T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİCLE NEHRİ HAVZASINDA TOPRAK NEM ÖLÇÜMLERİ İLE SAR İMGELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİYİ SAPTAMA VE BU İLİŞKİYE DAYALI TOPRAK NEMİNİN TAHMİNİ

Emrullah ACAR

DOKTORA TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Mayıs - 2017

T.C
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DİCLE NEHRİ HAVZASINDA TOPRAK NEM ÖLÇÜMLERİ İLE SAR İMGELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİYİ SAPTAMA VE BU İLİŞKİYE DAYALI TOPRAK NEMİNİN TAHMİNİ

Emrullah ACAR

DOKTORA TEZİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DİYARBAKIR
Mayıs - 2017

T.C

DİCLE ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜ

DİYARBAKIR

Emrullah ACAR tarafından yapılan "Dicle Nehri Havzasında Toprak Nem Ölçümleri ile SAR İmgeleri Arasındaki İlişkiyi Saptama ve Bu İlişkiye Dayalı Toprak Neminin Tahmini" konulu bu çalışma, jürimiz tarafından Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında DOKTORA tezi olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyesinin

Ünvanı	Adı Soyadı
Başkan:	Prof. Dr. Ziya TELATAR
Üye :	Prof. Dr. Mehmet AKIN
Üye :	Prof. Dr. İbrahim TÜRKOĞLU
Üye :	Doç. Dr. Mehmet Siraç ÖZERDEM
Üye :	Yrd. Doç. Dr. Remzi EKİNCİ

Tez Savunma Sınavı Tarihi: 24/05/2017

Yukarıdaki bilgilerin doğruluğunu onaylarım.

.../...../201..

Doç.Dr. Sevtap SÜMER EKER

ENSTİTÜ MÜDÜR V.

(MÜHÜR)

TEŞEKKÜR

Bu çalışma; TÜBİTAK (No. 114E543), DÜBAP ve TARBİL projeleri kapsamında desteklenmiştir. Desteklerinden ötürü TÜBİTAK'a, TARBİL'e ve DÜ Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğüne teşekkür ederim.

Bu tez çalışması süresince her anlamda yardımını, bilimsel katkılarını ve tecrübelerini hiçbir zaman esirgemeyen değerli danışman hocam Doç. Dr. Mehmet Siraç ÖZERDEM'e, çalışmalarım boyunca her konuda destek veren kıymetli hocam Yrd. Doç. Dr. Ömer Faruk Ertuğrul'a teşekkür ederim.

Tezin hazırlanması sırasında her konuda fedakârlığını gösteren, maddi ve manevi yardımlarını esirgemeyen aileme sonsuz şükranlarımı sunarım.

İÇİNDEKİLER

		Sayfa
TEŞEKKÜR		I
İÇİNDEKİLER		II
ÖZET		IV
ABSTRACT		V
ÇİZELGE LİSTESİ		VI
ŞEKİL LİSTESİ		VII
KISALTMA VE SİMGELER		XI
1.	**GİRİŞ**	1
2.	**KAYNAK ÖZETLERİ**	3
2.1.	Tarımsal Arazilerde Toprak Neminin Önemi	3
2.1.1.	Standart Yöntemlerle Toprak Nem Ölçümü	4
2.1.2.	Uzaktan Algılama Teknolojisi ile Toprak Nemi Tahmini	5
2.2.	Literatür Çalışmaları	7
2.2.1.	Özellik Çıkarma İşlemine Ait Literatür Çalışmaları	7
2.2.1.1.	I. Gruba Ait Literatür Çalışmaları	7
2.2.1.2.	II. Gruba Ait Literatür Çalışmaları	9
2.2.2.	Toprak Nem İnversiyonuna Ait Literatür Çalışmaları	11
2.2.2.1.	III. Gruba Ait Literatür Çalışmaları	11
2.2.2.2.	IV. Gruba Ait Literatür Çalışmaları	13
2.2.2.3.	V. Gruba Ait Literatür Çalışmaları	14
3.	**MATERYAL VE METOT**	19
3.1.	Çalışma Alanı	19
3.2.	SAR Veri Toplama	21
3.3.	Yersel Ölçümler	21
3.4.	Önişlem	22
3.4.1.	Radarsat-2 Verisinin Okunması	22
3.4.2.	Verilerin Kalibrasyonu	23

3.4.3. Çoklu-Bakış……..... 24
3.4.4. Benek Azaltımı……..... 26
3.4.5. Arazi Düzeltme……..... 27
3.5. Özellik Çıkarımı……..... 33
3.5.1. Standart SAR Tekniği ……..... 34
3.5.2. Polarimetrik Ayrıştırma Modelleri…….. 36
3.5.2.1. Geri-Saçılmış Dalgalar……. 36
3.5.2.2. Koherent Ayrıştırma Modelleri ……... 37
- Pauli Ayrıştırma Modeli ……..... 38
3.5.2.3. Koherent Olmayan Ayrıştırma Modelleri ……... 38
- Model Tabanlı (Freeman Durden) Polarimetrik Ayrıştırma Modeli …… 39
- Öz değer ve Öz vektör Temelli (H/A/Alfa) Polarimetrik Ayrıştırma Modeli.. 45
3.6. Toprak Nemi Tahmini için Makine Öğrenme Metodolojileri……..... 49
3.6.1. GRNN İnversiyon Modeli……..... 50
3.6.2. Yayılma Parametresi (ς) Değerinin Seçimi……..... 52
3.6.3. İstatistiksel Hata Metrikleriyle Performans Değerlendirilmesi…… 54
3.6.3.1. Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE) ……..... 54
3.6.3.2. Ortalama Mutlak Hata (MAE) ……..... 55
3.6.3.3. Determinasyon Katsayısı (r^2) ……..... 55
4. BULGULAR VE TARTIŞMA..... 57
4.1. Veri seti 1 Üzerindeki Uygulamalar ……. 57
4.2. Veri seti 2 Üzerindeki Uygulamalar ……. 69
4.3. Veri seti 3 Üzerindeki Uygulamalar ……. 78
4.4. Birleştirilmiş Veri Setleri Üzerinde Uygulamalar…… 86
4.5. Bulguların Değerlendirilmesi……. 89
5. SONUÇ VE ÖNERİLER……..... 95
6. KAYNAKLAR……..... 97
ÖZGEÇMİŞ…….. 104

ÖZET

DİCLE NEHRİ HAVZASINDA TOPRAK NEM ÖLÇÜMLERİ İLE SAR İMGELERİ ARASINDAKİ İLİŞKİYİ SAPTAMA VE BU İLİŞKİYE DAYALI TOPRAK NEMİNİN TAHMİNİ

DOKTORA TEZİ

Emrullah ACAR

DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

2017

Uzaktan algılama teknolojisi; yeryüzündeki arazi kullanımlarının tespiti, arazilerdeki hızlı değişimlerin izlenmesi amacıyla anlık kayıtlarının alınması, doğal kaynakların saptanması gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Günümüzde ve gelecekte uzaktan algılamaya ihtiyaç duyulacak alanlardan biri de artan nüfus ve tarımsal alanlara paralel olarak ileride yetersiz kalabilecek su kaynaklarının tarımsal arazilerde doğru bir şekilde kullanılmasını sağlamaktır. Topraktaki su içeriği, toprağın geri saçılma katsayısını önemli ölçüde etkilediğinden, yersel toprak nemi ölçümleri ile uzaktan algılama verileri arasındaki ilişkilendirilme toprak neminin kısa sürede tahmin edilmesini sağlayabilmektedir. Ayrıca, elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde faaliyet gösteren SAR sensörleri toprak içeriğindeki nem değişimlerine karşı hassas olduklarından dolayı, bu sensörlerin toprak nemi tahmininde kullanımı daha uygundur. Dolayısıyla, bir SAR radarı olan Radarsat-2 toprak neminin tahmini için bu çalışmada kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasının temel amacı, yersel nem ölçümleri ile Radarsat–2 verileri arasındaki ilişkiyi belirlemek; çorak ve/veya bitki örtüsü kaplı tarım alanları üzerindeki toprak rutubetini belirlenen ilişkiye dayanarak tahmin etmektir. Çalışma dört aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada; Radarsat-2 verileri farklı tarihlerde elde edilmiş ve yersel toprak nem ölçümleri bu verilerin temini ile aynı anda gerçekleştirilmiştir. İkinci aşamada; Radarsat–2 verileri önişleme tabi tutulmuş ve her bir toprak numunesinin alındığı noktaların GPS koordinatları bu verilere aktarılmıştır. Sonraki aşamada; öznitelik çıkarma işlemi için ön işlemi tamamlanmış Radarsat–2 verilerine standart sigma geri saçılma katsayıları ile Freeman-Durden ve H / A / α polarimetrik ayrışma modelleri uygulanmış; her örüntü için 10 geri saçılma katsayısına sahip bir öznitelik vektörü oluşturulmuştur. Son aşamada, elde edilen özellik vektörlerinden bölgesel toprak nemini elde etmek için doğrusal olmayan bir makine öğrenme modeli: Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı (GRNN) kullanılmıştır.

Yapılan çalışmalar neticesinde, önerilen sistem ile çorak ve bitkisel tarım alanları üzerinde C-bantlı SAR verileri iyi sonuçlar vermiştir. Elde edilen bu sonuçlar, radarın toprak nem tahmini için güçlü bir uzaktan algılama aracı olduğunu ve veri setleri 1–3 üzerinde sırasıyla %2.31, % 2.11 ve %2.10; veri setleri 1&2, 2&3, 1&3 ve 1&2 &3 üzerinde ise sırasıyla %2.46, %2.70, %7.09 ve %5.70 ortalama mutlak hatalar verdiğini göstermiştir.

Anahtar Kelimeler: Uzaktan Algılama, Toprak Nemi, Tahmin, Regresyon, Polarimetrik Ayrıştırma, Radarsat-2, Freeman- Durden, H / A / α, GRNN

ABSTRACT

DETERMINING A RELATIONSHIP BETWEEN MEASURED GROUND SOIL MOISTURES AND SAR DATA IN THE TIGRIS BASIN AND ESTIMATING THE SOIL MOISTURES ON THE BASIS OF THIS RELATIONSHIP

PhD THESIS

Emrullah ACAR

DEPARTMENT OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERING
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
UNIVERSITY OF DICLE

2017

The remote sensing technology is used in many areas such as determining the land parts used on the earth, monitoring the rapid changes and obtaining instant records in lands, detecting and usage of natural resources. Due to the increasing of population and agricultural areas, the capacity of water resources will not be sufficient for irrigation. Therefore; the remote sensing technology will be needed either now or in the future to ensure proper information about using of water resources in the agricultural lands. Since the water content in the soil significantly affects the backscattering coefficient of the soil, the relationship between ground soil moisture measurements and the remote sensing data enables the soil moisture estimation in a short period of time. Moreover, the use of SAR sensors in soil moisture estimation is more appropriate because these sensors operating in the microwave range of electromagnetic spectrum which is sensitive to changes in the soil moistures. Therefore, SAR based Radarsat-2 was used in this study for soil moisture estimation.

The main purpose of the thesis study is to determine a relationship between the ground soil moisture measurements and Radarsat-2 data; estimating the soil moisture over bare and/or vegetated agricultural areas on the basis of the determined relationship. The study consists of four stages. In the first stage; the Radarsat-2 data was obtained at different dates and the ground measurements were carried out simultaneously with the Radarsat-2 data acquisition. In the second phase; the Radarsat-2 data has been pre-processed and the GPS coordinates of the points where each soil sample was taken were transferred to this data. After pre-processing step; the standard sigma backscattering coefficients with the Generalized Freeman Durden and H/A/α polarimetric decomposition models were utilized to extract feature vectors and a feature vector with 10 backscattering coefficients was formed for each pattern. In the last phase, a nonlinear machine learning model: Generalized Regression Neural Network (GRNN) was used to estimate the regional soil moisture content from the obtained feature vectors.

As a result of the study, the proposed system performed good results for single C-band SAR data over the bare and vegetated agricultural fields. Moreover, the results showed that the radar is a powerful remote sensing tool for the soil moisture estimation, with mean absolute errors around 2.31%, 2.11 and 2.10 vol.% on datasets 1-3, respectively; and 2.46 %, 2.70 %, 7.09%, and 5.70 vol.% on datasets 1&2, 2&3, 1&3, and 1&2&3, respectively.

