlardır. Bu çalışma kapsamında da, YAI parametresi (6.23) nolu eşitlik kullanılarak elde edilmiştir.

$$YAI = -1.323 \times \ln \left[ \frac{0.88 - NDVI}{0.714} \right] \quad (6.23)$$

Kumar vd. (2015) tarafından yapılan çalışmada, farklı çalışmalar için ele alınan bitki tanımlayıcı parametreler ( $V_1$ ,  $V_2$ ) sunulmuştur (Çizelge 6.30).

**Çizelge 6.30** Farklı çalışmalarda kullanılan bitki tanımlayıcı parametreler.

| Model | Referans                       | Tanımlayıcı ( $V_1$ ) | Tanımlayıcı ( $V_2$ ) |
|-------|--------------------------------|-----------------------|-----------------------|
| 1     | Attema ve Ulaby (1978)         | 1                     | BSİ x H               |
| 2     | Ulaby vd. (1984)               | BSİ                   | BSİ x H               |
| 3     | Champion ve Guyot (1991)       | YAI / BSİ x H         | BSİ x H               |
| 4     | Prevot vd. (1993)              | YAI                   | YAI                   |
| 5     | Van Leeuwen ve Clevers (1994)  | 1                     | YAI                   |
| 6     |                                | YAI                   | YAI                   |
| 7     | Dabrowska-Zielinska vd. (2007) | LWAI                  | LWAI                  |
| 8     |                                | VWM                   | VWM                   |

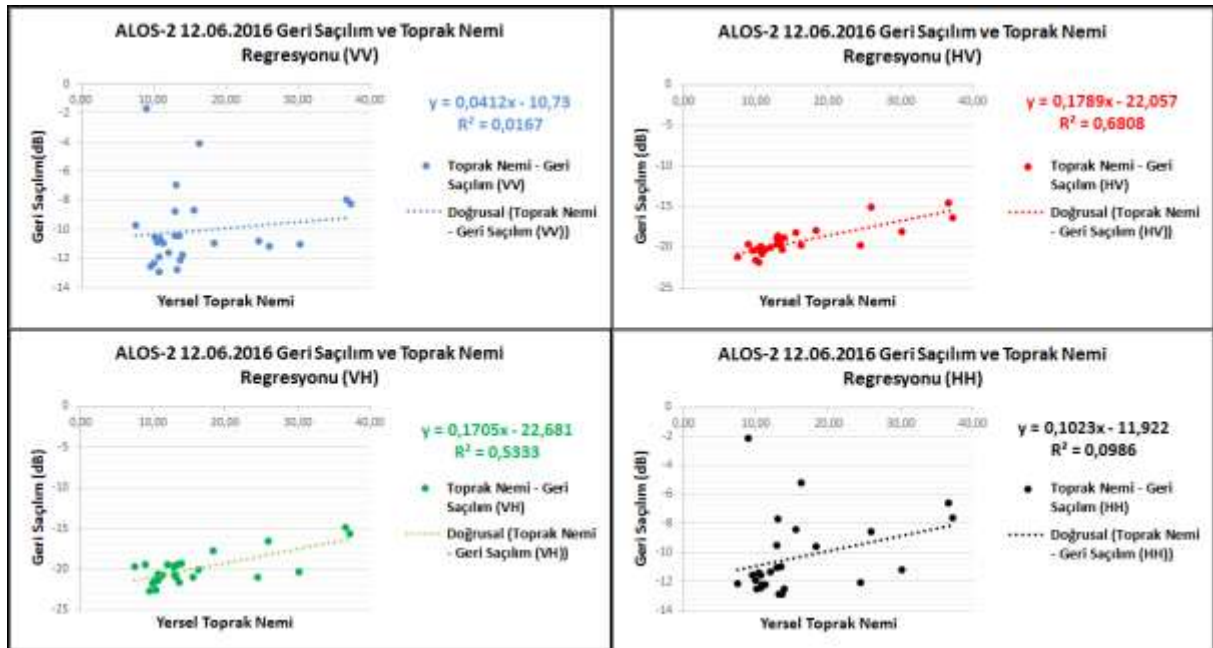
- BSİ: Bitki Su İçeriği, H: Bitki Yüksekliği, YAI: Yaprak Alan İndeksi, LWAI: Yaprak Su Alanı İndeksi (Leaf Water Area Index), VWM: Bitki Su Kütlesi (Vegetation Water Mass)

Doktora çalışması kapsamında, bitki tanımlayıcılar olan  $V_1$  ve  $V_2$  için üç farklı parametre ile altı farklı durum analiz edilmiştir (Çizelge 6.31).

**Çizelge 6.31** Bitki tanımlayıcı olarak kullanılan parametreler.

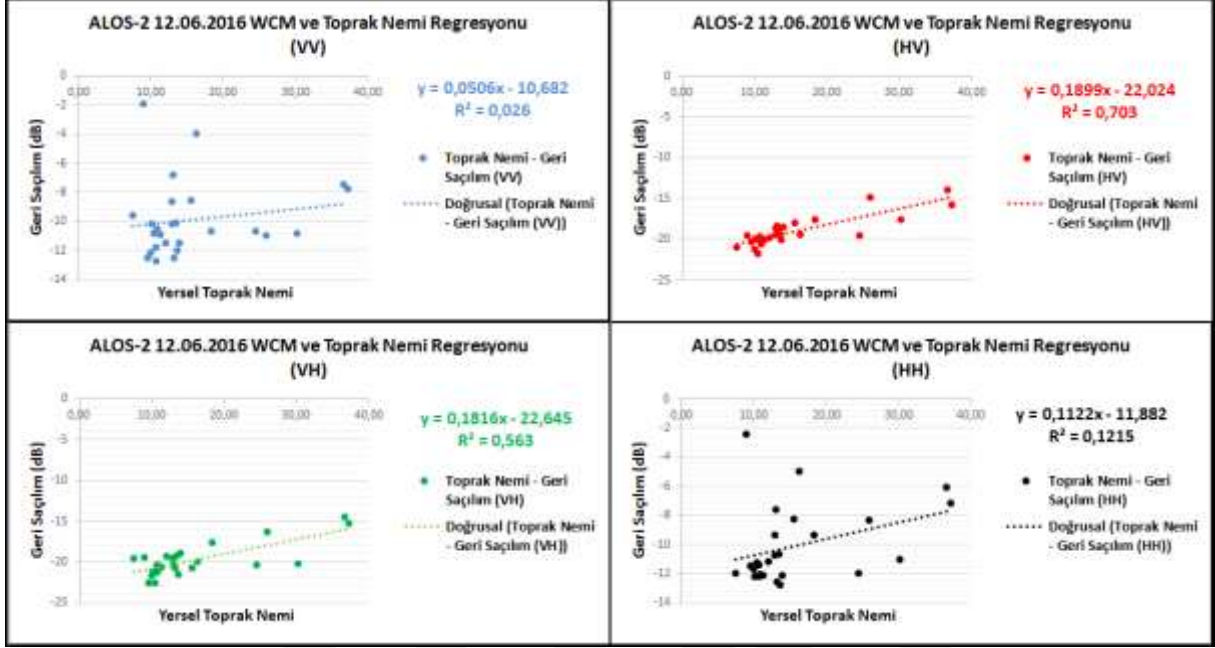
|          | V <sub>1</sub> | V <sub>2</sub> |
|----------|----------------|----------------|
| 1. Durum | 1              | YAI            |
| 2. Durum | YAI            | YAI            |
| 3. Durum | 1              | BKA            |
| 4. Durum | BKA            | BKA            |
| 5. Durum | 1              | BSİ            |
| 6. Durum | BSİ            | BSİ            |

Çizelge 6.31’de görüldüğü üzere, WCM altı farklı durum için analiz edilmiştir. 1. ve 2. Durum’ da YAI, 3. ve 4. Durum’ da BKA, 5. ve 6. Durum’ da BSİ parametreleri baz alınmıştır. Her bir durum, Haziran ayında alınan ALOS-2 ve Sentinel-1A verilerine uygulanarak grafikler aşağıda sunulmuştur. Şekil 6.38’de, 12 Haziran 2016 tarihinde alınan ALOS-2 görüntüsünden her bir tarla için ortalama geri saçılım değerleri ile yersel toprak nemi arasındaki korelasyon WCM kullanılmadan sunulmuştur. Bitki örtüsü etkisi elimine edilmeden çıkarılan grafiklerde HV polarizasyon ile toprak nemi belirlenmesinde %68 korelasyon, VH polarizasyonu ile toprak nemi belirlenmesinde %53 korelasyon olduğu belirlenmiştir.