Key Words: Remote Sensing, Soil Moisture, Estimation, Regression, Polarimetric Decomposition, Radarsat-2, Freeman-Durden, H/A/α and GRNN

ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge No		Sayfa
Çizelge 3.1.	Temin edilen Radarsat-2 uydu görüntülerinin genel görünümü	21
Çizelge 3.2.	Yersel Toprak Nemi (TN) ölçümleri hakkında genel bilgiler	22
Çizelge 4.1.	Yayılma parametresinin Veri seti 1 üzerindeki etkisi	60
Çizelge 4.2.	Yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemleri (TN) arasındaki istatistiksel ilişki	90
Çizelge 4.3.	SAR esaslı verilerle toprak neminin tahmininde farklı yaklaşımların karşılaştırılması.	93

ŞEKİL LİSTESİ

Şekil No		Sayfa
Şekil 3.1.	Önerilen tahmin modelinin mimari yapısı	19
Şekil 3.2.	Çalışma alanının lokasyonu (a) Radarsat-2 görüntüsü (b) Google Earth görüntüsü üzerinde sunulmuştur. Siyah dikdörtgen alanlar iki deney sahasının kapsama alanını belirtmektedir.	20
Şekil 3.3.	Diyarbakır iline ait 27.02.2015 tarihli ve vh polarizasyonlu fine-quad Radarsat-2 SLC görüntüsü	23
Şekil 3.4.	Diyarbakır iline ait 27.02.2015 tarihli ve vh polarizasyonlu fine-quad Radarsat-2 görüntüsünün kalibrasyonu	24
Şekil 3.5.	Diyarbakır iline ait 27.02.2015 tarihli ve kalibrasyonu yapılmış vh polarizasyonlu fine-quad Radarsat-2 görüntüsünde çoklu-bakış işlemi	25
Şekil 3.6.	Çoklu-bakış işlemi sonrası oluşturulmuş 27.02.2015 tarihli Radarsat-2 görüntüsünün yakınlaştırılması	26
Şekil 3.7.	Diyarbakır iline ait 27.02.2015 tarihli, kalibrasyonu ve çoklu-bakış işlemi yapılmış vh polarizasyonlu fine-quad Radarsat-2 görüntüsüne benek filtresinin uygulanması	27
Şekil 3.8.	SAR geometrik bozulmalar (a) Kısaltım (b) Örtüşme (c) Gölgeleme	28
Şekil 3.9.	Diyarbakır iline ait 27.02.2015 tarihli, çoklu-bakış ve filtreleme işlemi yapılmış vh polarizasyonlu Radarsat-2 görüntüsüne arazi düzeltme işleminin uygulanması	29
Şekil 3.10.	27.02.2015 tarihli arazi düzeltme işlemi yapılmış vh polarizasyonlu fine-quad Radarsat-2 verisine ait üç farklı (r=hh; g=vh; b=hh/hv) bandın birleştirilmesiyle elde edilen dualpol hh+vv rgb görüntüsü	30
Şekil 3.11.	27.02.2015 tarihli önişlemi yapılmış fine-quad Radarsat-2 verisine ait üç farklı (r=hh; g=hv; b= hh/hv) bandın birleştirilmesiyle elde edilen (dual pol hh+hv) rgb görüntüsü ve çalışma alanına ait gps noktaları	31
Şekil 3.12.	08.04.2015 tarihli önişlemi yapılmış fine-quad Radarsat-2 verisine ait üç farklı (r=hh; g=hv; b= hh/hv) bandın birleştirilmesiyle elde edilen (dual pol hh+hv) rgb görüntüsü ve çalışma alanına ait gps noktaları	32
Şekil 3.13.	10.06.2015 tarihli önişlemi yapılmış fine-quad radarsat-2 verisine ait üç farklı (r=hh; g=hv; b= hh/hv) bandın birleştirilmesiyle elde edilen (dual pol hh+hv) rgb görüntüsü ve çalışma alanına ait gps noktaları	33
Şekil 3.14.	(a) Kaba bir yüzeyden dağınık saçılmayı, (b) Pürüzsüz bir yüzeyden aynasal saçılmayı, (c) Zemin ve bir ağaç gövdesinden çift saçılmayı ve (d) Bitki kanopisinden geriye doğru hacimsel saçılmayı göstermektedir.	37
Şekil 3.15.	Üç temel saçılma mekanizması	40

Şekil 3.16. Dipol ile radar görüş çizgisi arasındaki ϑ açılı yönelme 40

Şekil 3.17. H/α düzlemine ait bölgelerin fiziksel özellikleri 47

Şekil 3.18. GRNN model mimarisi 51

Şekil 3.19. Küçük bir saçılma parametresi ile GRNN tahmini, $\varsigma = 0.03$ 53

Şekil 3.20. Büyük bir saçılma parametresi ile GRNN tahmini, $\varsigma = 1$ 53

Şekil 4.1. 27.02.2015 tarihli RADARSAT-2 verisine Freeman-Durden polarimetrik ayrıştırma modeli uygulandıktan sonra oluşturulan RGB görüntüsü (R=Çift sıçrama; G=Hacim; B= Yüzey saçılmaları) 58

Şekil 4.2. 27.02.2015 tarihli RADARSAT-2 verisine H/A/α polarimetrik ayrıştırma modeli uygulandıktan sonra elde edilen RGB görüntüsü (R=H; G=A; B= α) 59

Şekil 4.3. Veri seti 1 için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi (TN) verileri arasındaki ilişki 61

Şekil 4.4. Veri seti 1 için 1. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 62

Şekil 4.5. Veri seti 1 için 2. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 62

Şekil 4.6. Veri seti 1 için 3. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 63

Şekil 4.7. Veri seti 1 için 4. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 63

Şekil 4.8. Veri seti 1 için 5. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 64

Şekil 4.9. Veri seti 1 için 6. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 64

Şekil 4.10. Veri seti 1 için 7. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 65

Şekil 4.11. Veri seti 1 için 8. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 65

Şekil 4.12. Veri seti 1 için 9. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 66

Şekil 4.13. Veri seti 1 için 10. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 66

Şekil 4.14. Veri seti 1 için 11. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 67

Şekil 4.15. Veri seti 1 için 12. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 67

Şekil 4.16. Veri seti 1 için 13. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 68

Şekil 4.17. Veri seti 1 için 14. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 68

Şekil 4.18. 08.04.2015 tarihli RADARSAT-2 verisine Freeman-Durden polarimetrik ayrıştırma modeli uygulandıktan sonra oluşturulan RGB görüntüsü (R=Çift sıçrama; G=Hacim; B= Yüzey saçılmaları) 69

Şekil 4.19. 08.04.2015 tarihli RADARSAT-2 verisine H/A/α polarimetrik ayrıştırma modeli uygulandıktan sonra elde edilen RGB görüntüsü (R=H; G=A; B= α) 70

Şekil 4.20. Veri seti 2 için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi (TN) verileri arasındaki ilişki 71

Şekil 4.21. Veri seti 2 için 1. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 72

Şekil 4.22. Veri seti 2 için 2. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 73

Şekil 4.23. Veri seti 2 için 3. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 73

Şekil 4.24. Veri seti 2 için 4. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 74

Şekil 4.25. Veri seti 2 için 5. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 74

Şekil 4.26. Veri seti 2 için 6. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 75

Şekil 4.27. Veri seti 2 için 7. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 75

Şekil 4.28. Veri seti 2 için 8. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 76

Şekil 4.29. Veri seti 2 için 9. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 76

Şekil 4.30. Veri seti 2 için 10. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 77

Şekil 4.31. Veri seti 2 için 11. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 77

Şekil 4.32. 10.06.2015 tarihli RADARSAT-2 verisine Freeman-Durden polarimetrik ayrıştırma modeli uygulandıktan sonra oluşturulan RGB görüntüsü (R=Çift sıçrama; G=Hacim; B= Yüzey saçılmaları) 78

Şekil 4.33. 10.06.2015 tarihli RADARSAT-2 verisine H/A/α polarimetrik ayrıştırma modeli uygulandıktan sonra elde edilen RGB görüntüsü (R=H; G=A; B= α) 79

Şekil 4.34. Veri seti 3 için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi (TN) verileri arasındaki ilişki 80

Şekil 4.35 Veri seti 3 için 1. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 81

Şekil 4.36 Veri seti 3 için 2. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 81

Şekil 4.37 Veri seti 3 için 3. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 82

Şekil 4.38 Veri seti 3 için 4. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 82

Şekil 4.39 Veri seti 3 için 5. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 83

Şekil 4.40 Veri seti 3 için 6. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 83

Şekil 4.41 Veri seti 3 için 7. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 84

Şekil 4.42 Veri seti 3 için 8. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 84

Şekil 4.43 Veri seti 3 için 9. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 85

Şekil 4.44 Veri seti 3 için 10. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 85

Şekil 4.45 Veri seti 3 için 11. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 86

Şekil 4.46 Birleştirilmiş veri setleri 1& 2 için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 87

Şekil 4.47 Birleştirilmiş veri setleri 1 & 3 için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 88

Şekil 4.48 Birleştirilmiş veri setleri 2 & 3 için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 88

Şekil 4.49 Birleştirilmiş veri setleri 1&2& 3 için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki 89

KISALTMA VE SİMGELER

A : Anizotropi

AIEM : İleri İntegral Eşitlik Modeli

α : Polarimetrik Açı, Tekli Saçılma

β : Çift Saçılma

C : Kovaryans Matrisi

DEM : Dijital Yükseklik Modeli

ERS : Avrupa Uzaktan Algılama

FDR : Frekans Etkili Yansımaölçer

γ : Hacim Saçılması

γH : Yayılım Zayıflaması Etkisi

γV : Faz Değişimi Etkisi

GPS : Coğrafi Pozisyon Sistemi

GRNN : Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı

H : Entropi

HH : Yatay-Yatay

HV : Yatay-Dikey

ICA : Bağımsız Bileşenler Analizi

IEM : İntegral Eşitlik Modeli

L : Çoklu Bakış Sayısı

LR : Lojistik Regresyon

SVM : Destek Vektör Makinesi

μ : Ortalama

MLP : Çok Katmanlı Algılayıcı

MSE : Ortalama Karesel Hata

NDVI : Normalize Edilmiş Fark Vejetasyon İndeksi

n : Örnek Sayısı

PDF : Olasılık Yoğunluk Fonksiyonu

r : Korelasyon Katsayısı

r^2 : Determinasyon Katsayısı

R_H : Yatay Polarizasyonlu Yansıma Katsayısı

R_V : Dikey Polarizasyonlu Yansıma Katsayısı

RMSE : Kök Ortalama Karesel Hata

σ : Sigma Geri Saçılma Katsayısı

ς : GRNN Yayılma Parametresi

SAR : Sentetik Açıklıklı Radar

SVM : Destek Vektör Makinesi

ϑ^o : Radar Dikey Eksen Dönme Açısı

S : Saçılma

SFS : Sıralı İleri Seçim

T : Koherent Matrisi

TDR : Zaman Etkili Yansımaölçer

Vol. : Hacim

VH : Dikey-Yatay

VV : Dikey-Dikey

YSA : Yapay Sinir Ağları

1. GİRİŞ

Bu bölümde tezin adı, amacı, önemi ve içeriği temel hatları ile anlatılmıştır. Tezin konusu uzaktan algılama teknolojilerini kullanarak Dicle havzasında toprak nem ölçümleri ile Radarsat-2 arasındaki ilişkiyi saptama ve bu ilişkiye dayalı toprak neminin tahmin edilmesidir. Bu çalışmada, toprak nem tahmini disiplinler arası çalışmalar ile farklı bir boyuttan değerlendirilmiştir.

Bu tez çalışmasının amacı, bitkisel üretim için hayati önem taşıyan toprak nem içeriğinin daha hızlı ve güvenilir bir şekilde saptanabilmesi için radar uzaktan algılama verilerinden elde edilen geri saçılma katsayıları ve yerel toprak nem ölçümleri arasındaki ilişkiyi saptamak; saptanan ilişkiye dayalı olarak bölgesel toprak nemini tahmin etmektir.

Bu çalışma; TÜBİTAK (No. 114E543) araştırma projesi, DUBAP ve TARBIL projeleri kapsamında bir eklem niteliğinde olup bu projelerin hedeflerinden bazıları bu tezde amaçlanmıştır. Bu tez çalışmasının aşağıda belirtilen noktalara katkı sağlayacağı düşünülmektedir.

a) Bitkilerde oluşabilecek nem kaynaklı hastalıkların önüne geçmek.

b) Tarımda bölgesel doğal su kaynaklarının doğru kullanılmasını sağlamak.

c) Sulu ve kuru tarımsal araziler için gerekli olan en uygun su miktarının otomatik tespitini sağlamak.

d) Küresel ısınma ile dönemsel kuraklıklara bağlı olarak sulamanın ekonomik kullanımını teşvik etmektir.

Ayrıca, Radarsat-2 uzaktan algılama verilerinden elde edilen geri saçılma parametreleri ile yersel toprak nem ölçümleri arasındaki ilişkiyi saptamak ve saptanan ilişkiye dayalı olarak toprak nemini tahmin etmek amacıyla hazırlanan bu tez aşağıda anlatıldığı şekilde organize edilecektir.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, SAR tabanlı uzaktan algılama teknikleriyle toprak neminin tahmini için geçmişten günümüze yapılmış çalışmalar ve bununla ilgili literatür taramalarından bahsedilmiştir.

Üçüncü bölümünde, uydunun bölgeden geçiş dönemi, tarih, mevsim, ekinin durumu dikkate alınarak uydu görüntülerinin nasıl elde edildiği ve kayda alınan Radarsat-2 imgelerinin distorsiyonlardan arındırılması için çeşitli önişlemlerden söz edilmiştir. Radarsat-2 verilerinden özellik çıkarma aşamasında ise sigma geri saçılma katsayıları ile beraber Freeman Durden ve H/A/α polarimetrik ayrıştırma yöntemlerinden bahsedilmiştir. Son olarak, elde edilen özellik vektörlerinden toprak neminin tahmini için Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı (GRNN) modeli açıklanmıştır.

Bu tezin dördüncü bölümünde, toprak nem tahmini için yapılan uygulamaların detayları anlatılmıştır. Uygulama alanı olarak Dicle Havzası üzerindeki iki tarımsal arazi temel alınmış ve bu arazilerden Radarsat-2 uydusunun bölgeden geçişleri dikkate alınarak veri setlerinin nasıl oluşturulduğu izah edilmiştir. Yersel ölçümlerle tahmin edilen nem değerleri arasındaki ilişki ve bu ilişkiye ait istatistiksel sonuçların bulunduğu tablo ve grafikler bu kısımda sunulmuştur. Ayrıca, elde edilen bulgular tartışılmış ve bu bulguların literatürdeki benzer çalışmalarla karşılaştırılması yapılmıştır.

Tezin son bölümünde ise, önerilen sistemin katkıları kısaca vurgulanmıştır. Ayrıca bu sonuçların hali hazırda devam etmekte olan TUBİTAK ve TARBİL projeleri ile bütünleştirilerek ileriki aşamalarda daha kapsamlı bir sonuca gidilmesi planlanmaktadır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. Tarımsal Arazilerde Toprak Neminin Önemi

Bitkisel üretimin temel faktörlerinden biri olan suyun var olan potansiyelinin bilinmesi ve zirai üretim alanlarında kullanımının planlanması birçok alanda önemli rol oynamaktadır. Özellikle günümüzde var olan ileride de artması öngörülen kuraklık durumu zararlarının en aza indirgenmesi, toprak nem düzeyinin hızlı ve güvenilir bir biçimde belirlenebilmesi ile mümkündür (Idso ve ark. 1975). Kuraklık gibi olumsuz koşullarda bitkisel üretimin arttırılmasına katkı sağlamak tezimizin hedefini oluşturmaktadır.

Toprak su içeriği olarak bilinen toprak nemi, genellikle toprak parçacıkları arasında bulunan su miktarı olarak tanımlanır (Shang ve ark. 2007). Tarımsal alanlara ait toprak yüzey nem değerlerinin bilinmesi; olumsuz koşullarda bitkisel üretimi artırmaya katkı sağlaması; su tüketiminin kontrol edilmesi; fazla sulama nedeni ile oluşan tuzluluğun önlenmesi; tarım alanlarının korunması; sulama sisteminin verimli olarak kullanılması, yetişen ürünün verim ve kalitesinin artması yönünden önem taşımaktadır (Idso ve ark. 1975).