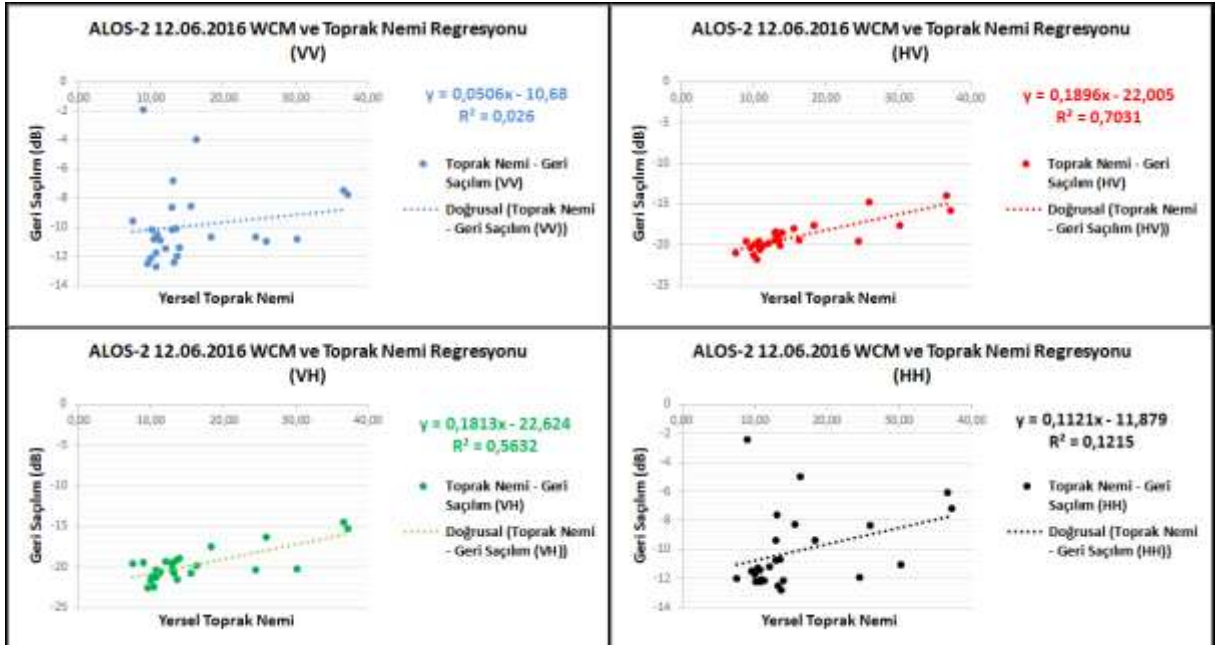


**Şekil 6.38** 12.06.2016 tarihli ALOS-2 geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi.

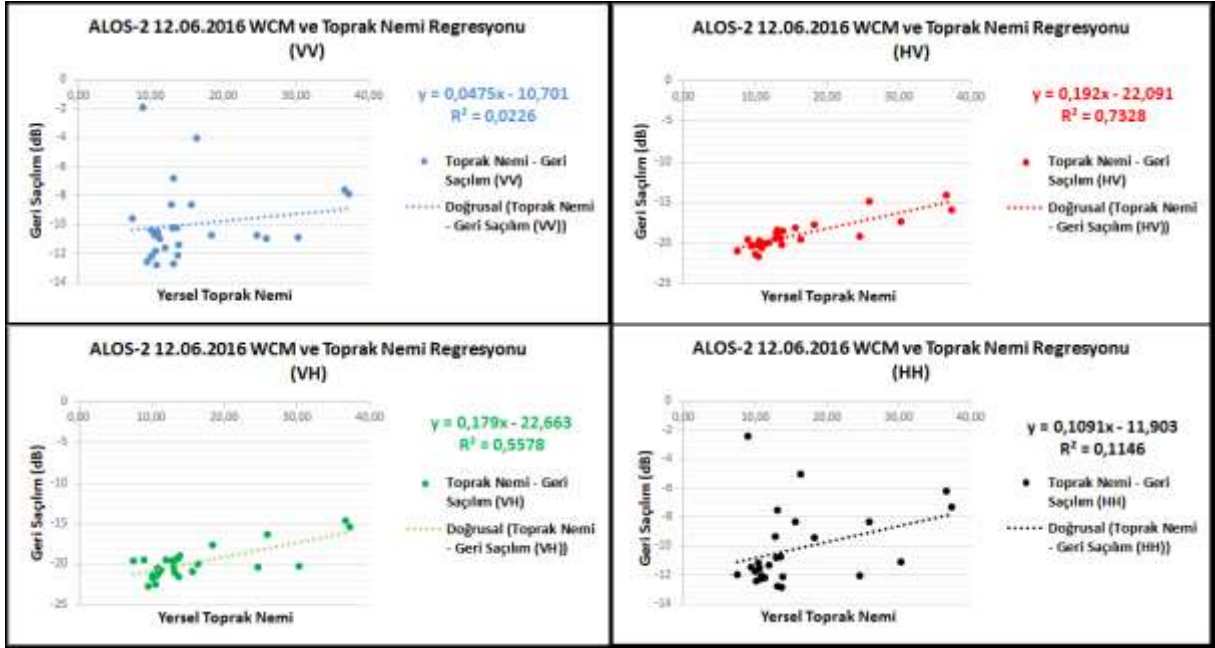
Çizelge 25’te belirtilen altı durum için WCM Şekil 6.38’de baz alınan tarlalara uygulanarak sonuçlar Şekil 6.39, Şekil 6.40, Şekil 6.41, Şekil 6.42, Şekil 6.43 ve Şekil 6.44’te sunulmuştur.



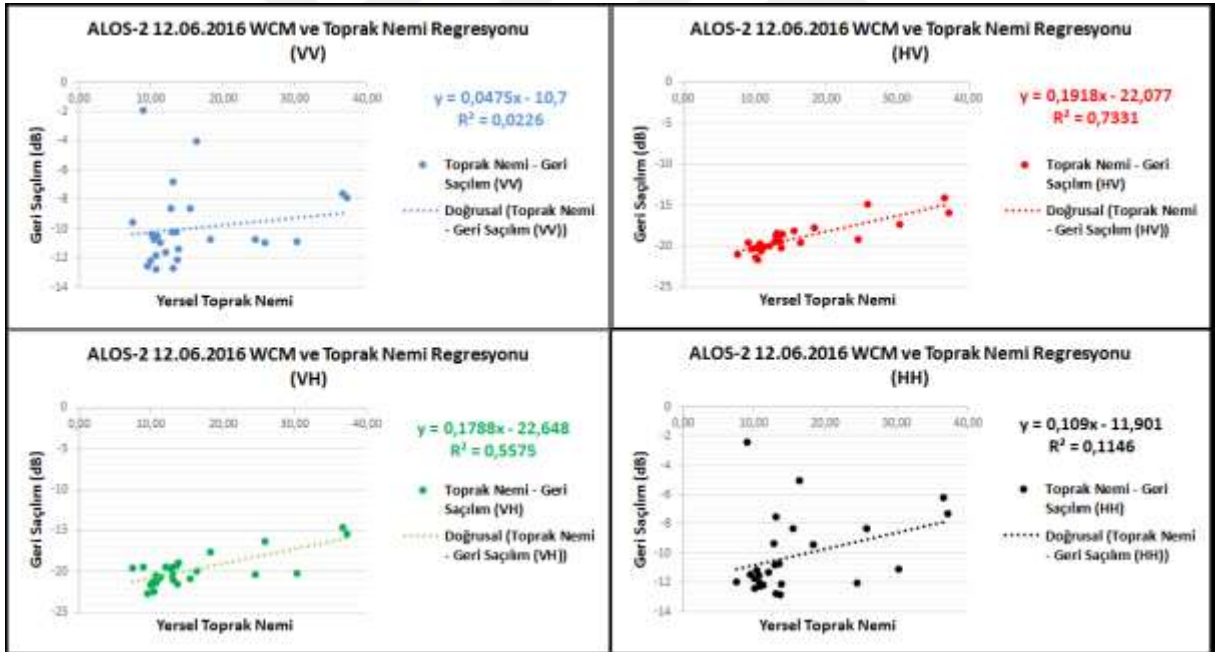
Şekil 6.39 12.06.2016 tarihli ALOS-2 verisi için tarla bazlı WCM analizi (1. Durum).



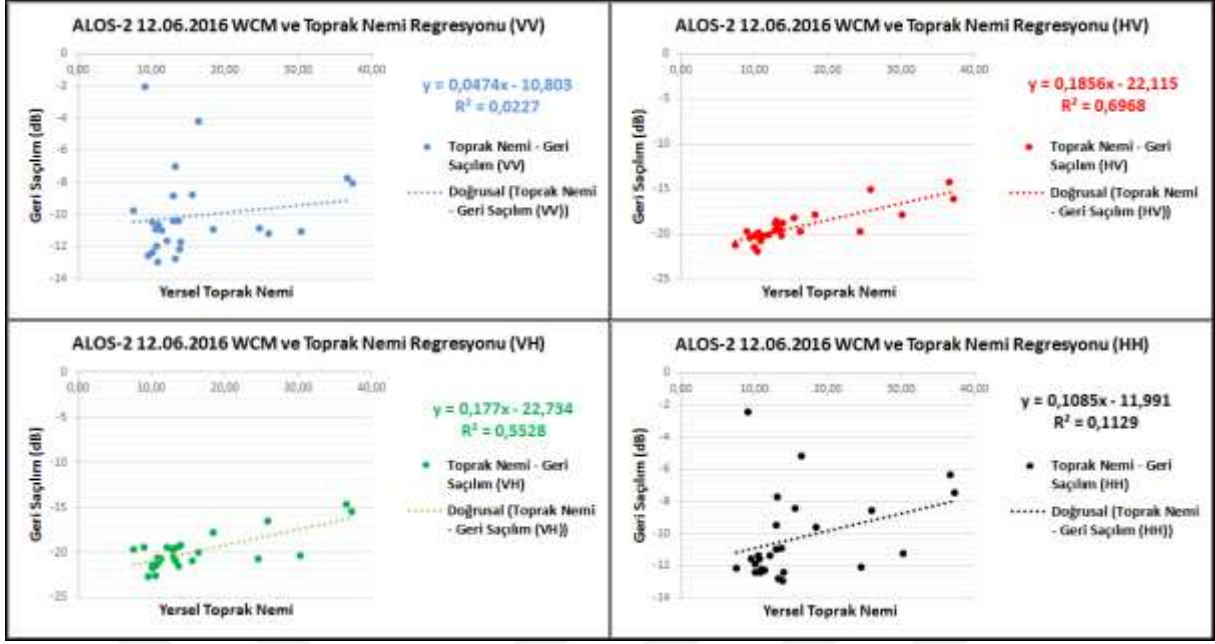
Şekil 6.40 12.06.2016 tarihli ALOS-2 verisi için tarla bazlı WCM analizi (2. Durum).



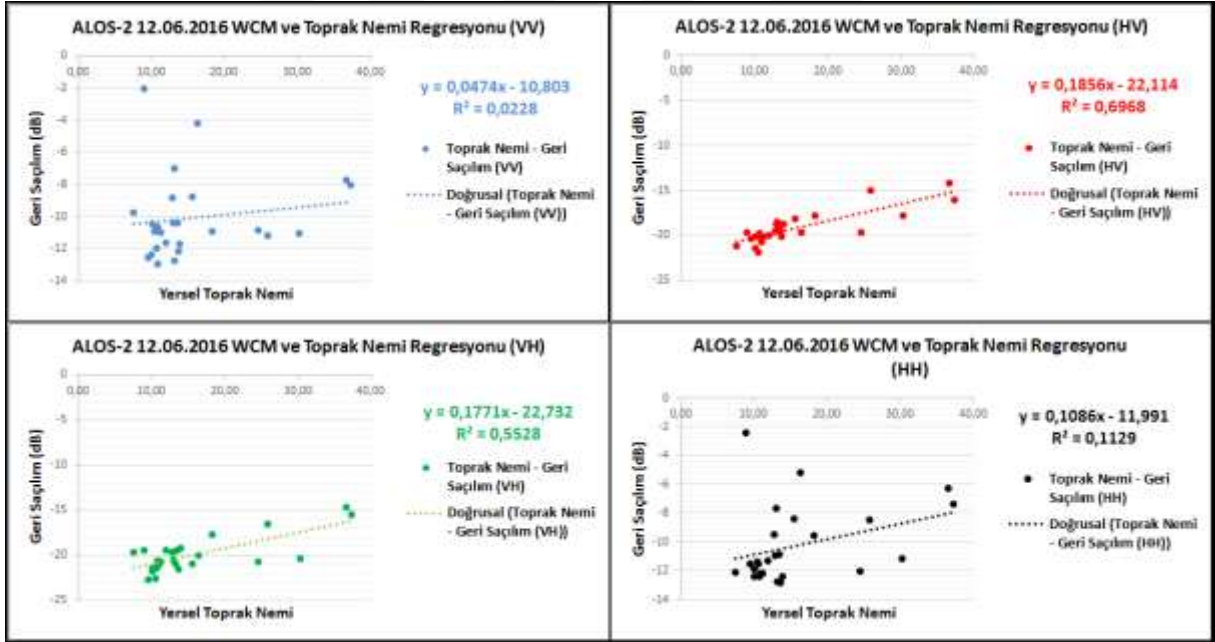
Şekil 6.41 12.06.2016 tarihli ALOS-2 verisi için tarla bazlı WCM analizi (3. Durum).



Şekil 6.42 12.06.2016 tarihli ALOS-2 verisi için tarla bazlı WCM analizi (4. Durum).



Şekil 6.43 12.06.2016 tarihli ALOS-2 verisi için tarla bazlı WCM analizi (5. Durum).

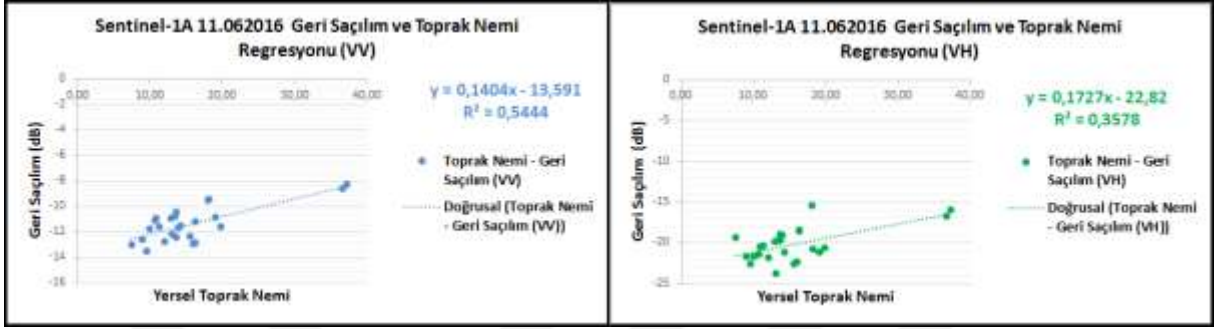


Şekil 6.44 12.06.2016 tarihli ALOS-2 verisi için tarla bazlı WCM analizi (6. Durum).

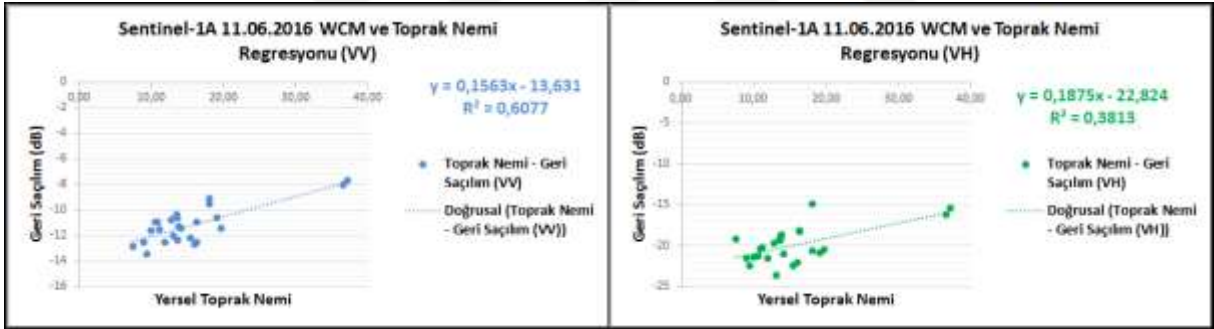
Yukarıdaki grafikler dikkate alındığında, altı durumda da her polarizasyon için pozitif olarak gelişme olduğu görülmektedir. Şekil 6.41 ve Şekil 6.42 incelendiğinde, BKA parametresinin kullanıldığı 3. ve 4. durumda en yüksek korelasyon katsayısına ulaşılmıştır.

Şekil 6.45'te, 11 Haziran 2016 tarihinde alınan Sentinel-1A görüntüsünden her bir tarla için ortalama geri saçılım değerleri ile yersel toprak nemi arasındaki korelasyon WCM

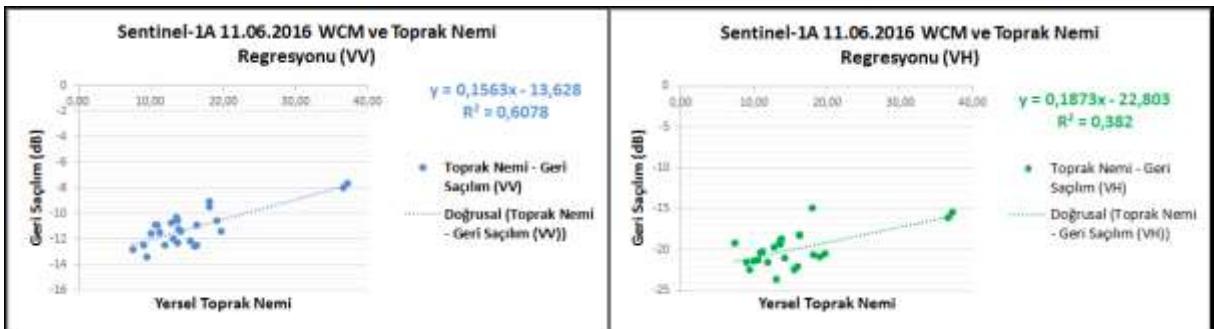
kullanılmadan sunulmuştur. Bitki örtüsü etkisi elimine edilmeden çıkarılan grafiklerde, VV polarizasyon ile toprak nemi belirlenmesinde %54 korelasyon, VH polarizasyonu ile toprak nemi belirlenmesinde %36 korelasyon olduğu görülmektedir. Çizelge 6.31’de belirtilen altı durum baz alınarak Sentinel-1A verileri ile de WCM analizleri gerçekleştirilmiş ve Şekil 6.46, Şekil 6.47, Şekil 6.48, Şekil 6.49, Şekil 6.50 ve Şekil 6.51’de sunulmuştur.



Şekil 6.45 11.06.2016 tarihli Sentinel-1A geri saçılımı ile yersel toprak nemi arasındaki regresyon analizi.

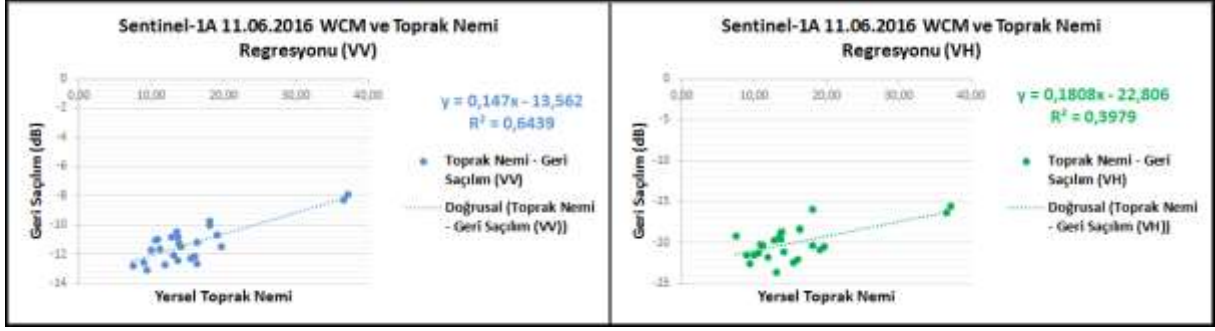


Şekil 6.46 11.06.2016 tarihli Sentinel-1A verisi için tarla bazlı WCM analizi (1. Durum).

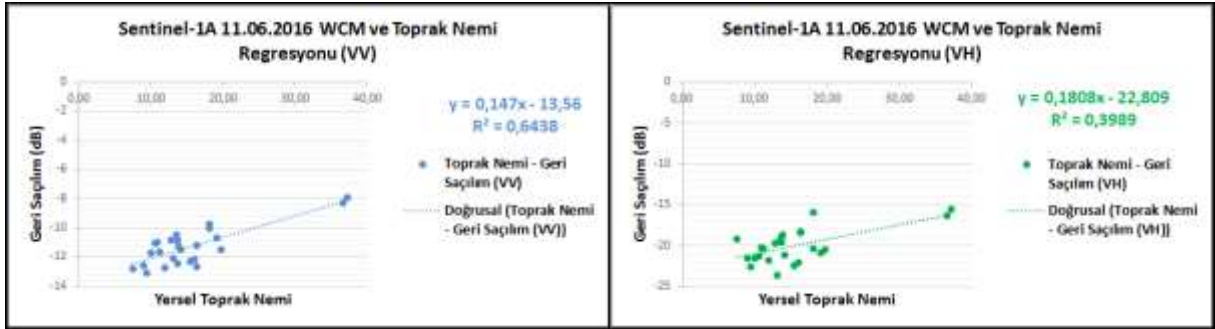


Şekil 6.47 11.06.2016 tarihli Sentinel-1A verisi için tarla bazlı WCM analizi (2. Durum).

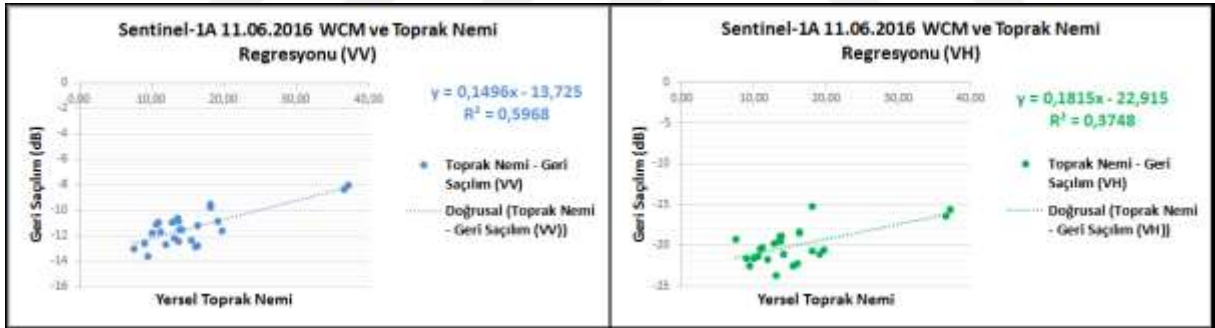




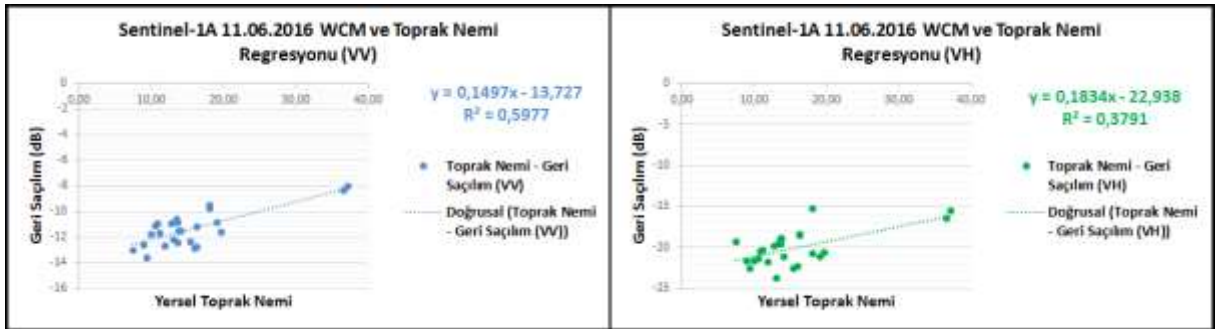
Şekil 6.48 11.06.2016 tarihli Sentinel-1A verisi için tarla bazlı WCM analizi (3. Durum).



Şekil 6.49 11.06.2016 tarihli Sentinel-1A verisi için tarla bazlı WCM analizi (4. Durum).



Şekil 6.50 11.06.2016 tarihli Sentinel-1A verisi için tarla bazlı WCM analizi (5. Durum).



Şekil 6.51 11.06.2016 tarihli Sentinel-1A verisi için tarla bazlı WCM analizi (6. Durum).

Sentinel-1A verilerine uygulanan WCM analizi dikkate alındığında, ALOS-2 verisinde olduğu gibi hem VV hem de VH polarizasyonunda iyileşmeler olduğu gözlemlenmiştir. Sentinel-1A verisi için de, 3. ve 4. durumdaki BKA parametresi baz alınan WCM analizleri, en yüksek korelasyonları sunmuştur. Her iki veri setinde de arazide ölçülen BKA oranı bitki örtüsünden kaynaklı geri saçılımı diğer durumlara nazaran daha iyi elimine etmiştir. BSİ ve YAI parametreleri, yersel gözlemler yapılmadan daha önceki çalışmalarda sunulan NDVI tabanlı deneysel çalışmalardan elde edildiği için çalışma sonuçlarına BKA'ya nazaran daha az katkı sağlamış olabilirler. WCM'nin daha iyi anlaşılması için analiz özet çizelgesi Çizelge 6.31'de sunulmuştur.