Bitkiler topraktaki suyun tamamından faydalanamazlar. Yapılan çalışmalara göre bitki gelişiminde topraktaki en uygun kullanılabilir su miktarının %25 ile %75 arasında olması gerekmektedir. Dolayısıyla, sulama zamanının gelip gelmediğini anlamak için topraktaki su oranı bilinmelidir (Anonim 2005).

Bitki gelişim ortamına etki eden özelliklerin belirlenmesinde, toprağın yıl boyunca nem değişimi en önemli karakteristik özelliği oluşturmaktadır. Bu ortam için gerekli nem miktarı, arazilerde belirli derinliklerde toprak profili açılarak alınan toprak numunelerinin gravimetrik yöntemlerle incelenmesiyle belirlenmektedir (Günlü ve ark. 2010).

Toprak neminin geniş tarımsal araziler üzerinde gravimetrik yöntemler ile ölçülmesi; oldukça zaman alıcı, pahalı ve emek yoğun bir çalışma gerektirmektedir. Günümüzde modern ölçüm aletleri toprak nem ölçüm sürecini kolaylaştırmasına

rağmen bu aletler ile yersel ölçümler hala zaman alıcı ve masraflı olup doğrudan gravimetrik yöntemlerin kalibrasyona ihtiyacı vardır (Musaoğlu 1999). Kalıcı cihazların kurulumu toprak nem ölçümü için gerekli çabayı azaltmasına rağmen, bu yöntem ile büyük alanların toprak nem haritasının çıkarılması pratik bir yöntem değildir. Ayrıca, yersel toprak nemi ölçümünde her ölçüm sadece küçük bir bölgede, yaklaşık birkaç santimetrelik alana ait toprak nem değerini temsil ettiğinden dolayı bu durum dezavantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle, zemin ölçümleri kullanarak toprak nem haritalarının oluşturulması çok zordur (Günlü 2009).

Bunun aksine uzaktan algılama verileri ile kısa sürede daha düşük maliyetle başarılı sonuçlar elde edilmektedir. Topraktaki nem toprağın saçılma özelliklerini önemli ölçüde etkilediğinden dolayı az sayıda yersel ölçüm ile uzaktan algılama verileriyle yersel ölçümler arasında korelâsyonun kurulması, toprak su içeriğinin kısa sürede kestirilmesini sağlayabilmektedir (Musaoğlu 1999; Günlü 2009).

Genel olarak toprak nem değerinin hesaplanması iki temel kategoride ele alınmış ve konuyla ilgili açıklamalar aşağıda verilmiştir.

2.1.1. Standart Yöntemlerle Toprak Nem Ölçümü

Günümüzde, yersel toprak nem değerlerinin hesaplanmasında farklı birçok cihaz kullanılmasına rağmen bu cihazların güvenilirliği hala tartışılmaktadır. Çünkü bu cihazların çalışma prensipleri, nasıl kullanılması gerektiği, bakımları, ölçüm güvenilirliklerinin nasıl sağlanacağı ve ölçümleme yöntemleri kullanıcılar tarafından çok fazla bilinmemektedir (Hanson 2009). Bunların haricinde, farklı yöntemler kullanılarak yersel toprak nem ölçümleri hesaplanabilmektedir. Bu yöntemler; doğrudan (gravimetrik) ve dolaylı (TDR ile ölçme; nötron metreler; tansiyometreler; iletken sensörler; termal sensörler, Campbell FDR (frekans etkili yansımaölçer), kapasitif ölçerler) olarak iki kısımda incelenmiştir. Bu ölçüm metotlarının doğru ve güvenilir olması gerekmektedir (Tülün 2005).

Doğrudan yöntemlerden gravimetrik yöntem ile toprak neminin ölçülmesi, hem ucuz olup hem de kolay hesaplanabilmektedir. Fakat örnek alma gerekliliği; örnek almada yaşanan sıkıntılar ve toprağa verilen zararlar; tekrarlanabilirlik sorunu; kurutma

ve tartım sırasında yaşanan sıkıntılar bu yöntemin güvenirliği ile uygulanabilirliğini sınırlandırmakta ve dezavantaj oluşturmaktadır (Kutilek ve Nielsen 1994; Tülün 2005).

Dolaylı yöntemlerin ise pahalı olması, ince bünyeli topraklarda yeterli hassasiyette sonuç vermemesi; cihazların kullanılması için özel eğitimler ve dikkat gerektirmesi; cihazların pahalı olması; kurulum öncesi zorluklar; bakım gerektirmesi; seramik ucun değdiği noktayı iyi belirleyememesi; toprak yapısına bağlı kalması; belirli nem değerleri altında okuma hataları; kurulumu esnasındaki zorluklar; kaba bünyeli topraklardan doğru ölçüm alınamaması; gömülme esnasında toprakta boşluk kalma riski ve toprağın yapısına göre seçim yapma gerekliliği kullanım dezavantajı olarak karşımıza çıkmaktadır. Nokta tabanlı problardan oluşan çoğu toprak nem ölçme yöntemlerinde arazi veya daha büyük alanların tahmin değerlerini gözlemlemek için karmaşık jeoistatistiksel uygulamalara ihtiyaç duyulmaktadır. Buna ek olarak, toprak neminin yüksek uzamsal ve zamansal değişkenliği nokta tabanlı ölçümlerden büyük ölçekli alanlara doğru tahmin değerini zorlaştırmaktadır (Kachanoski 1988, Tülün 2005).

2.1.2. Uzaktan Algılama Teknolojisi ile Toprak Nemi Tahmini

Uzaktan algılama araçları ile tarımsal araziler üzerinden elde edilen güncel bilgiler, GPS teknolojisiyle beraber kullanıldığında, standart yöntemlere nazaran daha az bir maliyetle, daha kısa bir sürede hedefine ulaşabilmektedir. Ayrıca bu teknolojinin kolay güncellenebilmesi klasik diğer yöntemlere göre büyük bir avantaj sağlamaktadır. Bununla beraber, zorlu coğrafi bölgelerde bile çalışabilme imkânı uzaktan algılama teknolojisinin diğer önemli avantajları olarak sıralanabilmektedir (Kavzoğlu ve Çölkesen 2011).

Uzaktan algılama verileri ile elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerini kullanarak toprak neminin tahmini için çalışmalar yapılmaktadır. Mikrodalga sensörleri, toprak nem içeriğindeki değişimlere karşı hassas olduklarından dolayı, bu sensörlerin toprak nem tahmininde kullanımı daha uygundur. Dolayısıyla, elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesinde çalışan, hava koşullarından çok az etkilenip tarımsal amaçlı toprak nemi izleme için yüksek çözünürlüklü uygun görüntüler üretebilen

Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) sensörü; tarımsal izleme, bitki büyümesi, verim, haritalama ve toprak neminin tahmini için kullanılmaktadır (Tehrani 2014).

Bugüne kadar geliştirilen uzaktan algılama sensörlerinin farklı türleri arasında, SAR sensörleri (ERS-1/2, Radarsat-1, Radarsat-2, Envisat-Asar) havza ölçekli toprak nemi tahminlerinde çok büyük bir potansiyele sahiptir (Moran ve ark. 2004). Bu çalışmada toprak neminin tahmini için Radarsat-1'in devamı olan ve farklı olarak tam polarimetrik (vv, vh, hv, hh) sağ bakışın yanı sıra sol bakışlı bir SAR sensörüne sahip olan Radarsat-2 verileri kullanılmıştır. Sadece C bandında algılama yapabilen Radarsat-2; 3 metreye kadar yüksek çözünürlük, esnek polarizasyon seçimleri, çift bakışlı görüntüleme seçenekleri, yüksek kalitede veri depolama ve daha hassas ölçümler sağlayabilmektedir (Kavzoğlu ve Çölkesen 2011).

Radar görüntüleme sistemlerinde, yeryüzüne dalgalar halinde gönderilen elektromanyetik dalgaların geri saçılma şiddeti ve seyahat süreleri kaydedilmektedir. Böylece, hedefteki objenin özellikleri ve yeryüzünün yükseklik bilgisi hakkında bilgi sağlanabilmektedir. Geri saçılan dalgaların şiddetini etkileyen en önemli faktör, objelerin dielektrik katsayısı olup, genellikle bu katsayı objenin nemlilik derecesiyle ilgilidir. Örneğin, suyun dielektrik katsayısı (~ 80) ile kuru toprağın dielektrik katsayısı (3-5) arasında yüksek zıtlık farkı vardır. Bu durum toprağın nem içeriğinin belirlenmesini Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) verileri ile duyarlı hale getirmiştir (Ulaby ve ark. 1986), (Engman ve Chauhan 1995).

Toprak neminin belirlenmesi, zamansal ve uzamsal değişkenliğinden dolayı karmaşık bir işlem gerektirmektedir. Bir toprağın nem içeriği değişimlerini belirlemek için fiziksel özellikler (eğim, toprak dokusu, toprak strüktürü, porozite, toprak havası, organik madde içeriği) önemli faktörlerdir. Bu faktörlerin kendi aralarındaki etkileşimlerinden dolayı toprağın nem içeriğinin evrimini tahmin etmek daha zordur. Bu yüzden, uzaktan algılama sistemlerinin sağladığı sin optik görüş ve çeşitli mekânsal ve zamansal çözünürlükteki görüntü verileri, büyük ölçekli toprak nem değerlerinin tahmin edilmesinde önemli veri kaynaklarıdır (Hassan-Esfahani ve ark. 2015).

2.2. Literatür Çalışmaları

Bu bölümde, Radarsat-2 verileri kullanılarak yalın ve bitki örtüsüyle kaplı tarımsal araziler üzerindeki toprak neminin tahmini için gerekli literatür taramaları yapılmış ve yapılan bu çalışmaların genel olarak beş ana grupta toplandığı saptanmıştır. Bu gruplar sırasıyla; geri saçılma teknikleri ile özellik çıkarma (I. ve II. Grup) ve farklı inversiyon modelleri ile toprak neminin tahminidir (III- IV ve V. Grup).

2.2.1. Özellik Çıkarma İşlemine Ait Literatür Çalışmaları

Bitki örtüsüyle kaplı tarımsal alanlar üzerinde toprak neminin tahmini karmaşık bir işlem gerektirdiğinden dolayı bu şartlar altında toprak nem tahmini oldukça zordur. Bu durumun nedeni, bitki örtüsünden kaynaklı geri saçılmaların hedef noktadan yansıyan saçılmalara etki etmesidir. Bitki kanopilerinden yansıyan saçılmaların etkisini ortadan kaldırmak ve SAR verilerinden özellik vektörü çıkarmak için literatürde iki farklı saçılma modeli kullanılmıştır. Bu modeller sırasıyla; polarimetrik ayrıştırma modelleri (I.Grup) ve çoklu konfigürasyon SAR tekniklerinden (II.Grup) oluşmaktadır. Her bir gruba ait literatür taraması aşağıda özetlenmiştir.

2.2.1.1. I. Gruba Ait Literatür Çalışmaları

Polarimetrik ayrıştırma modelleri, farklı tabakalardaki geri saçılma matrislerini tek sıçrama, çift sıçrama ve hacimsel saçılmalar gibi bazı özel saçılma mekanizmalarına ayrıştırıp bu mekanizmalardan farklı saçılma parametreleri oluşturmak için kullanılan bir saçılma tekniğidir (Yang ve ark. 2015).

Literatürde polarimetrik ayrıştırma modelleri, Koherent (Pauli, Krogager, Cameron, Touzi) ve Koherent olmayan (Freeman Durden, Yamaguchi; Fenomenolojik Huynen, H/A/α) iki temel ayrıştırma yaklaşımına dayanmaktadır. Bu ayrıştırma teknikleri arasında; H/A/α, Freeman-Durden, Krogager, Touzi ve Yamaguchi, özellik çıkarma işlemi için en yaygın kullanılan modellerdir (Anonim 2016).

Polarimetrik ayrıştırma modelleri ile SAR verilerinden özellik çıkarma işlemi için çeşitli literatür taramaları yapılmış ve konuyla ilgili bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Hajnsek ve ark. (2000), bitki örtüsünün hâkim olduğu tarımsal araziler üzerinde farklı yöntemlere dayalı polarimetrik ayrıştırma modelleri ile toprak yüzeyinin nemini tahmin eden bir inversiyon modelini önermişlerdir. Ayrıca, L-bantlı PolSAR görüntüleri yardımıyla bitki örtüsü varlığında toprak-nem tahmini sorununu araştırmışlardır. Daha sonra, polarimetrik ayrışma modellerine ait her bir saçılma bileşeninin performansını ve modifikasyonunu tartışmış; elde edilen yüzey ve dihedral bileşenler ile yüzey toprak nemini tahmin etmişlerdir.

Jagdhuber ve ark. (2013), çoklu açılı polarimetrik ayrıştırma modelini kullanarak L-bandındaki tam polarimetrik Sentetik Açıklık Radarı (SAR) verilerinden düşük bitki örtüsü altında hacimsel toprak neminin tahminini araştırmışlardır. Çalışmalarında, çoklu açısal gözlem çeşitliliğinin, toprak nem tahmini için bilgi alanını daha da arttırıp daha yüksek tahmin oranları ile kararlı bir performans sağladığı gözlemlemişlerdir. Sonuç olarak, çeşitli bitki tiplerine sahip tüm test sahaları dâhil olmak üzere yersel nem ve tahmini nem ölçümleri arasında % 6- 8 vol.(hacim) ile bir RMSE hatası bulmuşlardır.

Jagdhuber ve ark. (2014), model tabanlı ve öz vektör- öz değer tabanlı hibrid polarimetrik ayrıştırma yöntemlerini araştırmışlardır. Sonuç olarak, toprak neminin tahmini için yüksek bir inversiyon oranı tespit etmiş fakat önermiş oldukları hibrid modelin geçerliliğinin L bandındaki SAR verileri için sınırlı olduğunu gözlemlemişlerdir.

Xiaodong ve ark. (2016), C bandı Radarsat-2 verileri ile toprak nemini tahmin etmek için toprak ve bitki örtüsünün neden olduğu yüzey ve hacim saçılmalarını göz önüne alan uyarlanabilir iki bileşenli bir ayrıştırma modeli geliştirmişlerdir. Daha sonra, önerdikleri modeli doğrulamak için 2013 ve 2015 yılları arasında beş adet tam polarimetrik Radarsat-2 verisi kullanmışlardır. Sonuç olarak, önermiş oldukları modelin tahmin değerleri ile yersel ölçümler arasındaki korelâsyon diğer klasik ayrıştırma modellerine kıyasla daha tutarlı sonuçlar vermiştir.