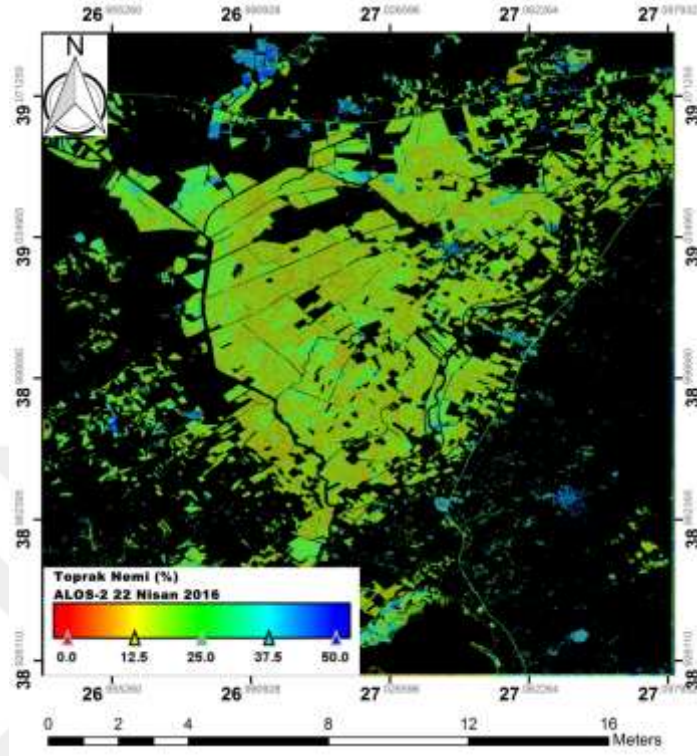
**Çizelge 6.31** WCM analiz sonuçları ve ilk sonuçlar.

| VERİ SETİ                   | Polarizasyon & Doğrusal (R <sup>2</sup> ) | WCM (R <sup>2</sup> ) |          |          |          |          |          |
|-----------------------------|---|-----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                             |   | 1. Durum              | 2. Durum | 3. Durum | 4. Durum | 5. Durum | 6. Durum |
| ALOS-2<br>(12.06.2016)      | VV (0.017)                                | 0.026                 | 0.026    | 0.023    | 0.023    | 0.023    | 0.023    |
|                             | HV (0.681)                                | 0.703                 | 0.703    | 0.733    | 0.733    | 0.697    | 0.697    |
|                             | VH (0.533)                                | 0.563                 | 0.563    | 0.558    | 0.558    | 0.553    | 0.553    |
|                             | HH (0.099)                                | 0.122                 | 0.122    | 0.115    | 0.115    | 0.113    | 0.113    |
| Sentinel-1A<br>(11.06.2016) | VV (0.544)                                | 0.608                 | 0.608    | 0.644    | 0.644    | 0.597    | 0.598    |
|                             | VH (0.358)                                | 0.381                 | 0.382    | 0.398    | 0.399    | 0.375    | 0.379    |

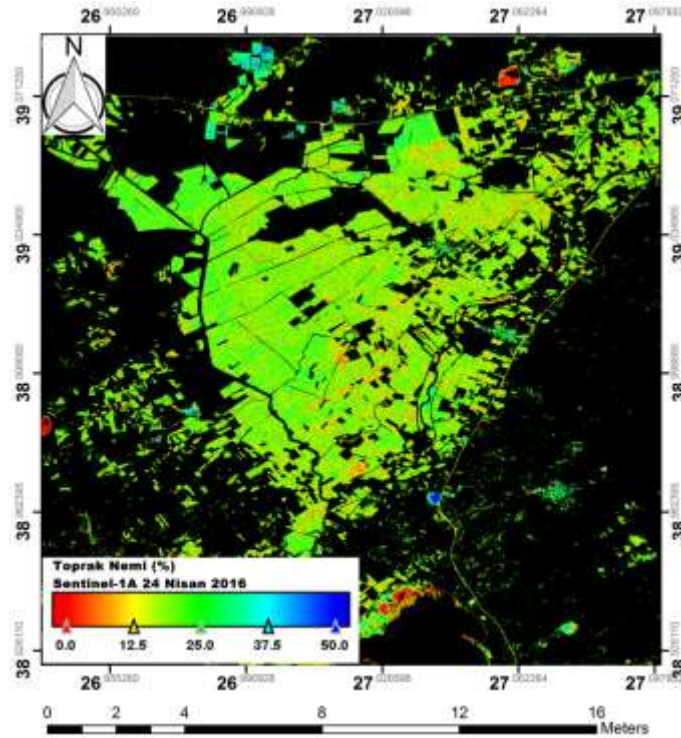
## 6.5 TOPRAK NEMİNİN HARİTALANMASI

Nisan ve Haziran ayında alınan uydu verilerinden, örnek toprak nemi haritaları oluşturulması planlanmıştır. Haritalama işlemi için Bölüm 6.3'te detayları belirtilen deneysel modeller kullanılmıştır. Toprak nemi haritaları; dielektrik katsayısı ve pürüzlülük haritaları olmadığı için geri saçılım ve lokal geliş açısı değerleri baz alınarak üretilmiştir. Nisan ayında alınan veri setleri ile yapılan eş zamanlı arazi çalışmasında, tarlalarda bitki örtüsü olmadığı için bu tarihte alınan ALOS-2 ve Sentinel-1A görüntülerinden üretilcek toprak nemi haritalarında, su yapıları ve bitki örtüsü kaplı alanlar maskelenmiştir. Maskeleyme işlemi için 18 Nisan 2016 tarihinde alınan Sentinel-2A uydu verisinden üretilen NDVI görüntüsü kullanılmıştır. NDVI değeri 0'dan küçük ve 0.2'den büyük alanlar siyah renkte maskelenerek bitki örtüsü olmayan tarım arazileri için toprak nemi haritaları çıkarılmıştır. Şekil 6.52'de sunulan 22 Nisan 2016 tarihli ALOS-2 verisinden üretilen toprak nemi haritasının KOH değeri %4.43 olarak

belirlenmiştir. Şekil 6.53'te sunulan 24 Nisan 2016 tarihli Sentinel-1A verisinden üretilen toprak nemi haritasının KOH değeri %2.73 olarak hesaplanmıştır.

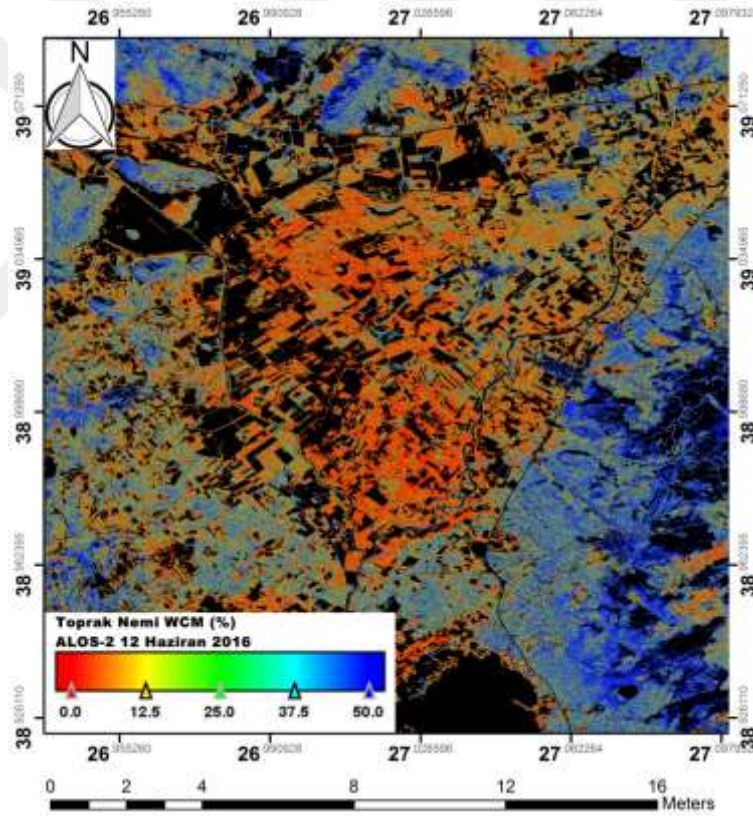


Şekil 6.52 22 Nisan 2016 tarihli ALOS-2 verisinden üretilen toprak nemi haritası.

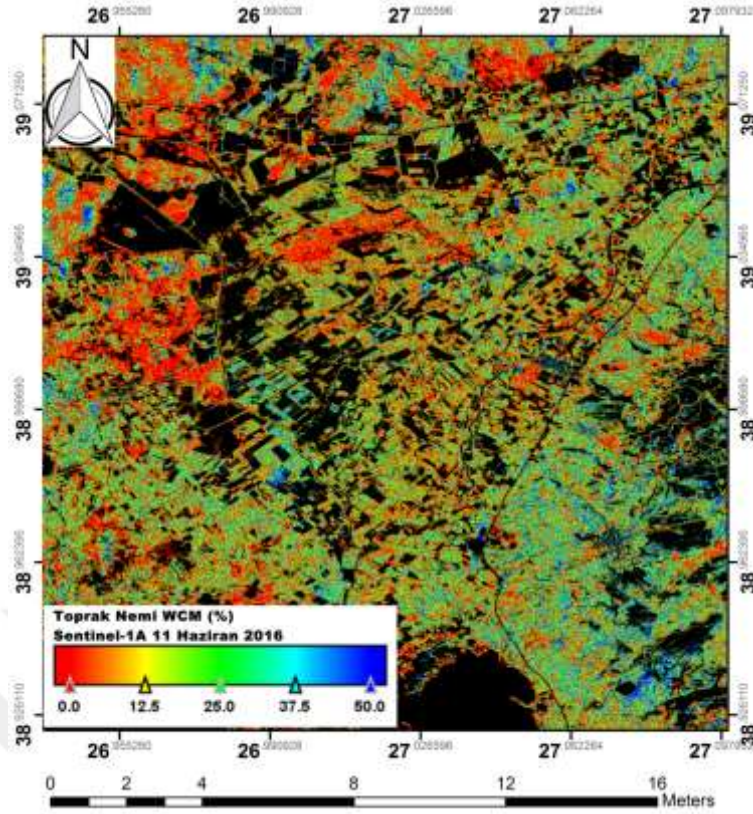


Şekil 6.53 24 Nisan 2016 tarihli Sentinel-1A verisinden üretilen toprak nemi haritası.

Çalışmanın ikinci arazi dönemi olan Haziran ayında, tarlalarda az ve orta yoğunlukta bitki örtüsü olduğu için bu tarihler baz alınarak üretilen toprak nemi haritaları Bölüm 6.4'te detayları sunulan WCM analizlerinin ters yöntemi ile elde edilmiştir. Haritalarda maskeleye yapmak amacıyla 17 Haziran 2017 tarihli Sentinel-2A uydusuna ait görüntülerden NDVI haritası üretilmiştir. NDVI değeri, 0.15'ten küçük ve 0.42'den büyük değerler siyah renkli olarak maskelenmiştir. Belirtilen eşik değerler, Sentinel-2A görüntüsünün görsel analizi ile belirlenmiştir ancak bu eşik değerler görüntü işleme tekniklerinde kullanılan yöntemlerle de elde edilebilir. Şekil 6.54'te sunulan 12 Haziran 2016 tarihli ALOS-2 verisinden üretilen toprak nemi haritasının KOH değeri %15.13 olarak belirlenmiştir. Şekil 6.55'de sunulan 11 Haziran 2016 tarihli Sentinel-1A verisinden üretilen toprak nemi haritasının KOH değeri %9.01 olarak hesaplanmıştır.



**Şekil 6.54** 12 Haziran 2016 tarihli ALOS-2 verisinden bitki örtülü alanlar için üretilen toprak nemi haritası.



**Şekil 6.55** 11 Haziran 2016 tarihli Sentinel-1A verisinden bitki örtülü alanlar için üretilen toprak nemi haritası.

SAR verileri kullanılarak toprak nemi haritalarının oluşturulmasında yapılan literatür taramasında, tarla bazlı deneysel çalışmalardan elde edilen sonuçların tüm havzaya uygulanarak haritaların çıkarılmasının, yüksek ya da düşük toprak nemi değerlerinin elde edilmesine neden olabildiği görülmektedir (Leconte vd. 2004). Bu durum model geliştirme aşamasında ele alınan parametre çeşitliliğinden kaynaklanabilir. Ayrıca, SAR geri saçılımı ile oluşturulan toprak nemi haritalarında çok sayıda çözümü olmayan (no-solution) pikseller de oluşabilmektedir (Leconte vd. 2004). Bu durum farklı derinliklerde alınan dikey toprak nemi profilleri ile geri saçılım değerleri arasındaki uyumsuzluktan kaynaklanabilir. Ayrıca, farklı çalışmalarda, arazi sınıflarının yanı sıra eğim sınıfları için de farklı maskeleme işlemleri de yapılarak toprak nemi haritaları elde edilmiştir (Zribi vd. 2007, Rao vd. 2008).