Ayrıca, bu grup kapsamında değerlendirilebilecek benzer literatür çalışmaları Freeman-Durden (1998), Cloude ve ark. (1997), Yamaguchi ve ark. (2005), Hajnsek ve ark. (2009)'dir.

2.2.1.2. II. Gruba Ait Literatür Çalışmaları

Bunların dışında, SAR verilerinin artan varlığı ile birlikte toprak yüzey karakteristiğinin bitki örtüsünden ayrılabilmesi için alternatif olarak çoklu konfigürasyon (çoklu geliş açısı, çoklu kutup ve çoklu frekans) SAR verileri kullanılmış ve konuyla ilgili birçok çalışma yapılmıştır (Zribi ve ark. 2005), (Baghdadi ve ark. 2006, 2012), (Pierdicca ve ark. 2008), (Srivastava ve ark. 2009), (Bourgeau-Chavez ve ark. 2013). Bu çalışmaların bazıları aşağıda sunulmuştur.

Peplinski ve ark. (1995) farklı toprak tiplerinin dielektrik özelliklerini ve bu özelliklerin geri saçılma katsayısı üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Daha sonra, toprak yapısı ve hacimsel nem içeriğinin dielektrik katsayısı üzerinde bir etkisi olduğunu gözlemlemişlerdir. Buna ek olarak, kil çeşitlerinin toprağın dielektrik katsayısını etkilediğini ve her biri toprak türünün farklı dielektrik katsayısına sahip olduğunu vurgulamışlardır. Ayrıca, kil spesifik yüzey alanı genişledikçe, dielektrik iletkenliğinin doğrusal bir şekilde arttığı gözlemlenmiştir.

Romshoo ve ark. (2002) zamansal izleme için ERS-2 SAR uydu verilerinin bir zaman serisini kullanarak, Sukhothai bölgesinde toprak nemini tahmin etmeye çalışmışlardır. Sonuç olarak, SAR verilerine ait geri saçılma katsayıları ile çalışma alanındaki hacimsel toprak nem değerleri arasında bir korelâsyon olduğu gözlemlenmiştir.

Shao ve ark. (2003) deneysel olarak nemli ve tuzlu toprakların dielektrik özelliklerindeki değişimi araştırmış ve örnekler bir tuz gölünden alınmıştır. Sonuç olarak, toprağın tuzlu içeriğinin artmasına bağlı olarak geri saçılma katsayısının da arttığını tespit etmişlerdir.

Zribi ve ark. (2005) ENVISAT-ASAR imgelerini kullanarak Fransa'nın Beauce bölgesindeki Villamblain test alanının toprak yüzey nemini tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmada, 8 adet çok yönlü ENVISAT-ASAR imgesi kullanılmış olup gerçek toprak nemi ve radar sinyalleri arasında bir korelâsyon kurulmuştur. Daha sonra, İşlenmiş radar sinyalleri ve ortalama toprak nem değerleri arasında 0.97 oranında yüksek bir korelâsyon sağlanmış ve buna bağlı olarak yüzey toprak nemi tahmin edilmiştir.

Alvarez- Mozoj ve ark. (2005), Radarsat-1 imgelerini kullanarak Kuzey İspanya bölgesinin Navarre bölümünde toprak yüzey nemini tahmin etmeye çalışmışlardır. Çalışmada, 5 adet Radarsat-1 imge seti analiz edilmiş olup (Kuzey İspanya) Navarre Deneysel havzası üzerinden elde edilen toprak nem ölçümleri ile karşılaştırılmıştır. Nokta ölçekli, alan ölçekli ve havza ölçekli olmak üzere üç ayrı ölçekte elde edilmiş toprak nem ölçümleri ve radar geri saçılma katsayıları arasındaki ilgileşim (Korelâsyon) incelenmiştir. Yüzey pürüzlülük parametrelerinin uzamsal değişkenliği değerlendirilerek toprak nem tahmini üzerindeki etkisi analiz edilmiştir. Mevcut tahıl bitki örtülerinin de etkisi "Su Bulutu" modeli ile giderilmiştir. Sonuç olarak, farklı toprak nemi aralığının belirlenme olasılığı üç farklı ölçekte (Nokta, Alan, Havza) araştırılmış olup ürün gelişimi araştırması ve diğer disiplinler için pratik etkileri ve mümkün faydaları tartışılmıştır.

Şanlı, F.B. ve ark. (2008), Menemen (İzmir) ovasındaki tarım alanlarında, yalın topraklar üzerindeki toprak nemini tahmin etmek için Radarsat, SAR ve PALSAR uydu görüntülerinin potansiyelini araştırmışlardır. Çalışmalarında, zemin toprak nemi ile sigma naught geri saçılma katsayıları arasındaki korelâsyon incelenmiştir. Buna ek olarak, Radarsat (C bandı HH kutuplanmış) ve ENVISAT (ASAR) (C Bandı VV kutuplanmış) uydu görüntülerinin sigma naught değerleri ile ALOS (PALSAR) (L bandı HH kutuplanmış) uydu imgesinin geri saçılma değerleri kullanılmıştır. Çalışmada kullanılan Radarsat, ASAR ve PALSAR uydu görüntüleri sırasıyla 28 Mayıs, 8 Haziran ve 10 Mayıs 2006 tarihlerinde toplanmıştır. Gravimetrik yöntemler kullanılarak ölçülen zemin toprak nemi, daha sonra farklı SAR verilerine ait görüntülerden elde edilen geri saçılma değerleri ile iyi bir korelâsyon göstermiştir. Menemen Ovası gibi yalın tarımsal alanlar üzerinde en iyi toprak nem tahmin modeli için üç farklı SAR verileri arasında bir karşılaştırma yapılmıştır. Karşılaştırmada SAR verilerinin HH ve VV polarizasyon ile C ve L bantları dikkate alınmıştır. Sonuç olarak, ASAR, Radarsat-1 ve PALSAR görüntülerinin geri saçılma katsayıları ile yersel toprak nem değerleri arasında sırasıyla % 76, % 81 ve % 86'lık bir korelâsyon bulunmuştur.

Ayrıca, Radarsat-1 görüntüsünün (6.25m × 6.25m) çözünürlüğü, PALSAR görüntü (6.25m × 6.25m) çözünürlüğüne daha yakın olmasına rağmen, PALSAR görüntüsünün, Radarsat-1 görüntüsüne göre daha iyi korelâsyon sağladığı; Radarsat-1 ve PALSAR görüntülerinin çözünürlüğü, ASAR görüntüsüne (30m x 30m) göre çok daha yüksek olmasına rağmen, üretilen sonuçların düz alanlarda neredeyse benzer olduğu gözlemlenmiştir.

Bunların dışında, birçok deneysel çalışmada farklı hipotezler kullanılarak geri saçılma katsayıları ile yüzey toprak nemi arasındaki ilgileşimler tartışılmıştır. Ulaby ve ark. (1986) yüzey nemi ve radar sinyalleri arasında doğrusal bir ilgileşim önermiştir. Bu yaklaşım, çok sayıda deneysel çalışmalar ile doğrulanmıştır (Cognard ve ark. 1995), (Wang ve ark. 1997), (Quesney ve ark. 2000), (Zribi ve Dechambre, 2002), (Le He´garat-Mascle ve ark. 2002). Bu durum ortalama yüzey pürüzlülüğünün genel olarak sabit varsayıldığı ardışık radar ölçümlerinde, çalışma alanları için güvenilir bir yaklaşım olarak kabul edilmiştir. Fakat toprak nemi ile radar sinyalleri arasındaki doğrusal ilgileşim tanımlayan katsayılar; bir havzadan başka bir havzaya, hatta bir yıldan başka yıla farklılık gösterdiğinden bu değerlerin kalibre edilmesi gerekmektedir.

2.2.2. Toprak Nem İnversiyonuna Ait Literatür Çalışmaları

Özellik çıkarma aşamasından sonra, toprak yüzey parametrelerinin (dielektrik sabiti, yüzey pürüzlülüğü ve toprak nemi) tahmini için literatürde bir dizi inversiyon modeli geliştirilmiştir. Bu modeller sırasıyla; deneysel/yarı deneysel modeller (III. Grup), teorik modeller (IV. Grup) ve makine öğrenme modelleri (V. Grup) olmak üzere üç temel yaklaşıma dayandırılmıştır. Her bir inversiyon modeline ait literatür taraması aşağıda sunulmuştur.

2.2.2.1. III. Gruba Ait Literatür Çalışmaları

İnversiyon modellerinin ilki olan deneysel/yarı deneysel modeller ile toprak nemi tahmini, deneysel ölçümlerin saçılma davranışlarına dayanmaktadır. Bu modellerin asıl amacı, hedef yüzeyden yansıyan geri yansımalı katsayılarla zemin yüzey özellikleri arasında temel bir korelâsyon kurmaktır (Notarnicola ve ark. 2008).

Literatürde; Oh ve Dubois modelleri, toprak nemi tahmini için en çok kullanılan deneysel modellerdir. Fakat bu modellerin alana özgü yüzey parametreleri ve deneysel denklemlere bağlı olmasından dolayı, sınırlı bir uygulama alanları vardır. Ayrıca, bitki örtüsünün hâkim olduğu arazilerde karmaşık ve doğrusal olmayan problemlerin bu denklemler ile çözülmesi çok zordur. Bu nedenle, I. gruba ait yaklaşımla toprak nemi tahmini çalışmamızda tercih edilmemiştir. Literatürde bu gruba ait birkaç çalışma aşağıda sunulmuştur.

Zribi ve ark. (1997), L, C ve X bant SAR verileri ile yersel ölçümleri kullanarak Oh ve İntegral Eşitlik Modellerini (IEM) değerlendirmiştir. Sonuçlar, IEM modelinin yalnızca düzgün yüzeyler üzerinde doğru simülasyonlar sağladığını göstermiştir. Buna ek olarak, kaba yüzeyler ve orta geliş açısı için Oh model simülasyonları, yersel geri saçılma değerlerine çok yakın değerler üretirken, pürüzsüz alanlar üzerinde ölçülen geri saçılma katsayılarıyla kötü korelâsyon göstermiştir.

Oh (2004), çoklu polarizasyonlu radar gözlemlerinden yarı geçici bir polarimetrik saçılım modeli kullanarak basit bir ters çevirme modeli geliştirilmiştir. Daha sonra, geliştirilen bu yarı-deneysel model ile çıplak araziler üzerinde hacimsel toprak nem içeriği ve yüzey parametrelerini tahmin etmiştir.

Baghdadi ve Zribi (2006), büyük C-bandı SAR verileri ile yersel ölçüm parametrelerini kullanarak IEM, Oh ve Dubois geri saçılma modellerini değerlendirdiler. Sonuçlar, bu modellerin radar sinyalini yüksek veya düşük tahmin etme eğiliminde olduğunu ve model simülasyonu üzerindeki hataların yükseklik yüzey pürüzlülüğüne, toprak nemine ve/veya geliş açısına bağlı olduğunu ortaya koymuştur.

Yang ve ark. (2006), çok zamanlı Radarsat ScanSAR verilerini kullanarak topraktaki nem değişimini tahmin etmek için bir yöntem araştırmışlardır. Çalışmaları iki kısımdan oluşmuştur. İlk kısım, farklı geliş açıları ile iki mikrodalga radar ölçümleri kullanılarak toprak yüzey pürüzlülüğü etkilerinin minimize edilmesi üzerine odaklı iken, ikinci kısım ise Landsat TM ve AVHRR gibi sensörlerden elde edilen yarı-deneysel bitki örtüsü modeli ve ölçümleri kullanılarak radar ölçümleri üzerindeki bitki örtüsünün etkilerini azaltmaya yönelik olmuştur.

Sonuç olarak, on yıl içindeki birden çok araştırma boyunca, geri saçılma katsayısı ve toprak nemi arasında güçlü bir korelâsyon olduğu tespit edilmiştir.

Deschamps (2008) tarafından yapılan tez çalışmasında, Radarsat-2 verileri ve manuel toprak nem ölçümleri kullanılarak, hacimsel toprak nem değerleri dielektrik katsayısından tahmin edilmiştir. Çalışmada kullanılan yöntemler Oh (Oh 1992, 2004) ve Dubois (Dubois 1995) modelleridir. Sonuç olarak, Radarsat-2 verilerinin 0 ile 3 cm aralığındaki toprak derinliklerinde toprak nemini doğru hesapladığı gözlemlenmiştir.

Ayrıca, bu grup kapsamında değerlendirilebilecek benzer literatür çalışmaları Oh ve ark. (1992, 1994, 2002), Dubois ve ark. (1995), Baghdadi ve ark. (2012)'dır.

2.2.2.2. IV. Gruba Ait Literatür Çalışmaları

Bir diğer inversiyon yaklaşımı olan teorik modeller ile toprak nemi tahmini, elektromanyetik saçılma teorilerine dayanmaktadır. Bu yaklaşım ile farklı radar parametreleri (frekans, polarizasyon, insidans açısı) ve yüzey koşulları (yüzey pürüzlülüğü ve toprak nemi) arasında bir korelâsyon sağlanmaktadır (Baghdadi 2002).

Literatürde; İntegral Eşitlik Modeli (IEM) (Fung 2004), Bagdadi tarafından kalibre edilmiş İntegral Eşitlik Modeli (IEM_B) (Baghdadi 2002, 2011a-b) ve İleri İntegral Eşitlik Modeli (AIEM) (Chen 2003) toprak nemi tahmininde en sık kullanılan teorik modellerdir. IEM modeline ait yüzey pürüzlülüğünün kullanılabilir geniş yelpazesi, bu modelin çıplak araziler üzerinde uygulanabilirliğini etkili kılmaktadır. Fakat bitkilerin neden olduğu kompleks hacim saçılmaları ve yüzey morfolojisi gibi bazı yersel ölçümlere olan ihtiyaç, modelin uygulama alanlarını kısıtlamaktadır. Dolayısıyla bu kısıtlamalar, bitki örtüsünün hâkim olduğu arazilerde toprak nemi tahminini oldukça karmaşık ve başarısız kılmaktadır. Bu yüzden, bu gruba ait yaklaşımla toprak nemi tahmini çalışmamızda kullanılmamıştır. Literatürde bu gruba ait bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Baghdadi ve ark. (2002), çıplak topraklar üzerindeki SAR görüntülerinden hesaplanan geri saçılma katsayısını daha iyi üretmek için İntegral Eşitlik Modelini (IEM) önermişlerdir.

Bagdadi ve ark. (2011b) Fransa ve Tunus üzerinden elde edilen TerraSAR-X görüntülerini ve yersel ölçümlerin deneysel veri setlerini kullanarak IEM, Oh ve Dubois modellerinin potansiyelini değerlendirmişlerdir. Bu durumda, yarı deneysel Oh modeli, geri saçılma katsayılarını doğru bir şekilde tahmin ederken Dubois modeli gerçek verilerle tahmini veriler arasında kötü bir korelâsyon göstermiştir. Buna ek olarak, IEM, X bandındaki geri yansımayı üstel korelâsyon fonksiyonu ve Gauss korelâsyon fonksiyonu kullanarak doğru bir şekilde tahmin etmiştir.

Van der Velde ve ark. (2012), İleri Sentetik Açıklıklı Radar (ASAR) imgelerini kullanarak Tibet Platosunun merkezi bölümünün toprak nemini haritalandırmışlardır. Çalışmada, Nisan 2005- Eylül 2007 tarihleri arasında elde edilen 150 adet ASAR imgesi kullanılmıştır. Bu imgelere daha sonra IEM saçılma modeli uygulanmış ve imgelerden geliş açısını gösteren geri saçılma katsayıları elde edilmiştir. Çalışma alanını kapsayan bu imgelerin üç tanesi kış mevsiminde farklı görüş açılarıyla ele alınarak IEM modeline verilmiş ve çıkışta yüzey pürüzlülük katsayıları oluşturulmuştur. Daha sonra, IEM modelinin girişine verilen pürüzlülük katsayılarından elde edilen tüm geri saçılma katsayılarından toprak nem değerleri çıkarılmıştır. Bu değerler, Haziran 2006- Eylül 2007 tarihleri arasında 10x10 km karelik alana ait dört farklı noktadan alınan değerlerle karşılaştırılıp, tahmin değerlerinin doğrulanması sağlanmıştır.

Ayrıca, bu grup kapsamında değerlendirilebilecek benzer literatür çalışmaları Baghdadi ve ark. (2004, 2006, 2011a-b) ile Panciera ve ark. (2014)'dir.

2.2.2.3. V. Gruba Ait Literatür Çalışmaları

İnversiyon modellerinin en sonuncusu olan makine öğrenme modeli ile toprak nemi tahmininde ise, yalın ve bitki örtüsü kaplı tarımsal alanlar üzerindeki toprak neminin başarıyla tahmin edildiği ve bu modellerin deneysel ve teorik modellerin yetersiz olduğu durumlarda etkin bir şekilde kullanıldığı görülmektedir. Tüm makine öğrenme modelleri arasında; Destek Vektör Regresyonu (Zhang ve ark. 2015), Yapay Sinir Ağları (Weimann 1998, Paloscia ve ark. 2008, Prasad ve ark. 2009, Srivastava ve ark. 2013, Xie ve ark. 2014), Bayes Teoremi (Paloscia ve ark. 2008), Nelder-Mead simpleks algoritması (Paloscia ve ark. 2008) ve Kalman filtresi (Paloscia ve ark. 2008) toprak nem alımı için yaygın olarak kullanılan inversiyon teknikleridir.

Literatürde, makine öğrenme tabanlı inversiyon modelleri kullanılarak bir dizi araştırma yapılmıştır. Bu gruba ait bazı çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

Weimann (1998), çıplak alanlar üzerinde teorik geri yansımalı modelden benzetilmiş bir veri türetmiş ve bu verileri YSA'nın eğitimi için kullanmıştır. Ayrıca, ERS-2/ ESAR uzaktan algılama verilerini kullanarak YSA'nın eğitim işlemlerini tamamlamış ve tahmini toprak nemi ile yersel ölçümlü toprak nemi arasında düşük bir RMSE değeri gözlemlemiştir.

Notarnicola ve ark. (2008) aktif ve pasif uydu verilerinden toprak nemini elde etmek için yapay sinir ağı (YSA) ve istatistiksel Bayes yöntemlerini uygulamışlardır. Sonuçlar, her yöntemin benzer bir performans sergilediğini, ancak YSA'nın Bayes yöntemine göre artan giriş parametrelerine bağlı olarak performansını arttırdığını göstermiştir.

Paloscia ve ark. (2008), tarımsal alanlar üzerinde toprak nem haritalarını sağlamak için ENVISAT/ ASAR verilerinin kapasitelerini araştırmışlardır. Ayrıca, çalışmalarında ileri beslemeli sinir ağı, istatistiksel bir Bayes teoremi ve iteratif Nelder-Mead yöntemi dâhil olmak üzere üç tahmin algoritmasının performanslarını karşılaştırmışlardır. Sonuçlar, üç yöntem ile tahmin edilen toprak nem verisinin ölçülen verilere çok yakın veri ürettiğini ve yapay sinir ağının doğruluğunun toprak nem haritaları oluşturmak için diğer yöntemlerden biraz daha yüksek olduğunu göstermiştir.

Zhang ve ark. (2015), makine öğrenme temelli destek vektör regresyon tekniği ve yarı deneysel olan modifiye Dubois modelini kullanarak, yalın tarımsal alanlardaki toprak nemini TerraSAR-X ve Radarsat-2 verileri yardımıyla tahmin etmişlerdir. Sonuçlar, TerraSAR-X ve Radarsat-2'nin, düşük RMSE değeri ile toprak nem tahmini için uygun uzaktan algılama araçları olduğunu ve TerraSAR-X'in, Radarsat-2'ye kıyasla daha iyi bir performans sergilediğini göstermiştir.

Pasolli ve ark. (2011a) aktif ve pasif mikrodalga verilerinden toprak nemi tahmin etmek için Çok Katmanlı Algılayıcı (MLP) sinir ağı ve SVR tekniklerini içeren iki doğrusal olmayan makine öğrenme yöntemlerini kullanmışlardır. Bu yöntemlerin performansları daha sonra karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak, SVR'nin sınırlı numunelerde

daha yüksek doğruluk değerlerini verdiği ve bu yüzden MLP'ye alternatif bir yaklaşım olduğu gözlemlenmiştir.

Pasolli ve ark. (2011b), Alp dağları üzerindeki çayır ve meralardan toprak nem içeriğinin tahminini gerçekleştirmek için tam polarimetrik Radarsat-2 SAR verilerini ve gelişmiş özellik çıkarma yöntemlerini kullanmışlardır. 2010 yılı yazında, Mazia vadisi üzerinden aynı geometri (yükselen yörünge ile ortalama 45° geliş açısı) ve moda (Standart Quad Polarizasyon) sahip 4 farklı veri, Radarsat-2 sensörü ile elde edilmiştir. Veriler, daha sonra Frost filtresi ile filtrelenmiş ve yüksek geometrik çözünürlüklü (2.5 metre) dijital yükseklik modeli (DEM) ile SARscape yazılımı (www.sarmap.ch) kullanılarak kalibre edilmiş ve coğrafi olarak kodlanmıştır. Ardından, Standart yoğunluk ve faz polarimetrik özellikleri, polarimetrik ayrıştırma ve genel amaçlı özellik çıkarma stratejileri (Örneğin, Bağımsız Bileşenler Analizi (ICA) gibi) sisteminin doğruluğunu artırmak için sıralı ileri seçim yöntemi (SFS) ile birlikte kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlara bakıldığında, SAR verilerindeki polarimetrik bilgilerin doğru kullanılması ile dağlık alanlardaki toprak nem tahmininin iyileşmesine izin verildiği gözlemlenmiştir. Ayrıca, geliştirilen tahmin sistemi ile toprak nem içeriğinin mekânsal ve zamansal değişimlerinin haritalandırılabileceği önerilmiştir.

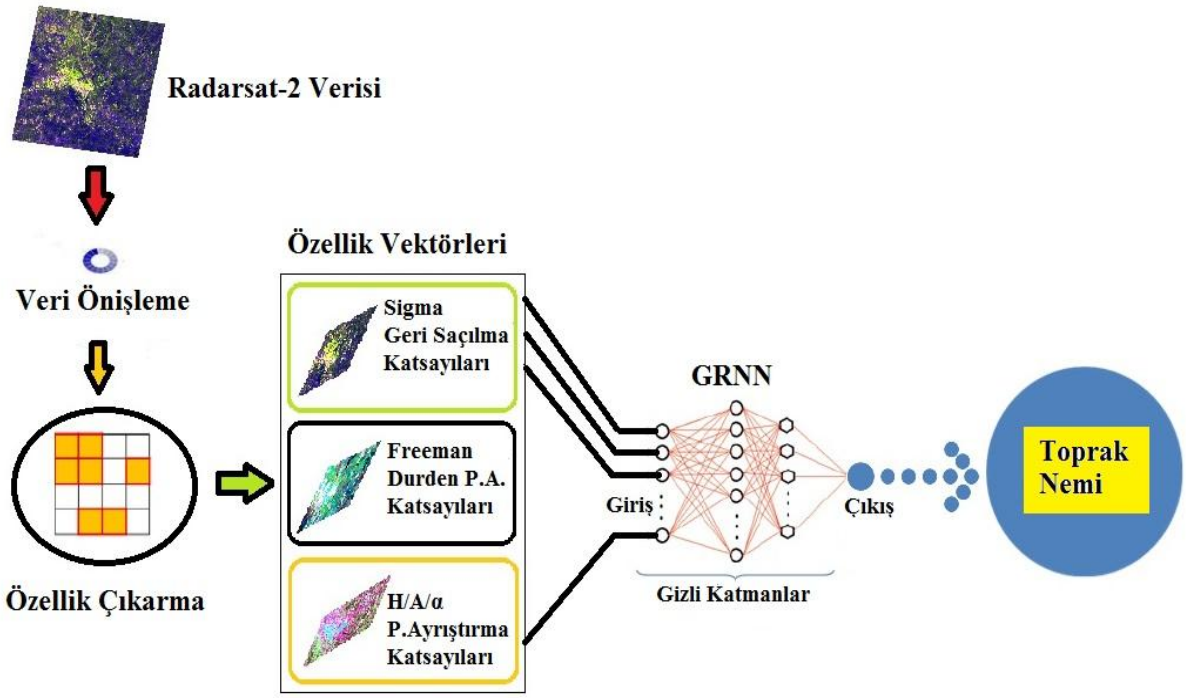
Pasolli ve ark. (2012), bir Alp havzasındaki toprak nem içeriğinin tahmini için polarimetrik Radarsat-2 SAR görüntülerini kullanmışlardır. Çalışmalarında ilk olarak, hedef parametrelerin saha ölçümleri ve yardımcı verilerin yardımıyla bir duyarlılık analizi gerçekleştirmiştir. Bu analiz, hem topografya hem de bitki örtüsü/arazi örtüsü heterojenliğinin, Alpine alanlar üzerinde edinilen geri saçılma sinyallerini güçlü bir şekilde etkilediğini ve verilerde önemli bir değişkenlik ve belirsizliğe yol açtığını göstermiştir. Ayrıca çalışmalarında yükseklik, yerel geliş açısı ve NDVI gibi parametrelerin, SAR verilerindeki içsel değişkenliği önemli derecede tanımlayan faydalı parametreler olduğunu vurgulamışlardır. Daha sonra, topraktaki nem değerini tahmin etmek için Destek Vektör Regresyon algoritması ve yardımcı verilerin entegrasyonuna dayalı bir teknik önerilmiştir. Sonuç olarak, hem nokta ölçümleri üzerindeki doğruluk hem de uzaysal dağılmış veri kullanımlarının etkinliği tartışılmıştır.

Bu tez çalışmasında ise tam polarimetrik Radarsat-2 verileri ile yersel toprak nemi ölçümleri arasındaki korelâsyon belirlenmiş; yalın ve bitki örtüsüyle kaplı tarımsal alanlar üzerindeki toprak nemi, belirlenen korelâsyona dayanarak tahmin edilmiştir. Tahmin modeli birkaç aşamadan oluşmuştur. İlk olarak, Radarsat-2 verilerinden özellik vektörü oluşturmak için çoklu frekans SAR geri saçılma katsayıları (σhh, σhv, σvh, σvv) elde edilmiştir. Daha sonra, tam polarimetrik Radarsat-2 verilerine H/A/α ve Freeman Durden polarimetrik ayrıştırma modelleri uygulanmış ve özellik çıkarma aşaması için çeşitli geri saçılma parametreleri (Entropi, Anizotropi, Alfa Açısı, Hacimsel Saçılma, Yüzey Saçımı ve Çift Saçılma) hesaplanmıştır. Bu adımdan sonra C-bandı SAR verileri ile toprak nem inversiyonu için makine öğrenme temelli Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı (GRNN) modeli kullanılmıştır (Özerdem ve ark. 2017).

Yapılan bu çalışma, hibrid bir özellik çıkarma tekniği ile yeni bir özellik vektörü sunduğundan dolayı kapsam olarak I ve II. grup çalışmaları arasında yer almaktadır; inversiyon modeli olarak da V. grupta bulunmaktadır.

3. MATERYAL VE METOT

Tezde uygulanacak yöntem ve araştırma teknikleri bu kısımda incelenmiştir. Önerilen tahmin modelinin mimarisi birkaç aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar sırasıyla Çalışma Alanının Belirlenmesi, Veri Toplama, Önişlem, Öznitelik Çıkartma ve Regresyon analizleri adımlarından oluşmaktadır. Şekil 3.1'de, bu çalışmada önerilen toprak nem tahmini modeline ait sisteminin blok diyagramı verilmektedir.