## BÖLÜM 7

### SONUÇLAR

Toprak nemi, tarımsal faaliyetler için önemli bir parametre olmasının yanında hidroloji ve iklim bilimi açısından da son derece önemlidir. Buna karşın, toprak neminin konumsal olarak belirlenmesi hidroloji alanındaki zorluklardan biridir. Toprak nemi, dinamik bir yapıya sahip olması nedeniyle noktasal bazlı ölçümlerin sık bir şekilde yapılması gerekmektedir. Yersel ölçümler; zaman, maliyet ve iş gücü açısından dezavantajlı olmasının yanında toprak nemi dağılımını da ifade etmediği için geniş ölçekli çalışmalarda fayda sağlamamaktadır. Toprak nemi veya farklı çevresel etmenleri konumsal olarak bölgesel ve küresel ölçekte ifade edebilmek için UA teknolojileri, sıkça kullanılan alternatif ve etkili bir bilim dalıdır. Uydu görüntüleri kullanılarak birçok parametrenin modellenmesi ve haritalarının oluşturulması mümkündür. Bu çalışmanın temel amacı, L-bant ALOS-2 ve C-bant Sentinel-1A uydu görüntülerinden yararlanarak doğal nem döngüsünde toprak nemi tahminlerinin yapılması ve haritalanmasıdır. Tarım arazilerinde, bitki örtüsü olan ve olmayan iki farklı dönem için farklı model tabanlı yaklaşımlardan faydalanılarak toprak nemi tahminleri gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın son aşamasında, model tabanlı yaklaşımlar ile elde edilen sonuçlar kullanılarak toprak nemi haritaları üretilmiştir.

Çalışma alanı seçiminde, SAR görüntülerinde geometrik hatalara sebep olacak dağlık alanların olmamasına ve çok pürüzlülüğe sahip olmayan alanların seçilmesine dikkat edilmiştir. İzmir'in Bergama ilçesine ait tarım arazilerinin bulunduğu bir bölge belirlenerek test alanlarının seçilmesi için 7 Nisan 2016 tarihinde arazide istikşaf çalışması yapılmış ve aynı zamanda toprak özelliklerinin belirlenmesi için toprak numuneleri alınarak Ege Üniversitesi, Ziraat Fakültesi'nde analizleri yaptırılmıştır. Böylece; ilk arazi çalışmasında, toprak nemi ve diğer parametrelerin ölçüleceği tarım arazileri belirlenerek model tabanlı yaklaşımlarda kullanılmak üzere toprak numuneleri analiz ettirilmiştir. Analiz sonucunda, toprağın tuzluluğu, organik madde miktarı, kum, kil ve mil oranı gibi veriler elde edilmiştir.

Çalışmada, istikşaf çalışması ardından ikinci arazi çalışması 22 Nisan 2016 tarihli ALOS-2 uydusunun çekim tarihi ile eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir. İlgili tarihte, daha önce belirlenen tarım arazilerinden toprak nemi belirlemek amacıyla toprak numuneleri alınmıştır. Bu arazi çalışmasında, tarım arazilerinde herhangi bir bitki örtüsü olmadığı gözlemlenmiştir. Bu nedenle, herhangi bir bitki parametresi için ölçüm gerçekleştirilmemiştir. Ayrıca, SAR görüntülerinden toprak nemi tahmininde önemli bir parametre olan pürüzlülük ölçümü ekipman olmaması nedeniyle bu arazi çalışmasında yapılamamıştır. Ancak, üçüncü arazi çalışmasında ölçülen pürüzlülük değerleri Nisan verileri için de kullanılmıştır.

ALOS-2 uydusu ikinci veri setinin çekim tarihi olan 12 Haziran 2016 tarihinde üçüncü arazi çalışması gerçekleştirilmiştir. Bu arazi çalışmasında, tarım arazilerinde seyrek ve orta yoğunlukta bitki örtüsü olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle toprak nemi ölçümlerine ek olarak, bitki kaplama alanı, bitki boyu ve yaprak boyu gibi bitki parametreleri de ölçülmüştür. Bitki örtüsü modellenmesinde yalnızca bitki kaplama alanı kullanılmıştır. Ayrıca, ikinci arazi setinde ekipman olmaması nedeniyle gerçekleştirilemeyen pürüzlülük ölçümleri için bir düzenek hazırlanarak pürüzlülük ölçümleri de gerçekleştirilmiştir.

Arazi çalışmalarının tamamlanması ve çalışmada kullanılacak uydu verilerinin de temini ile deneysel çalışmalara başlanmıştır. İlk olarak radar geri saçılımının davranışını anlayabilmek için geri saçılımı etkileyen; toprak nemi, lokal geliş açısı, yüzey pürüzlülüğü ve dielektrik katsayısı gibi parametrelerin, Nisan ve Haziran ayında alınan SAR verilerinin tüm polarizasyonlarında geri saçılım değerleri ile olan ilişkileri doğrusal regresyon analizleri ile incelenmiştir. Öncelikle radar geri saçılımı ve toprak nemi ilişkisi incelenmiş tüm tarlalar baz alındığında aradaki ilişkinin çok düşük olduğu görülmüştür. Eğilim trendini bozan toprak nemi değerleri çıkarıldığında aradaki ilişkinin oldukça yükseldiği belirlenmiştir. Nisan ayında alınan ALOS-2 verisi için en yüksek ilişki, %70  $R^2$  değeri ile HH polarizasyonda elde edilmiştir. 18 Nisan ve 24 Nisan'da alınan Sentinel-1A verilerinde ise en yüksek ilişki, VV polarizasyonunda sırasıyla %61 ve %74  $R^2$  değerlerle elde edilmiştir. Haziran verileri dikkate alındığında, toprak nemi ve geri saçılım arasındaki en yüksek ilişki ALOS-2 için HV polarizasyonunda %68  $R^2$ , Sentinel-1A için VV polarizasyonunda %54  $R^2$  olarak belirlenmiştir. Geri saçılımına etki eden lokal geliş açısı, yüzey pürüzlülüğü ve dielektrik katsayısı gibi diğer parametrelerin doğrusal regresyon analizlerinin sonuçları Bölüm 6.1'de detaylı olarak sunulmuştur.

Açık alanlarda SAR verileri ile toprak nemi tahmininde en çok kullanılan iki yöntem olan Dubois ve Oh modelleri Nisan ayı verilerine uygulanmıştır. 22 Nisan tarihli ALOS-2 verisi Dubois ters çözümü tek polarize (HH, VV) sonuçlarında dielektrik katsayıları negatif çıktığı için multi-polarize çözüm kullanılmıştır. Dubois ters çözümü ve yersel tekniklerle elde edilen toprak nemi değerleri karşılaştırılmış korelasyon katsayısı %41, KOH değeri %16.2 olarak belirlenmiştir. 18 Nisan ve 24 Nisan tarihli Sentinel-1A verileri için gerçekleştirilen Dubois ters çözümünde VV polarizasyon kullanılmıştır. 18 Nisan verisi için veriler arasındaki korelasyon katsayısı %3 olmasına rağmen KOH değeri %9.21 olarak hesaplanmıştır. 24 Nisan verisi için veriler arasındaki korelasyon katsayısı %14 olmasına karşın KOH değeri %7.9 olarak hesaplanmıştır.

Oh modelinin ters çözümünde, eş polarize oran (p) ve HV polarizasyonundaki geri saçılım değerlerinden toprak nemi elde edilebilmektedir. Bu dönüşümde polarizasyonlar dikkate alındığında veri setlerinden ALOS-2'nin uygun olduğu belirlenmiştir. Oh ters çözümü ALOS-2 verisine uygulandığında ortaya çıkan sonuçların yersel toprak nemi değerlerinden çok uzak olduğu gözlemlenmiştir. Bu durum, çalışma alanında alınan toprak nemi numunelerinin az sayıda olmasında kaynaklanabilir.

Model tabanlı yaklaşımlar olan Dubois ve Oh modellerden elde edilen sonuçların doğruluklarının bu çalışma için tatmin edici olmaması nedeniyle deneysel model geliştirme çalışmalarına başlanmıştır. Deneysel model geliştirebilmek amacıyla çok değişkenli doğrusal regresyon analizi kullanılarak aşamalı (stepwise) yöntem esas alınmıştır. Bu analizde; toprak nemi bağımlı değişken olarak ele alınırken pürüzlülük, lokal geliş açısı, dielektrik katsayısı ve geri saçılım değerleri bağımsız değişkenler olarak kabul edilmiştir. Deneysel modeller hem Nisan verileri hem de Haziran verileri için ele alınmıştır. Dielektrik katsayısının belirlenebilmesi için toprak özelliklerine ihtiyaç vardır ve bunun için toprak analizi yaptırmak gerekmektedir. Dielektrik katsayısı bilgisinin her zaman ulaşılabilir olmayacağı düşünülerek model tabanlı yaklaşımlarda dielektrik katsayısının olduğu ve olmadığı durumlar için iki adet matematiksel denklem üretilmiştir. Nisan verileri için dielektrik katsayısının olduğu durumlarda 24 Nisan tarihli Sentinel-1A için üretilen model, %99  $R^2$  ve 0.28  $\sigma$  (%) ile en iyi sonuçlar elde edilmiştir. Dielektrik katsayısının olmadığı durumda ise 22 Nisan tarihli ALOS-2 için üretilen model %82  $R^2$  ve 2.37  $\sigma$  (%) ile en iyi sonuçlara ulaşılmıştır. Haziran veri seti için, dielektrik katsayısının olmadığı durumda %69  $R^2$  ve 4.90  $\sigma$  (%) ile ALOS-2 verisinden daha iyi sonuçlar elde edilmişken dielektrik katsayısının olduğu durumlarda %98  $R^2$  ve 1.24  $\sigma$



(%) ile Sentinel-1 verisinden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir. Dielektrik katsayısının var olduğu modellerin doğruluk değerlendirmeleri için modellerde ele alınmayan noktalar kullanılarak yapılmıştır. Nisan ayı için 22 Nisan 2016 tarihli ALOS-2, 18 Nisan 2016 tarihli Sentinel-1, 24 Nisan 2016 tarihli Sentinel-1 modellerinin KOH (%) değerleri sırasıyla 1.637, 0.924 ve 0.732'dir. Aynı şekilde Haziran ayı için 12 Haziran 2016 tarihli ALOS-2 ve 11 Haziran 2016 tarihli Sentinel-1 modellerinin KOH (%) değerleri sırasıyla 1.753 ve 2.20'dir.

Haziran ayında gerçekleştirilen arazi çalışmasında tarlalarda bitki örtüsü olması ve bitki örtüsünün geri saçılıma etki etmesi nedeniyle, bitki örtüsünden kaynaklı geri saçılımın elimine edilerek topraktan saçılan geri saçılımın elde edilmesi gerekmektedir. Bu nedenle literatürde en çok kullanılan WCM tercih edilmiştir. WCM'de bitki parametreleri olarak, arazide ölçtüğümüz bitki kaplama alanı, YAI ve BSI kullanılmıştır. YAI ve BSI parametreleri, arazide ölçülemediği için daha önceki deneysel çalışmalardan elde edilen denklemler yardımıyla NDVI verisinden üretilmiştir. WCM analizleri sonucunda, hem ALOS-2 hem de Sentinel-1A verileri için en iyi sonuçlar bitki kaplama alanının kullanıldığı durumlarda elde edilmiştir. ALOS-2 verisinde HV geri saçılımının toprak nemi ile olan korelasyon katsayısı WCM ile %68'den %73'e yükselmiştir. Sentinel-1A verisinde ise VV geri saçılımının toprak nemi ile olan korelasyon katsayısı WCM ile %54'ten %64'e yükselmiştir. WCM ile Sentinel-1A verisinde daha fazla iyileşme olduğu belirlenmiştir. Bu durum Sentinel verisinin, C banda sahip olmasından kaynaklı olarak bitkiye L banda nazaran daha az nüfuz ettiğini göstermektedir.