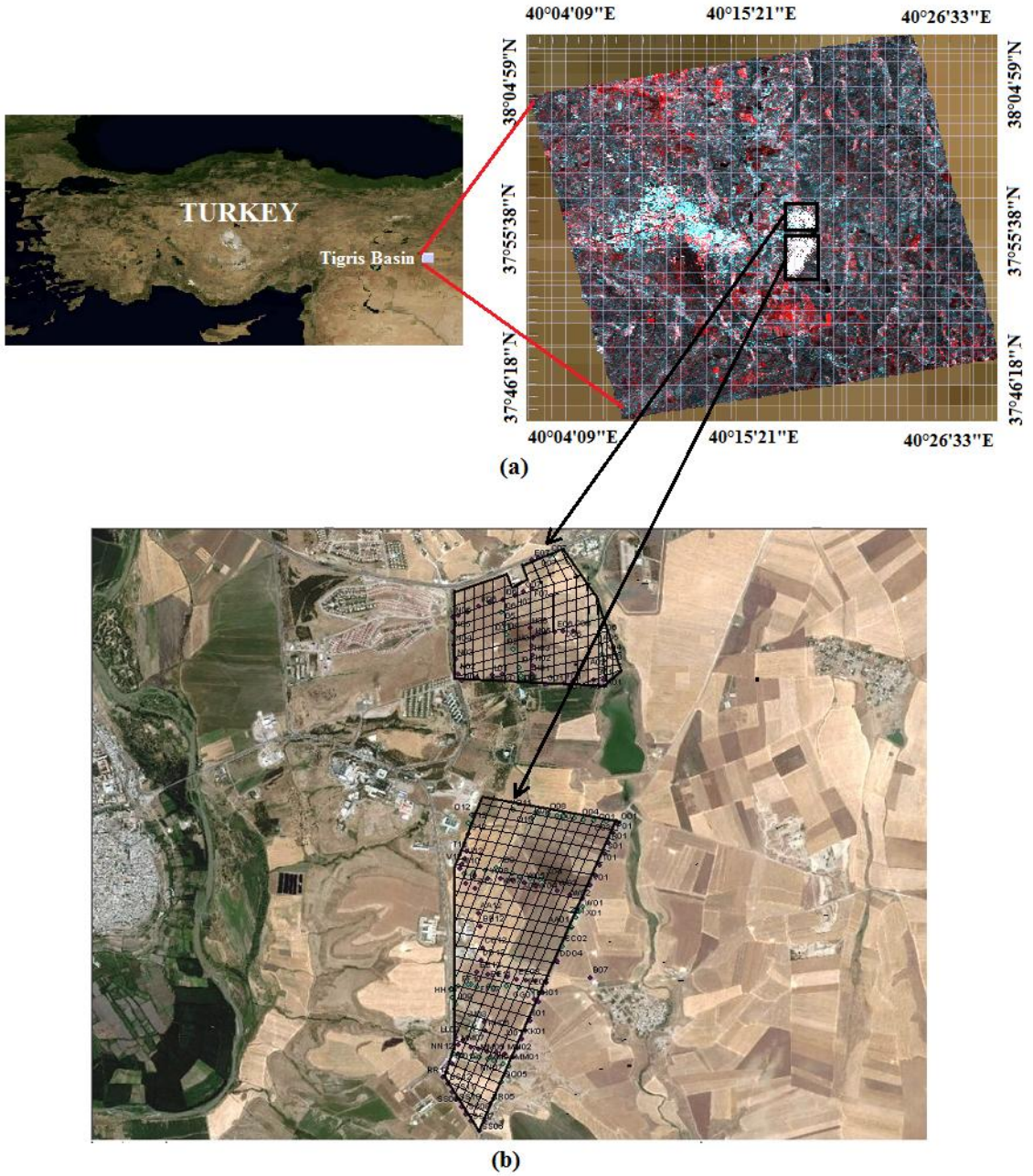


Şekil 3.1. Önerilen tahmin modelinin mimari yapısı

3.1. Çalışma Alanı

Çalışma alanı, Diyarbakır ilinde Dicle Üniversitesi kampüsü sınırları içerisinde bulunan ortalama 2x2 km ve 4x4 km'lik çerçeveyi kaplayan iki farklı tarımsal araziden oluşmaktadır (Şekil 3.2). Çalışma alanının ortalama eğimi %3.05 ve ortalama yükseltisi 650 m'dir. Yıllık ortalama maksimum sıcaklığı yaz aylarında 34.5 °C, kış aylarında ise 8.2 °C olup ve ortalama yıllık sıcaklık 23.8 °C'dir. Ortalama yıllık yağış miktarı ise 496.0 mm'dir. Çalışma alanının konumunu gösterir harita Şekil 3.2'de sunulmaktadır.

Şekil 3.2'de görüldüğü üzere, Google Earth ve Radarsat-2 uydu görüntüleri kullanılarak çalışmalarımızın yapıldığı araziler ve bu araziler üzerinde toprak nem örneklerinin alındığı bazı segmentlere ait GPS koordinatları gösterilmektedir. Çok sayıda segmentin çalışmada değerlendirilmesi, çalışmanın çözünürlüğünü artırmakla birlikte, modelin doğruluğunu da artıracaktır.



Şekil 3.2. Çalışma alanının lokasyonu (a) Radarsat-2 görüntüsü (b) Google Earth görüntüsü üzerinde sunulmuştur. Siyah dikdörtgen alanlar iki deney sahasının kapsama alanını belirtmektedir.

3.2. SAR Veri Toplama

Bu tez çalışması için 2015 yılı ürün gelişim dönemine ait 3 farklı tarihte (27 Şubat, 8 Nisan ve 10 Haziran 2015) multi-zamanlı tam polarimetrik Radarsat-2 fine mod ('Fine-Quad', FQ) uydu görüntüleri temin edilmiştir. Radarsat-2, Aralık 2007' de Kanada Uzay Ajansı için başarıyla başlatılan bir dünya gözlem uydusu olup mikrodalga spektrumunun C-bandında (5.33 GHz) çalışan bir SAR algılayıcısına sahiptir. Ayrıca, Radarsat-2 tam polarimetrik ve çoklu görüntüleme modları sağlamaktadır. Bu çalışmada kullanılan Radarsat-2 ürünleri, SAR verilerinin çözünürlük, faz ve genlik bilgilerini tutan tek görünümlü karmaşık (SLC) veri formatında olup 5.83 m'lik bir uzaysal çözünürlüğe ve 30 km x 30 km'lik kapsama alanına sahiptir. Elde edilen Radarsat-2 uydu görüntülerinin genel özellikleri Çizelge 3.1.'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Temin edilen Radarsat-2 uydu görüntülerinin genel görünümü

Tarih	Saat	Demet Modu	Geçiş
27 Şubat 2015	03:17:42	FQ24	Descending
08 Nisan 2015	15:07:11	FQ4	Ascending
10 Haziran 2015	03:10:31	FQ29	Descending

3.3. Yersel Ölçümler

Çalışma alanı 100x100 metrelik bölütlere ayrılmış ve her bir bölütte en az 1 adet noktadan 3-5 cm derinliğinde toprak örnekleri alınmıştır. Uydu görüntülerinin kayda alındığı saatlerde ortalama 300-400 adet toprak numunesi toplanmıştır. Bu örnekler daha sonra 100 cm^3 metal silindirlere doldurulup toprak örneğinin alındığı her bir bölütün bulunduğu kontrol noktası GPS cihazı yardımıyla kayıt altına alınmıştır.

Alınan toprak örneklerine ait toprak nem değerleri, Dicle Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Uygulama ve Araştırma Merkezi Müdürlüğü (DÜPTAM) Tarımsal Test ve Analiz laboratuarında gravimetrik yöntemler kullanılarak hesaplanmıştır.

Ayrıca, çalışma alanları üzerindeki toprak yapısı analiz edilmiş ve toprak türünün genellikle killi ve tınlı topraklardan oluştuğu gözlemlenmiştir. Her dönem için gravimetrik toprak nemi ölçümleri bilgileri Çizelge 3.2'de verilmektedir.

Çizelge 3.2. Yersel Toprak Nemi (TN) ölçümleri hakkında genel bilgiler

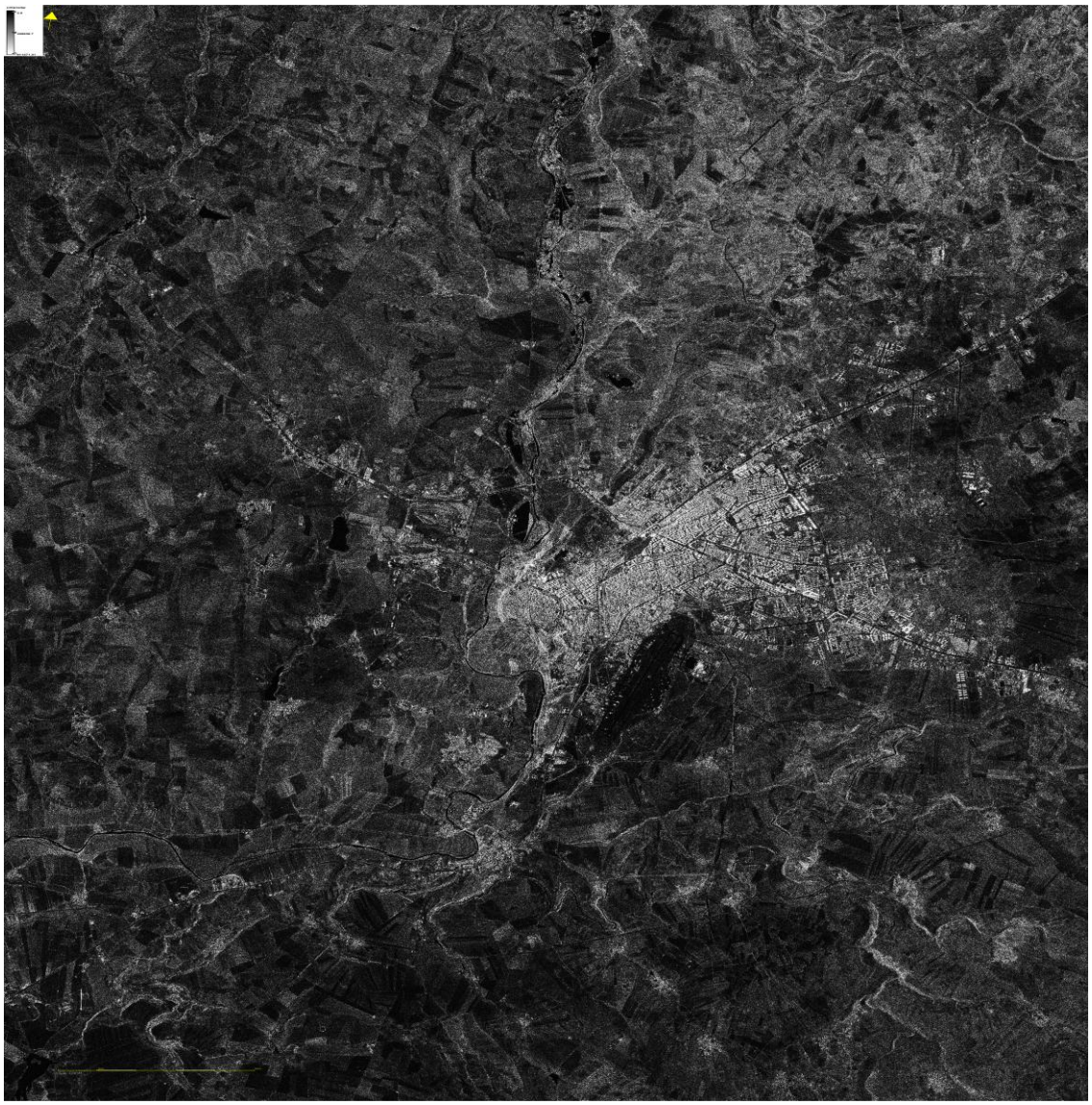
Yersel Ölçüm Dönemi	Arazi Durumu	Ölçüm Sayısı	Min TN (%)	Max TN (%)	Ortalama TN (%)	S.Sapma TN(%)
27 Şubat 2015	Seyrek Bitki Örtüsü	335	18. 76	43. 6	29. 72	4.76
8 Nisan 2015	Yoğun Bitki Örtüsü	285	20. 24	41. 37	30. 36	3.93
10 Haziran 2015	Yalın Toprak	272	0.79	44.73	7.46	7.01

3.4. Önişlem

Radarsat-2 imgelerine uygulanacak önişlemler sırasıyla aşağıdaki adımlarla gerçekleştirilmiştir (Engdahl ve ark. 2012).

3.4.1. Radarsat-2 Verisinin Okunması

Radarsat-2 verilerinin okunması için birçok yazılım (ENVI, SARscape, PCI Geomatica, PolSARPro, ERDAS vb.) mevcuttur. Bu çalışmada ise ERDAS ve Sentinel-I yazılımları kullanılmıştır. Şekil 3.3'de, Diyarbakır iline ait 27 Şubat 2015 tarihli Radarsat-2 SLC görüntüsüne ait dört farklı (HH, HV, VH, VV) banttan sadece VH polarizasyonlu **Intensity_VH** bandı okutulmuştur. Bu görüntü SLC eğik mesafe görüntüsü olup çoklu-bakış uygulanmamıştır. Radarsat-2 SLC görüntüsü azimuth yönünde (y ekseni) gerilmiş görünüp bir sürü gürültü içerebilmektedir.