Çalışmanın son aşaması, toprak nemi haritalarının oluşturulmasıdır. Nisan ve Haziran veri setleri için hem Sentinel-1A hem de ALOS-2 verileri için bir adet toprak nemi haritası oluşturulmuştur. Nisan ayı için üretilen toprak nemi haritaları; dielektrik katsayısı ve pürüzlülük haritaları olmadığı için geri saçılım ve lokal geliş açısı değerleri baz alınarak üretilmiştir. Nisan ayında tarlalarda bitki örtüsü olmadığı için bu tarihte alınan ALOS-2 ve Sentinel-1A görüntülerinden üretilen toprak nemi haritalarında, su yapıları ve bitki örtüsü kaplı alanlar NDVI verisi kullanılarak maskelenmiştir. 22 Nisan 2016 tarihli ALOS-2 verisinden üretilen toprak nemi haritasının KOH değeri %4.43 olarak belirlenmiştir. 24 Nisan 2016 tarihli Sentinel-1A verisinden üretilen toprak nemi haritasının KOH değeri ise %2.73 olarak hesaplanmıştır. Haziran veri setleri için üretilen toprak nemi haritaları, WCM analizlerinin ters çözümü ile elde edilmiştir. WCM ile çıkarılacak toprak nemi haritası sadece bitkili alanları temsil edeceği için çalışma alanındaki kurak, sulak, çok yoğun bitkili ve

ormanlık alanlar maskelenmiştir. 12 Haziran 2016 tarihli ALOS-2 verisinden üretilen toprak nemi haritasının KOH değeri %15.13 olarak belirlenmiştir. 11 Haziran 2016 tarihli Sentinel-1A verisinden üretilen toprak nemi haritasının KOH değeri ise %9.01 olarak hesaplanmıştır.

SAR verileri ile toprak nemi tahminlerinin yapıldığı ve toprak nemi haritalarının oluşturulduğu bu çalışmada, ALOS-2 ve Sentinel-1 uydularının toprak neminin tahmininde önemli sonuçlar sunduğu belirlenmiştir. Yapılan deneysel çalışmalar neticesinde hem L-bant hem de C-bant verilerinin tatmin edici sonuçlar verdiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, L-bant ve C-banda sahip farklı algılayıcıların bitki örtüsü olduğu durumlardaki bitki geri saçılımından etkilenme durumları da ortaya konmuştur.

SAR verileri ile toprak nemi tahmininde sıkça kullanılan model tabanlı yaklaşımlardan Dubois ve Oh modelleri, yarı-deneysel modeller olmaları dolayısıyla her çalışma alanı için uygun sonuçlar vermedikleri yapılan analizler sonucunda belirlenmiştir. Sentinel-1A uydusu ile iyi sonuçların elde edilmesi ve ücretsiz olarak temin edilebilmesi UA bilim dalı için son derece önemlidir. Bu nedenle, bu uyduya ait verilerle ilerleyen zamanlarda farklı birçok alanda çalışmalar yapılarak, bu verilerin bilim dünyasına çok şey kazandıracığı açıktır. L banda sahip olan ALOS-2 ile farklı derinliklerde yapılacak toprak nemi çalışmalarından elde edilecek sonuçlar, bu veri seti için daha detaylı yorum yapılmasını sağlayacaktır. Ayrıca, radar ve optik füzyonu ile ilerleyen zamanlarda daha yüksek konumsal ve zamansal çözünürlüklerde toprak nemi haritalarının üretilmesinin mümkün olabileceği düşünülmektedir.



## KAYNAKLAR

- Abdikan S** (2007) SAR Görüntülerinden Üretilen İnterferometrik ve Stereo Sayısal Yükseklik Modellerinin Kalitesinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 97 s.
- Ahmad A, Zhang Y ve Nichols S** (2011) Review and evaluation of remote sensing methods for soil moisture estimation. *SPIE Reviews*, 2 (1), 028001.
- Altese E, Bolognani O, Mancini M ve Troch P A** (1996) Retrieving soil moisture over bare soil from ERS 1 synthetic aperture radar data: Sensitivity analysis based on a theoretical surface scattering model and field data. *Water Resour. Res.*, 32: 653-661.
- Álvarez-Mozos J, Casali J, González-Audí'cana M ve Verhoest N E C** (2006) Assessment of the operational applicability of RADARSAT-1 data for surface soil moisture estimation. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 44 (4): 913–924.
- Anderson M C, Kustas W P, Norman J M, Hain C R, Mecikalski J R, Schultz L, Gonzalez-Dugo M P, Cammaelleri C, d'Urso G, Pimstein A ve Gao F** (2011) Mapping Daily Evaporation at field to continental scales using geostationary and polar orbiting satellite Imagery. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15: 223-239.
- Arii M** (2009) Retrieval of soil moisture under vegetation using polarimetric radar. PhD Thesis, California Institute of Technology, Engineering and Applied Science, Pasadena, CA, 184 p.
- Attema E P W ve Ulaby F T** (1978) Vegetation modelled as a water cloud. *Radio Science*, 13: 357-364.
- Aubert M, Baghdadi N, Zribi M, Douaoui A, Loumagne C, Baup F, El Hajj M ve Garrigues S** (2011) Analysis of TerraSAR-X data sensitivity to bare soil moisture, roughness, composition and soil crust. *Remote Sensing of Environment*, 115: 1801–1810.
- Baghdadi N, Aubert M, Cerdan O, Franchistéguy L, Viel C, Eric M, Zribi M ve Desprats J F** (2007) Operational mapping of soil moisture using synthetic aperture radar data: Application to the touch basin (France). *Sensors*, 7 (10): 2458–2483.
- Baghdadi N, Holah N ve Zribi M** (2006) Soil moisture estimation using multi incidence and multi-polarization asar data. *International Journal of Remote Sensing*, 27 (10): 1907–1920.
- Baghdadi N, King C, Bourguignon A ve Remond A** (2002) Potential of ERS and Radarsat data for surface roughness monitoring over bare agricultural fields: Application to catchments in Northern France. *International Journal of Remote Sensing*, 23 (17): 3427-3442.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Balık F** (2004) Elektro-Optik ve SAR Uydu Görüntüleri İle Arazi Bitki Örtüsünün Belirlenmesi. *Doktora Tezi*, YTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, İstanbul, 223 s.
- Barr D J** (1969) Use of Side-Looking Airborne Radar (SLAR) Imagery for Engineering Soils Studies. *Technical Report 46-TR*, Project 4A623501A854, USA.
- Barrett B W, Dwyer E ve Whelan P** (2009) Soil Moisture Retrieval from Active Spaceborne Microwave Observations: An Evaluation of Current Techniques. *Remote Sens.*, 1: 210-242.
- Bayer T, Winter R ve Schreier G** (1991) Terrain influences in SAR backscatter and attempts to their correction. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 29(3): 451-462.
- Benson C H ve Bosscher P J** (1999) Time-domain reflectometry (TDR) in geotechnics: a review. *ASTM Spec. Tech. Publ.*, 1350: 113–136.
- Bindlish R ve Barros A P** (2001) Parameterization of vegetation backscatter in radar-based, soil moisture estimation. *Remote Sensing of Environment*, 76: 130-137.
- Bindlish R, Jackson T J, Gasiewski A, Klein M ve Njoku E G** (2006) Soil moisture mapping and AMSR-E validation using the PSR in SMEX02. *Remote Sens. Environ.*, 103: 127–139.
- Bittelli K ve Flury M** (2009) Errors in water retention curves determined with pressure plates. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 72: 1453–1460.
- Black C A** (Ed.) (1965) Physical and Mineralogical Properties Including Statistics of Measurements and Sampling. *Methods of Soil Analysis*, American Society of Agronomy, Wisconsin, pp. 515–545.
- Bousbih S, Zribi M, Lili-Chabaane Z, Baghdadi N, El Hajj M, Gao Q ve Mougnot B** (2017) Potential of Sentinel-1 Radar Data for the Assessment of Soil and Cereal Cover Parameters. *Sensors*, 17 (11): 2617.
- Bulut R ve Leong E C** (2008) Indirect measurement of suction. *J. Geotech. Geol. Eng.*, 26 (6): 633–644.
- Champion I** (1996) Simple modelling of radar backscattering coefficient over a bare soil: variation with incidence angle, frequency and polarization. *Int. J. Remote Sens.*, 15: 783-800.
- Champion I ve Guyot G** (1991) Generalized formulation for semi-empirical models. *5ème Colloque International sur les Signatures Spectrales d'Objets en Télédétection*, Courchevel, France, 14 – 18 Janvier 1991, pp. 269 – 272.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Chanasyk D S ve Naeth M A** (1996) Field measurement of soil moisture using neutron probe. *Can. J. Soil Sci.*, 76: 317–323.
- Chauhan N S, Miller S ve Ardanuy P** (2003) Spaceborne soil moisture estimation at high resolution: A microwave optical/IR synergistic method. *Int. J. Remote Sens.*, 24(22): 4599–4622.
- Cole K S ve Cole R H** (1942) Dispersion and absorption in dielectrics II. Direct current characteristics. *J. Chem. Phys.*, 10: 98-105.
- Çakır Z** (2003) Analysis Of The Crustal Deformation Caused by The 1999 Marmara Earthquake Sequence Using Synthetic Aperture Radar Interferometry. *PhD Thesis*, ITU Institute of Science and Technology and Institut De Physique Du Globe De Paris, 116 p.
- Dabrowska-Zielinska K, Inoue Y, Kowalik W ve Gruszczynska M** (2007) Inferring the effect of plant and soil variables on C- and L-Band SAR backscatter over agricultural fields, based on model analysis. *Advances in Space Research*, 39: 139–148.
- Davenport I J, Fernveez-Galvez J ve Gurney R J** (2005) A sensitivity analysis of soil moisture retrieval from the Tau-Omega microwave emission model. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 43 (6): 1304 – 1316.
- Debye P** (1929) *Polar molecules*. Dover Publications Inc.: New York, NY, USA, 172 p.
- Dirmeyer P A** (2008) Book Review – Climate Change: Biological and Human Aspects by J. Cowie. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 89: 1175-1178.
- Dobriyal P, Qureshi A, Badola R ve Hussain S A** (2012) A review of the methods available for estimating soil moisture and its implications for water resource management. *Journal of Hydrology*, 458: 110-117.
- Du Y, Ulaby F T ve Dobson M C** (2000) Sensitivity to soil moisture by active and passive microwave sensors. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. J.*, 38(1): 105–113.
- Dubois P C, van Zyl J ve Engman T** (1995) Measuring soil moisture with imaging radars. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 33: 915-926.
- D'Urso G ve Minacapilli M** (2006) A semi-empirical approach for surface soil water content estimation from radar data without a-priori information on surface roughness. *J. Hydrol.*, 321: 297-310.
- El Hajj M, Baghdadi N, Zribi M, Belaud G, Cheviron B, Courault D ve Charron F** (2016) Soil moisture retrieval over irrigated grassland using X-Band SAR data. *Remote Sensing of Environment*, 176: 202-218.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Erköse P G** (2010) Improving Cultural Tourism in Bergama: An Analysis of the Potential for New Cultural Tourism Products in Bergama including a Cultural Route between Mytilene and Bergama. *Yüksek Lisans Tezi*, Koç University, Graduate School of Social Sciences, Anatolian Civilizations and Cultural Heritage Management, İstanbul, 151 s.
- Erlingsson S, Baltzer S, Baena J ve Bjarnason G** (2009) Measurement techniques for water flow. *Water in Road Structures*, Dawson, A. (Ed.), ISBN: 978-1-4020-8562-8, Springer, UK.
- Esetlili M T** (2008) Sentetik açıklıklı radar (mikrodalga) uydu görüntüleri kullanılarak toprak özelliklerinin belirlenebilirliği üzerine araştırmalar. *Doktora Tezi*, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ege Üniversitesi, İzmir, 342 s.
- Evelt S R ve Parkin G W** (2005) Advances in soil water content sensing: the continuing maturation of technology and theory. *Vadose Zone J.*,s 4: 986–991.
- Fan L Y, Gao Y Z, Brück H ve Bernhofer C** (2009) Investigating the relationship between NDVI and LAI in semi-arid grassland in Inner Mongolia using in-situ measurements. *Theoretical and applied climatology*, 95(1-2): 151-156.
- Farr T G** (1993) Radar Interactions With Geologic Surfaces. *Guide to Magellan image interpretation*, Ford J P (Ed.), JPL Publ, Pasadena, pp. 45–73.
- Ferrara G ve Flore J A** (2003) Comparison between different methods for measuring transpiration in potted apple trees. *Biol. Plantarum.*, 46 (1): 41–47.
- Ferre P A, Knight J H, Rudolph D L ve Kachanoski R G** (1998) The sample areas of conventional and alternative time domain reflectometry probes. *Water Resour. Res.*, 34 (11): 2971–2979.
- Foumelis M, Veci L ve Sabella G** (2014) SENTINEL-1 Toolbox DEMO. *5th ESA Advanced Training Course on Land Remote Sensing*, 8-12 Eylül 2014, Valencia, Spain.
- Fung A K, Li Z ve Chen K S** (1992) Backscattering from a randomly rough dielectric surface. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 30: 356-369.
- Goit J B, Groenevelt P H, Kay B D ve Loch J G P** (1976) The applicability of dual gamma scanning to freezing soils and the problems of stratification. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 42: 858–863.
- Graham A J ve Harris R** (2003) Extracting biophysical parameters from remotely sensed radar data: a review of the water cloud model. *Prog. Phys. Geog.*, 27: 217-229.
- Gültekin K, Yetim A, Kılıç N ve Binici N** (1998) Ege Havzaları. *İzmit Ticaret Odası Y.* No:44.
- Gündoğdu V ve Turhan D** (2014) Bakırçay Havzası Kirlilik Etüdü Çalışması, *DEÜ Müh. Fak. Fen ve Mühendislik Dergisi*, 6 (3): 65-83.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Hallikainen M T, Ulaby F T, Dobson M C, El-Rayes M A ve Wu L K** (1985) Microwave Dielectric Behavior of Wet Soil—Part I: Empirical Models and Experimental Observations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, GE-23: 25-34.
- Hanssen R F** (2001) *Radar Interferometry Data Interpretation and Error Analysis*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, The Netherlands, 327 p.
- Holah N, Baghdadi N, Zribi M, Bruand A ve King C** (2005) Potential of ASAR/ENVISAT for the characterization of soil surface parameters over bare agricultural fields. *Remote Sens. Environ.*, 96: 78-86.
- Hornberger G M (Ed.), Raffensperger J P, Wiberg P L ve Eshleman K N** (1998) *Elements of Physical Hydrology*. Unstated edition, ISBN: 0801858577, The Johns Hopkins University Press, Baltimore, MD, 312 p.
- Iodice A, Natale A ve Riccio D** (2011) Retrieval of soil surface parameters via a polarimetric two-scale model. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 49 (7): 2531–2547.
- İzmir Meteoroloji Genel Müdürlüğü** (2015) İzmir İlinin İklim Durumu, *Teknik Rapor*, 4 s.
- Jackson T J, Le Vine D M, Hsu A Y, Oldak A, Starks P J, Swift C T, Isham H D ve Haken M** (1999) Soil moisture mapping at regional scales using microwave radiometry: The Southern Great Plains Hydrology Experiment. *IEEE transactions on geoscience and remote sensing*, 37(5): 2136-2151.
- Jackson T J, Schmugge J ve Engman E T** (1996) Remote sensing applications to hydrology: soil moisture. *J. Hydrol. Sci.* 41(4): 517–529.
- Ji J, van der Keur P, Thomsen A ve Skriver H** (1996) Soil moisture retrieval using the Danish L- & C-Band polarimetric SAR. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '96)*, Lincoln, NB, USA, Vol. 2, pp. 1300-1302.
- Joseph A T, van der Velde R, O'Neill P E, Lang R H ve Gish T** (2008) Soil moisture retrieval during a corn growth cycle using L-Band (1.6 GHz) radar observations. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 46 (8): 2365–2374.
- Kemaldere H** (2011) Şehir Altı Madenciliği ve Tasman Etkilerinin Diferansiyel İnsar Tekniği İle Belirlenmesi Zonguldak Metropolitan Alanı Örneği. *Doktora Tezi*, ZKÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı, Zonguldak, 133 s.
- Kornelsen K C ve Coulibaly P** (2013) Advances in soil moisture retrieval from synthetic aperture radar and hydrological applications. *Journal of Hydrology*, 476: 460–489.
- Kumar K, Rao S, Prasad H ve Arora M K** (2015) Study of water cloud model vegetation descriptors in estimating soil moisture in Solani catchment. *Hydrological processes*, 29 (9): 2137-2148.



## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Kurucu Y, Esetlili T, Şanlı F ve Hussin Y A** (2008) Toprağın Değişen Nem Düzeylerinin Sar (Radar) Uydu Görüntüleri ile Belirlenebilirliği Üzerine Bir Araştırma. *TÜBİTAK Projesi*, Proje No: 1050247.
- Lakhankar T, Ghedira H, Temimi M, Azar A E ve Khanbilvardi R** (2009) Effect of land cover heterogeneity on soil moisture retrieval using activemicrowave remote sensing data. *J. Remote Sens.*, 1: 80–91.
- Lakshmi V** (2013). Remote sensing of soil moisture. *ISRN Soil Science*, 2013, 424178, pp. 33.
- Leconte R, Brissette F, Galarneau M ve Rousselle J** (2004) Mapping near-surface soil moisture with RADARSAT-1 synthetic aperture radar data. *Water Resources Research*, 40(1), W01515.
- Lillesand T M ve Kiefer R W** (1999) *Remote Sensing and Image Interpretation*. 4th edition, ISBN: 0471255157, John Wiley and Sons, Inc., USA, 736 p.
- Madsen H B, Jenson C R ve Boyson T** (1986) A comparison of the thermocouple psychrometer and the pressure plate methods for determination of soil Water characteristic curves. *J. Soil Sci.*, 37 (3): 57–362.
- Maity S, Patnaik C, Chakraborty M ve Panigrahy S** (2004) Analysis of temporal backscattering of cotton crops using a semiempirical model. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 42: 577-587.
- Mathieu R, Sbih M, Viau A, Anctil F, Parent L ve Boisvert J** (2003) Relationships between Radarsat SAR data and surface moisture content of agricultural organic soils. *Int. J. Remote Sens.*, 24: 5265-5281.
- McKim H L, Bert R L, McGaw R W, Atkins R T ve Ingersoll J** (1976) Development of a remote-reading tensiometer/transducer system for use in sub freezing temperatures. *2nd Conference on Soil–Water Problems in Cold Regions*, 1-2 September, Edmonton, Canada. pp. 31–45.
- Moran M S, Hymer D C, Qi J ve Sano E E** (2000) Soil moisture evaluation using multi-temporal synthetic aperture radar (SAR) in semiarid rangeland. *Agr. Forest Meteorol.* 105: 69-80.
- Muñoz-Carpena R, Shukla S ve Morgan K** (2004) Field devices for monitoring soil water content. *University of Florida Cooperative Extension Service*, Institute of Food and Agricultural Sciences, EDIS, 24 p.
- Narayanan R M ve Hirsave P P** (2001) Soil moisture estimation models using SIR-C SAR data: a case study in New Hampshire, USA. *Remote Sensing of Environment*, 75: 385-396.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- NEN Mühendislik Danışmanlık Ltd. Şti.** (2001) Gediz Nehir Havzası Su Kaynakları Yönetimi ve Kirlilik Kontrolü Pilot Projesi Final Raporu.
- Neusch T ve Sties M** (1999) Application of the Dubois-model using experimental synthetic aperture radar data for the determination of soil moisture and surface roughness. *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, 54: 273-278.
- Nord M E, Ainsworth T L, Jong-Sen L ve Stacy N J S** (2009) Comparison of compact polarimetric synthetic aperture radar modes. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 47: 174-188.
- Notarnicola C, Angiulli M ve Posa F** (2006) Use of radar and optical remotely sensed data for soil moisture retrieval over vegetated areas. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 44: 925-935.
- Oh Y** (2004) Quantitative Retrieval of Soil Moisture Content and Surface Roughness From Multipolarized Radar Observations of Bare Soil Surfaces. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 42 (3): 596-601.
- Oh Y, SaraBandi K ve Ulaby F T** (1992) An empirical model and an inversion technique for radar scattering from bare soil surfaces. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. J.*, 30(2): 370-381.
- Oh Y, SaraBandi K ve Ulaby F T** (1994) An inversion algorithm for retrieving soil moisture and surface roughness from polarimetric radar observation. *IGARSS'94*, Pasadena, USA, pp. 1582-1584.
- Oh Y, SaraBandi K ve Ulaby F T** (2002) Semi-empirical model of the ensemble-averaged differential Mueller matrix for microwave backscattering from bare soil surfaces. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40: 1348-1355.
- Özalp A** (1997) Avrupa Uzay Ajansı Radar Uydu Sistemi. *Bilim ve Teknik Dergisi*, 359: 40-45.
- Paloscia S, Pettinato S, Santi E, Notarnicola C, Pasolli L ve Reppucci A** (2013) Soil moisture mapping using Sentinel-1 images: Algorithm and preliminary validation. *Remote Sensing of Environment*, 134: 234-248.
- Pardossi A, Incrocci L, Incrocci G, Malorgio F, Battista P, Bacci L, Rapi B, Marzioletti P, Hemming J ve Balendonck J** (2009) Root zone sensors for irrigation management in intensive agriculture. *Sensors*, 9: 2809-2835.
- Pathe C** (2009) Surface Soil Moisture Retrieval Using Envisat ASAR Global Mode Data. *PhD Thesis*, Institute of Photogrammetry and Remote Sensing, Technische Universität Wien, Wien, Austria, 181 p.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Pathe C, Wagner W, Sabel D, Doubkova M ve Basara J B** (2009) Using ENVISAT ASAR global mode data for surface soil moisture retrieval over Oklahoma, USA. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 47 (2): 468–480.
- Pontailier J Y, Hymus G J ve Drake B G** (2003) Estimation of leaf area index using ground-based remote sensed NDVI measurements: validation and comparison with two indirect techniques. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(3): 381-387.
- Prevot L, Dechambre M O, Taconet D, Madjar V, Normand M ve Galle S** (1993) Estimating the characteristics of vegetation canopies with airborne radar measurements. *International Journal of Remote Sensing*, 14: 2803–2818.
- Rahman M M, Moran M S, Thoma D P, Bryant R, Collins C D H, Jackson T, Orr B J ve Tischler M** (2008) Mapping surface roughness and soil moisture using multi-angle radar imagery without ancillary data. *Remote Sens. Environ.* 112 (2): 391–402.
- Rao Y S, Singh G ve Venkataraman G** (2008) Soil moisture mapping using ALOS PALSAR quad-pol data. *International Conference of Recent Advances in Microwave Theory and Applications (Microwave-08)*, 21-24 November 2008, Jaipur, Rajasthan, India, pp. 214-216.
- Reynolds S G** (1970) The gravimetric method of soil moisture determination Part IA study of equipment, and methodological problems. *Journal of Hydrology*, 11 (3): 258-273.
- Robock A, Vinnikov K Y, Srinivasan G, Entin J K, Hollinger S E, Speranskaya N A ve Namkhai A** (2000) The global soil moisture data bank. *Bullet. Am. Meteorol. Soc.*, 81 (6): 1281–1299.
- Sakaki T, Sugihara K, Adachi T, Nishida K ve Lin W** (1998) Application of time domain reflectometry for determination of volumetric water content in rock. *Water Resour. Res.*, 24 (10): 2623–2631.
- Sandells M J, Davenport J ve Gurney R J** (2008) Passive L-Band microwave soil moisture retrieval error arising from topography in otherwise uniform scenes. *Adv. Water Resources*, 31: 1433–1443.
- Schmugge T, Jackson T J ve McKim H L** (1980) Survey of methods for soil moisture determination. *Water Resour. Res.*, 16 (6): 961–979.
- Serrano, M H L R** (2010) Satellite Remote Sensing of Soil Moisture. *Master Science Thesis*, University of Reading, Department of Meteorology, England, 61 p.
- Shi J, Wang J, Hsu A Y, O'Neill P E ve Engman E T** (1997) Estimation of bare surface soil moisture and surface roughness parameter using L-Band SAR image data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 35: 1254-1266.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Sikdar M ve Cumming I** (2004) A modified empirical model for soil moisture estimation in vegetated areas using SAR data. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS '04)*, Anchorage, AK, USA, pp. 803-806.
- Snapir B** (2014) SAR Remote Sensing of Soil Moisture. *PhD Thesis*, Cranfield University, School of Engineering, Astronautics and Space Engineering, Cranfield, Birleşik Krallık, 201 p.
- Souyris J C, Imbo P, Fjortoft R, Mingot S ve Lee J S** (2005) Compact polarimetry based on symmetry properties of geophysical media: The p/4 mode. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 43: 634-646.
- Srivastava H S, Patel P, Manchanda M L ve Adiga S** (2003) Use of Multiincidence Angle RADARSAT-1 SAR Data to Incorporate the Effect of Surface Roughness in Soil Moisture Estimation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 41 (7): 1638-1640.
- Sunar F, Şaylan L, Taberner M, Özkan C, Beşdok E, Albut S, Maktav D, Aslan Z, Tok H ve Çaldağ B** (2005) Ürün Tipi ve Toprak Nemi Araştırmasında JERS Radar Uydu Verilerinin Kullanımı. *TÜBİTAK Projesi*, Proje No: İÇTAG-1921.
- Su Z, Troch P A ve De Troch F P** (1997) Remote sensing of bare surface soil moisture using EMAC/ESAR data. *Int. J. Remote Sens.*, 18; 2105-2124.
- Şorman A Ü** (2009) Aktif Mikrodalga Görüntüleri Kullanarak Yüzey Toprak Neminin Elde Edilmesi. *TÜBİTAK Projesi*, Proje No: 107Y341.
- Taconet O, Vidal-Madjar D, Emblanch C ve Normand M** (1996) Taking into account vegetation effects to estimate soil moisture from C-Band radar measurements. *Remote Sens. Environ.*, 56: 52-56.
- Tarantino A, Ridley A M ve Toll D G** (2008) Field measurement of suction, water content, and water permeability. *Geog. Geol. Eng.*, 26 (6): 751-782.
- Tombul M, Şorman A Ü, Akyürek Z ve Yılmaz M** (2008) Hidrolojik Benzerlik Parametrelerinin Oluşturulmasında Kullanmak Üzere Toprak Neminin ERS/SAR-ASAR Uydu Görüntülerinden Elde Edilmesi. *TÜBİTAK Projesi*, Proje No: 104Y045.
- Topp G C, Davis J L ve Annan A P** (1980) Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines. *Water Resour. Res.*, 16 (3): 574-582.
- Ulaby F T, Allen C T, Eger G ve Kanemasu E** (1984) Relating the microwave backscattering coefficient to leaf area index. *Remote Sens. Environ.*, 14: 113-133.
- Ulaby F T, Moore R ve Fung A** (1981) *Microwave remote sensing: Active and passive, Volume 1 - Microwave remote sensing fundamentals and radiometry*. ISBN: 0201107597, Addison-Wesley Publishing Company, Boston, 456 p.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- URL-1** <<https://earth.esa.int/handbooks/asar/CNTR5-2.html>>, Ziyaret tarihi: 12.12.2014.
- URL-2** <[http://www.radartutorial.eu/20.airborne/pic/SLAR-geometry\\_p.tr.jpg](http://www.radartutorial.eu/20.airborne/pic/SLAR-geometry_p.tr.jpg)>, Ziyaret tarihi: 12.12.2014.
- URL-3** <[ftp://ftp.ccrs.nrcan.gc.ca/ad/MAS/globesar/eng/ap\\_land\\_e.pdf](ftp://ftp.ccrs.nrcan.gc.ca/ad/MAS/globesar/eng/ap_land_e.pdf)>, Ziyaret tarihi: 07.04.2016.
- URL-4** <<https://weather.msfc.nasa.gov/landprocess/>>, Ziyaret tarihi: 15.04.2017.
- URL-5** <<https://www.unavco.org/instrumentation/geophysical/imaging/sar-satellites/sar-satellites.html>>, Ziyaret tarihi: 15.08.2017.
- URL-6** <Online:[http://www.proder.org.tr/FileUpload/bs626006/File/2.\\_bergama.pdf](http://www.proder.org.tr/FileUpload/bs626006/File/2._bergama.pdf)>, Ziyaret tarihi: 15.08.2013.
- URL-7** <<http://en.alos-pasco.com/alos-2/>>, Ziyaret tarihi: 15.09.2017.
- URL-8** <<http://alos-2-restec.jp/en/staticpages/index.php/abt-000>>, Ziyaret tarihi: 17.11.2015.
- URL-9** <<https://earth.esa.int/web/guest/missions/esa-operational-eo-missions/sentinel-1>>, Ziyaret tarihi: 15.09.2017.
- URL-10** <<https://www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/other-satellite-sensors/sentinel-2a/>>, Ziyaret tarihi: 15.09.2017.
- URL-11** <[http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/calval/calval\\_index.htm](http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/calval/calval_index.htm)>, Ziyaret tarihi: 15.10.2017.
- URL-12** <[http://corp.array.ca/nest-web/help/operators/Range\\_Doppler\\_GeocodingOp.html](http://corp.array.ca/nest-web/help/operators/Range_Doppler_GeocodingOp.html)>, Ziyaret tarihi: 15.10.2017.
- URL-13** <[https://sentinel.esa.int/documents/247904/349449/Sentinel-1\\_Product\\_Specification](https://sentinel.esa.int/documents/247904/349449/Sentinel-1_Product_Specification)>, Ziyaret tarihi: 15.10.2017.
- van Dam R L, Borchers B ve Hendrickx J M** (2005) Methods for prediction of soil dielectric properties- A review. *SPIE Defense and Security*, Orlando, FL, USA, pp. 188-197.
- Van Leeuwen H J C, Clevers J G P W** (1994) Synergy between optical and microwave remote sensing for crop growth monitoring. *Sixth International Symposium on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing*, Val D'Isère, France (1994), pp. 1175-1182.
- van Zyl J J, Njoku E G ve Jackson T J** (2003) Quantitative analysis of SMEX'02 AIRSAR data for soil moisture inversion. *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS'03)*, Toulouse, France, pp. 404-406.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Verhoest N E C, Lievens H, Wagner W, lvarez-Mozos J A', Moran M S ve Mattia F** (2008) On the soil roughness parameterization problem in soil moisture retrieval of bare surfaces from synthetic aperture radar. *Sensors*, 8 (7): 4213–4248.
- Wagner W** (1998) Soil moisture retrieval from ERS scatterometer data. *PhD Thesis*, Vienna university of technology, Karlsplatz, Wien, Austria, 101 p.
- Walker J P ve Houser P R** (2004) Requirements of a global near-surface soil moisture satellite mission: accuracy, repeat time, and spatial resolution. *Adv. Water Resour.*, 27: 785-801.
- Wallhan E F** (1939) Use of tensiometers for soil moisture measurements in ecological research. *Ecology*, 20: 403–412.
- Wang C ve Qi J** (2000) Soil moisture extraction in sparse vegetated area using SAR and TM data. In Proceedings of the *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS 2000)*, Honolulu, HI, USA, Vol. 3, pp. 1265-1267.
- Wang C, Qi J, Moran S ve Marsett R** (2004) Soil moisture estimation in a semiarid rangeland using ERS-2 and TM imagery. *Remote Sens. Environ.*, 90: 178-189.
- Weimann A, Von Schonermark A, Schumann A, Jorn P ve Gunther R** (1998) Soil moisture estimation with ers-1 Sar data in the east-german loess soil area. *International Journal of Remote Sensing*, 19 (2): 237–243.
- Werner H** (2002) Measuring Soil Moisture for Irrigation Water Management. *Publication FS 876*, Dakota, SD: College of Agriculture and Biological Sciences, South Dakota State University, 5 p.
- Wickel A J, Jackson T J ve Wood E F** (2001) Multitemporal monitoring of soil moisture with RADARSAT SAR during the 1997 Southern Great Plains hydrology experiment. *Int. J. Remote Sens.*, 22 (8): 1571–1583.
- Worsching H, Becker R, Schlaeger S, Bieberstein A ve Kudella P** (2006) Spatial-TDR moisture measurement in a large scale Levee Model made of loamy soil material. *3rd International Symposium on Time Domain Reflectometry for Innovative Soils Applications*, 17-20 September 2006, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA, Paper ID 33, 15 p.
- Zazueta F S ve Xin J** (1994) Soil Moisture Sensors. *Bulletin 292*. Florida Cooperative Extension Science, Institute of Food and Agricultural Sciences, University of Florida, 11 p.
- Zribi M, Gorrab A, Baghdadi N, Lili-Chabaane Z ve 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.