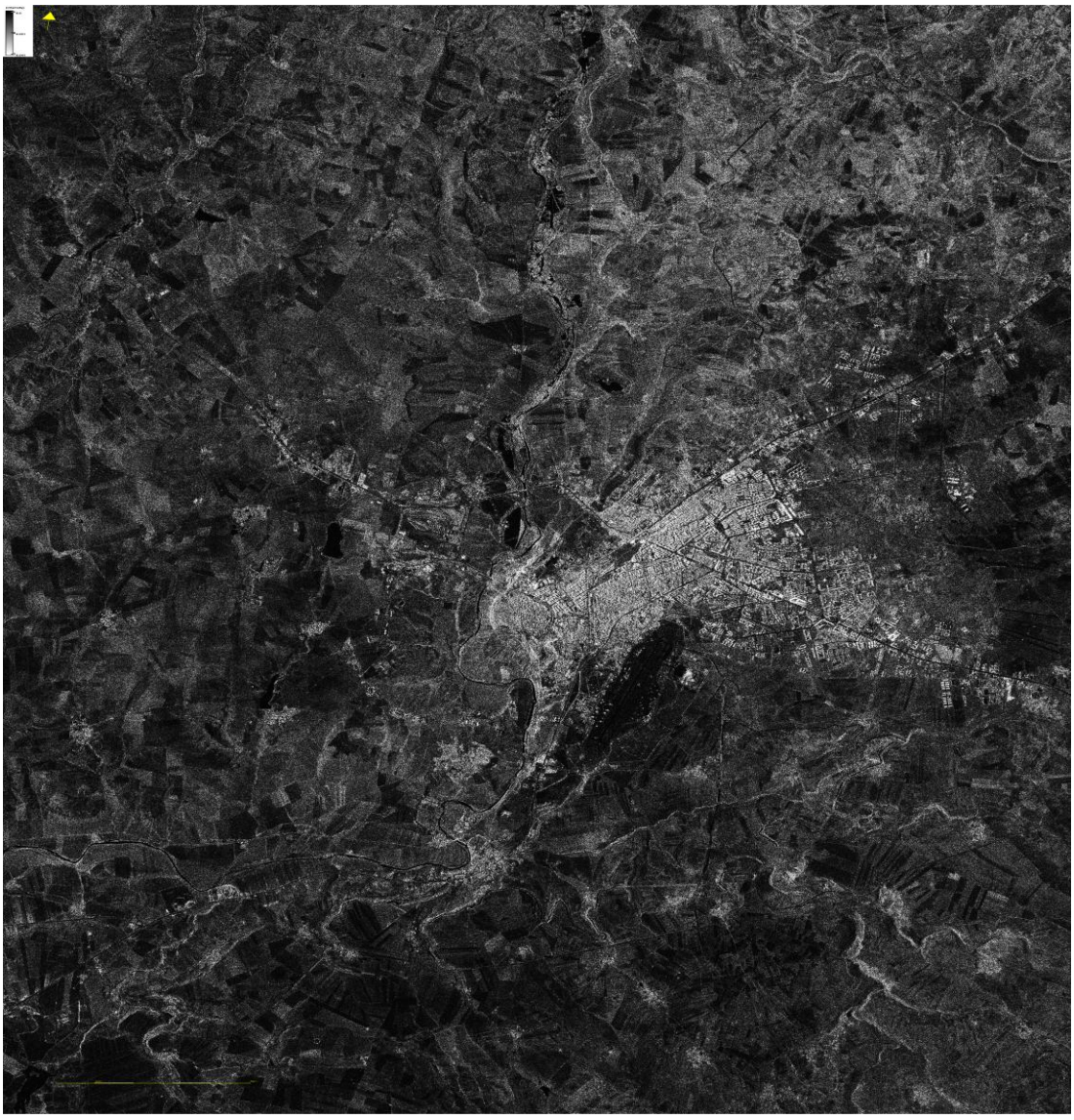
Şekil 3.3. Diyarbakır iline ait 27.02.2015 tarihli ve vh polarizasyonlu fine-quad Radarsat-2 SLC görüntüsü

3.4.2. Verilerin Kalibrasyonu

SAR tabanlı Radarsat-2 verilerinin düzgün bir şekilde çalışması için bu verilerin ilk olarak kalibrasyonu gerekmektedir. Kalibrasyon işlemi, radyometrik olarak SAR görüntülerini düzeltmektedir. Böylece piksel değerleri, gerçek anlamda yüzeyden yansıyan radar dalga saçılmasını temsil etmektedir.

Kalibrasyon işlemi sırasında uygulanan düzeltmeler, çok özel bir uğraş gerektirmektedir. Kalibrasyon, SAR tabanlı uydu görüntülerinde niceliksel veri

kullanımı için çok önemlidir. Şekil 3.4'te Diyarbakır iline ait 27.02.2015 tarihli ve VH polarizasyonlu Fine-Quad Radarsat-2 verisinin kalibrasyon sonrası görüntüsü gösterilmiştir.



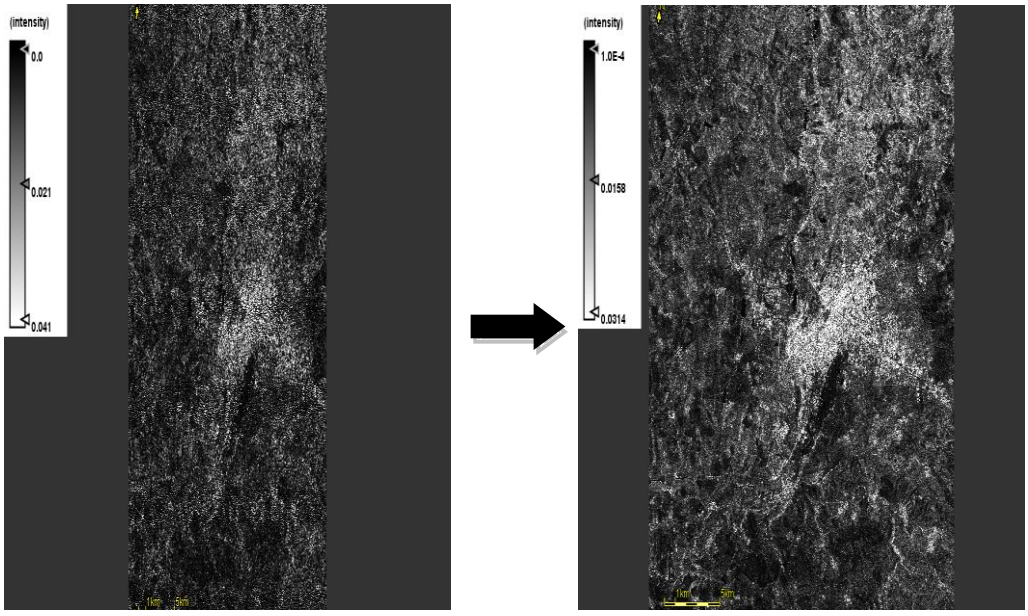
Şekil 3.4. Diyarbakır iline ait 27.02.2015 tarihli ve vh polarizasyonlu fine-quad Radarsat-2 görüntüsünün kalibrasyonu

3.4.3. Çoklu-Bakış

Çoklu-bakış işlemi, uydu görüntülerinde nominal piksel boyutunda bir ürün oluşturmak için kullanılmaktadır. Radyometrik çözünürlüğü arttırıp uzaysal çözünürlüğü azaltan bu işlem, aralık veya açısal (azimuth) çözünürlük hücreleri

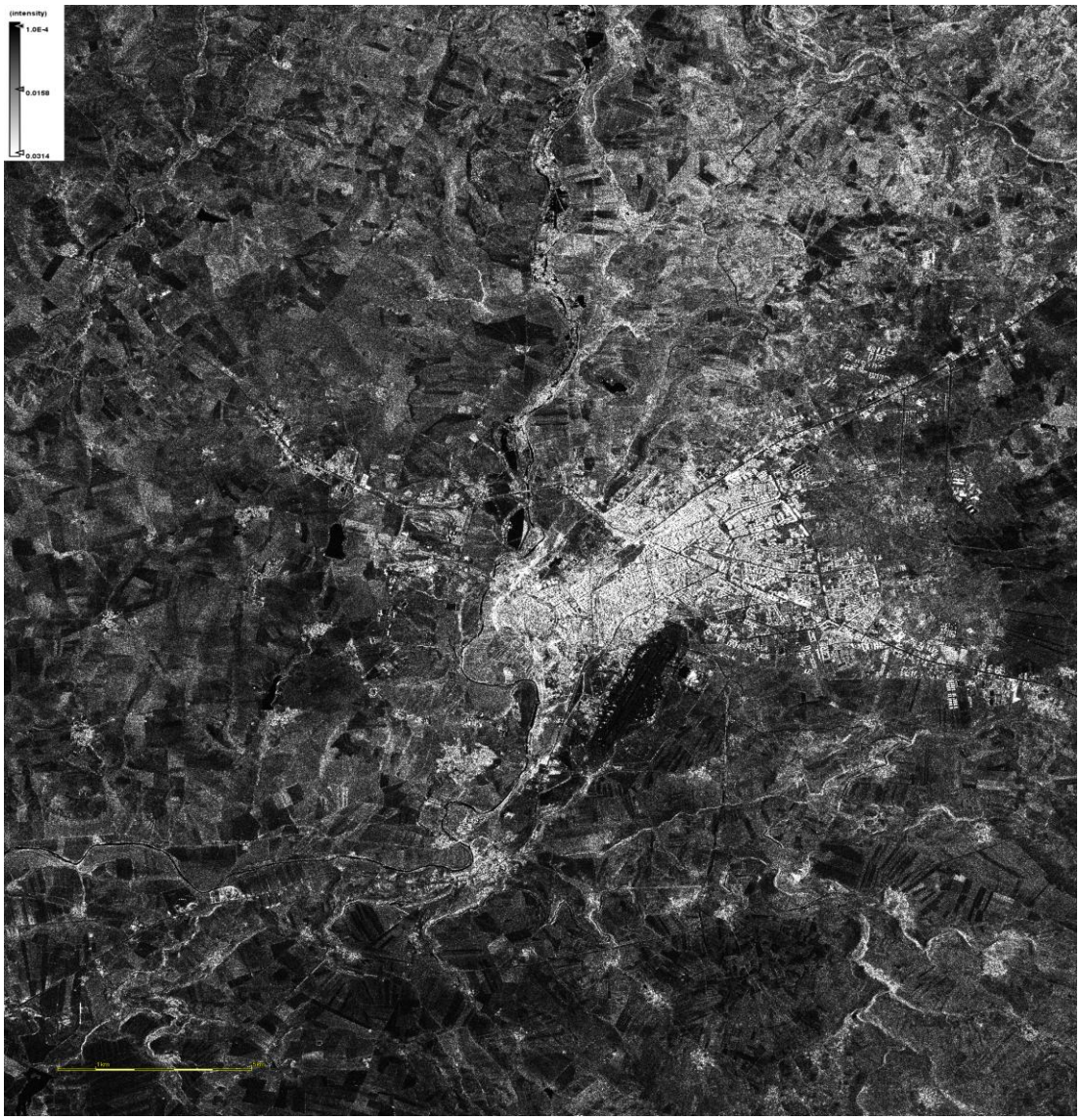
üzerinde ortalama alınarak oluşturulabilmektedir. Bu işlem sonucunda, daha az gürültülü bir görüntü elde edilmekte ve bu görüntünün eğik aralıktan zemin aralığına dönüştürülmesiyle de yaklaşık bir kare piksel aralığı oluşturulmaktadır. Çoklu-bakış işlemi, uydu görüntülerine ait arazi düzeltmelerinde zorunlu bir adım olmadığı için isteğe bağlı olarak bu işlem gerçekleştirilmektedir.

Sentinel-I yazılımı (ESA 2017) yardımıyla, aralık (range) içinde 2 bakış ve azimut açısında (azimuth) 3 bakış kullanılarak çoklu-bakış işlemi gerçekleştirilmiş ve bu işlem sonucunda zemin aralıklı bir kare piksel oluşturulmuştur. Şekil 3.5'te, Diyarbakır iline ait 27.02.2015 tarihli ve kalibrasyonu yapılmış VH polarizasyonlu Fine-Quad Radarsat-2 görüntüsünün, çoklu-bakış işlemi sonrası görüntüsü gösterilmektedir. Başlangıçta 5.83 m olan ortalama zemin aralığı piksel boyutu, çoklu-bakış işlemi sonucunda 14.052 m olmuştur. Sonuç olarak, daha uygun bir görüntü elde edilmesine rağmen görüntülerdeki gürültüler hala mevcuttur.



Şekil 3.5. 27.02.2015 tarihli ve vh polarizasyonlu Radarsat-2 görüntüsünde çoklu-bakış işlemi

Şekil 3.6'da ise, çoklu-bakış işlemi sonrasında Şekil 3.5'de oluşturulan Radarsat-2 görüntüsünün yakınlaştırılmış hali gösterilmiştir.



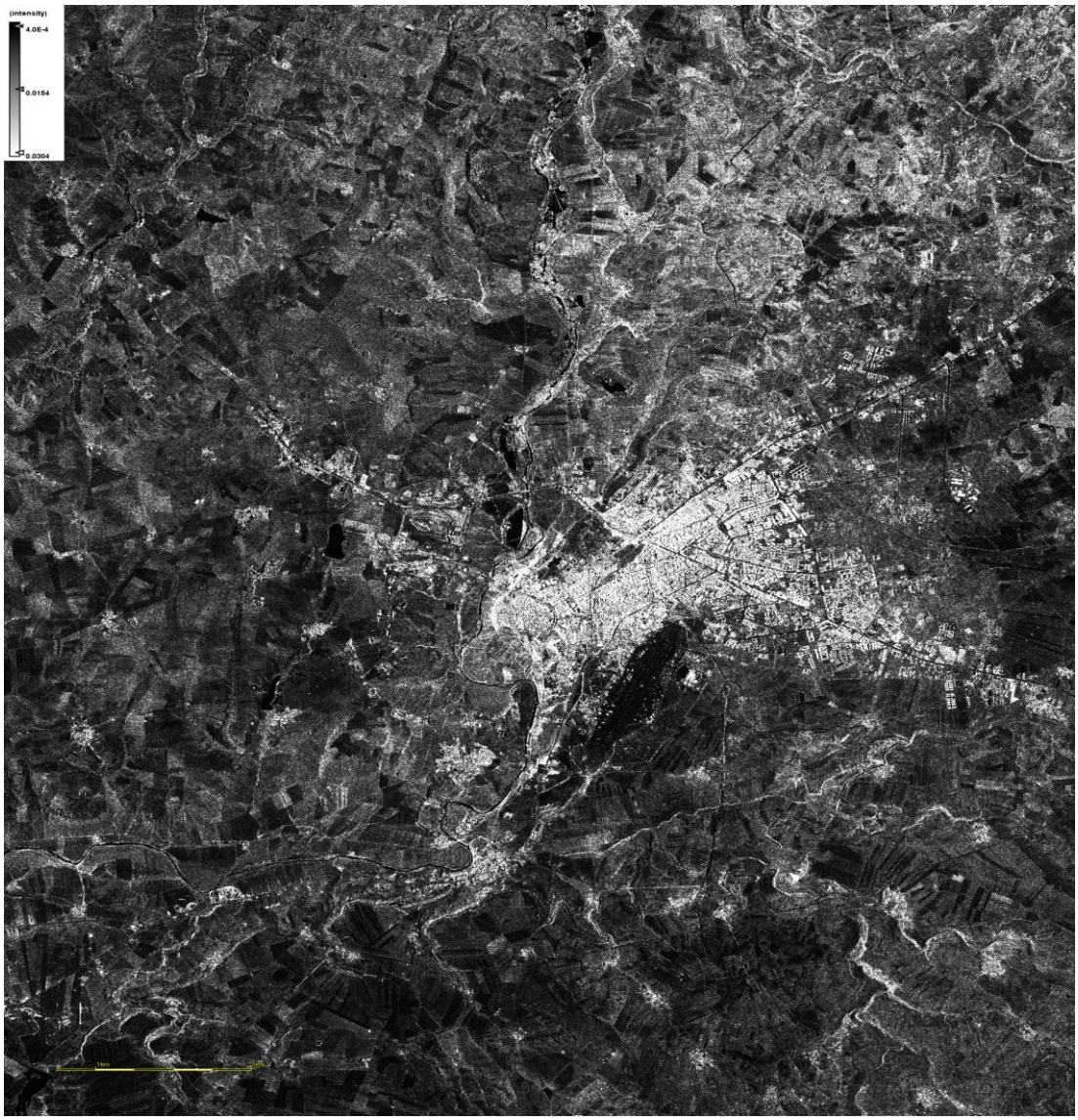
Şekil 3.6. Çoklu-bakış işlemi sonrası oluşturulmuş 27.02.2015 tarihli Radarsat-2 görüntüsünün yakınlaştırılması

3.4.4. Benek Azaltımı

Uydu görüntüsü üzerindeki benekler, görüntü boyunca rastgele yapıcı ve yıkıcı girişimler sonucu meydana gelen tuz ve biber gürültüleri nedeniyle oluşmaktadır. Radarsat-2 verisindeki bulanık özellikler veya düşük çözünürlük üzerindeki benek miktarını azaltmak için bu görüntülere benek filtreleri uygulanabilmektedir.