## KAYNAKLAR (devam ediyor)

**Zribi M, Saux-Picart S, André C, Descroix L, Otte C ve Kallel A (2007)** Soil moisture mapping based on ASAR/ENVISAT radar data over a Sahelian region. *International journal of remote sensing*, 28 (16): 3547-3565.



## ÖZGEÇMİŞ

Alihsan ŞEKERTEKİN 1987'de Iğdır'ın Tuzluca ilçesinde doğdu. İlk ve orta öğrenimini aynı ilçede tamamladı. Tuzluca 100. Yıl Lisesi'nden mezun olduktan sonra 2005 yılında ZKÜ Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü'ne girdi. 2010 yılında Bölüm 1.liği derecesi ile mezun olduktan sonra aynı yıl BEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans programına başladı. 2011 yılında Çukurova Üniversitesi Ceyhan Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü'nde ÖYP araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2012 yılında lisansüstü eğitimini tamamlamak için görevlendirme alarak BEÜ Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği'nde araştırma görevlisi olarak göreve başladı. 2013 yılında yüksek lisans çalışmasını tamamladıktan sonra aynı yıl BEÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı'nda doktora programına başladı. 2018 yılı Ocak ayında kadrosunun bulunduğu Çukurova Üniversitesi Ceyhan Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü'nde Arş. Gör. olarak çalışmaya başladı ve halen devam etmektedir.

### **ADRES BİLGİLERİ:**

Adres: Çukurova Üniversitesi  
Ceyhan Mühendislik Fakültesi  
Harita Mühendisliği Bölümü

Tel: (+90) 531 284 66 87

E-posta: asekerterkin@cu.edu.tr