Tezde kullanılan Radarsat-2 görüntülerinde beneklerin azaltılması için tek ürünlü benek filtresi ***Refined Lee*** kullanılmıştır. Bu filtre uydu görüntüsünün

ortalamasını alırken kenarlarını korumaktadır. Şekil 3.7'de Diyarbakır iline ait 27.02.2015 tarihli, kalibrasyonu ve çoklu-işlemi yapılmış VH polarizasyonlu Fine-Quad Radarsat-2 görüntüsünün filtrelenmiş hali gösterilmektedir.



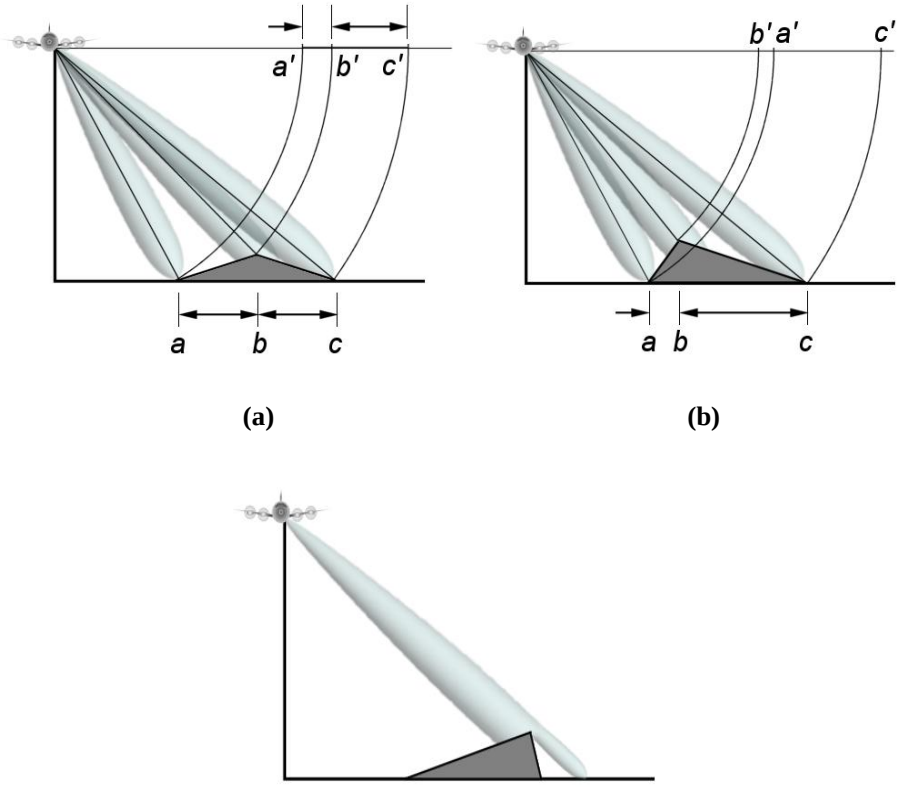
Şekil 3.7. Diyarbakır iline ait 27.02.2015 tarihli, vh polarizasyonlu fine-quad Radarsat-2 görüntüsüne benek filtresinin uygulanması

3.4.5. Arazi Düzelme

Arazi düzeltme işleminde, dijital yükseklik modeli (DEM) kullanılarak SAR geometrik bozulmaları düzeltilip görüntünün coğrafi kodlaması yapılmaktadır. Ayrıca, arazi düzeltme ile tahmini bir veri haritası oluşturulabilmektedir.

Coğrafi Kodlama, uydu görüntüsünü eğik uzaklık (Slant Range) ya da yatay uzaklıktan (Ground Range) bir harita koordinat sistemine dönüştürmektedir. Arazinin coğrafi kodlaması; kısaltım (foreshortening), örtüşme (overlapping) ve gölgeleme (shadow) gibi doğal SAR geometrik bozulmalarını düzeltmek için bir Dijital Yükseklik Modeli (DEM) kullanmayı gerektirmektedir.

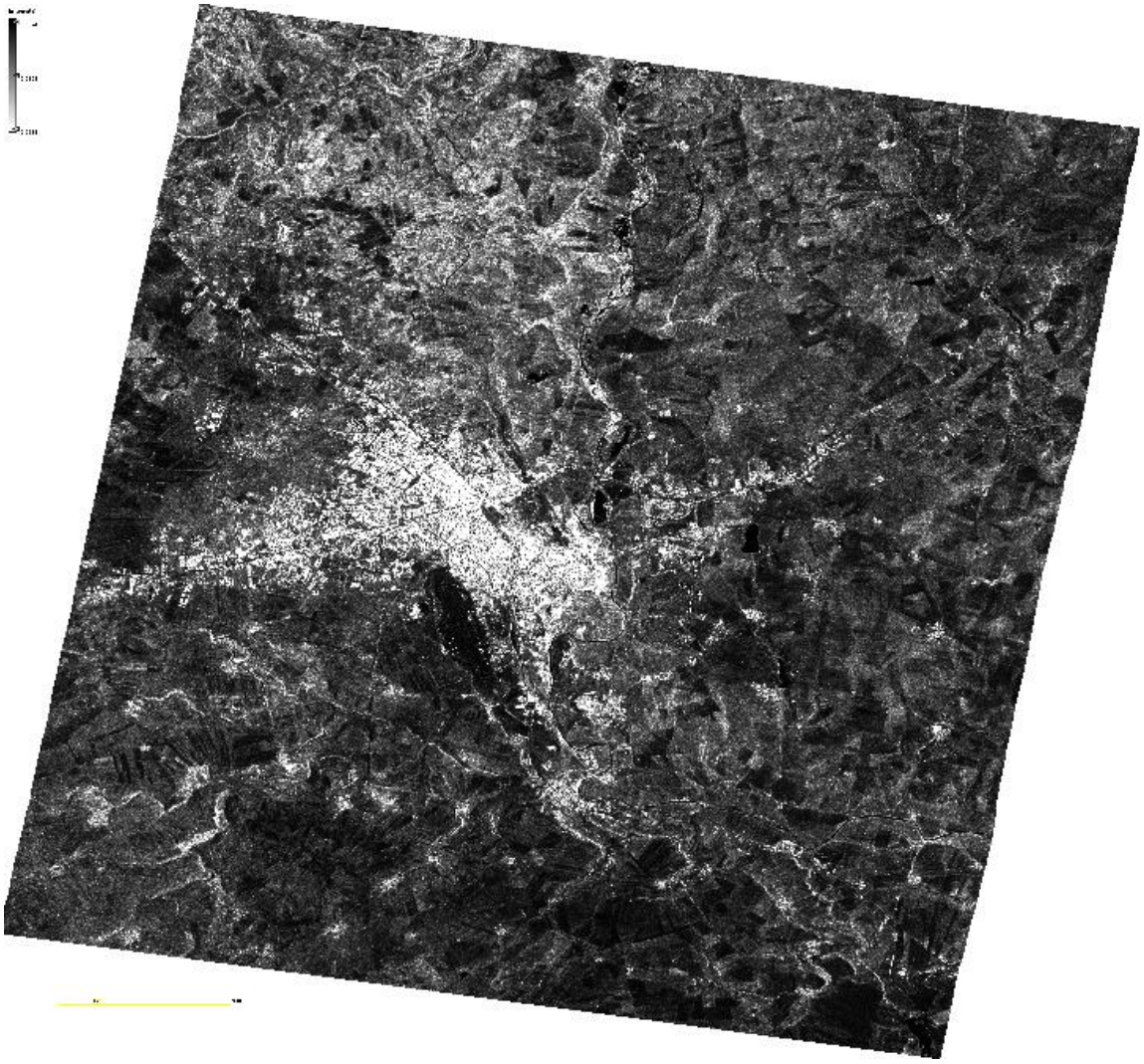
Bu geometrik bozulmaların etkileri Şekil 3.8.'de gösterilmiştir. Şekil 3.8 (a)' da, a ve b noktaları arasındaki mesafe olması gerekenden daha kısa görülmekte (kısaltım); Şekil 3.8 (b)' de, a noktasındaki dönüş yükseklik nedeniyle b noktasındaki dönüşten daha önce gerçekleşmektedir. Yani a-b noktası, b'- a' olarak yansımıştır (örtüşme). Son olarak, Şekil 3.8 (c)' de ise büyüyen radar geliş açılarına bağlı olarak arazi tepeleri gölgeleme etkisine sebep olmaktadır (Anonim 2017).



Şekil 3.8. SAR geometrik bozulmalar (a) Kısaltım (b) Örtüşme (c) Gölgeleme (Anonim 2017)

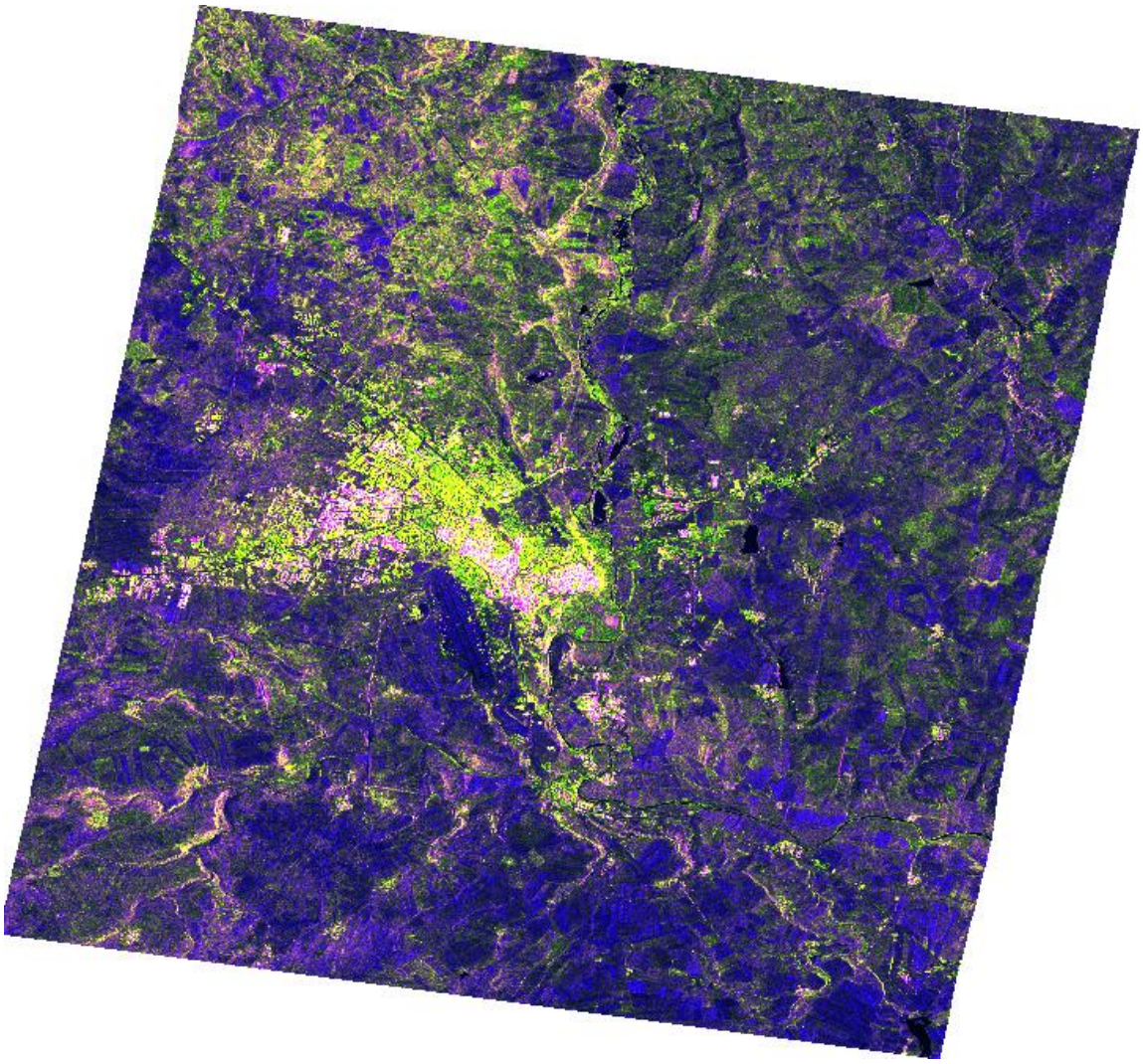
Bu çalışmada arazi düzeltme işlemi için SRTM 3sn DEM kullanılmış ve varsayılan çıkış harita projeksiyonu olarak da Universal Transverse Mercator (UTM) (WGS84) seçilmiştir.

Ayrıca, görüntü ve DEM'de yeniden örnekleme için bilinear enterpolasyon yöntemi uygulanmıştır. Şekil 3.9.'da Diyarbakır iline ait 27.02.2015 tarihli, çoklu-işlemi ve filtrelenmesi yapılmış VH polarizasyonlu Fine-Quad Radarsat-2 görüntüsüne arazi düzeltme işlemi uygulanmıştır.



Şekil 3.9. Diyarbakır iline ait 27.02.2015 tarihli, çoklu-bakış ve filtreleme işlemi yapılmış vh polarizasyonlu Radarsat-2 görüntüsüne arazi düzeltme işleminin uygulanması

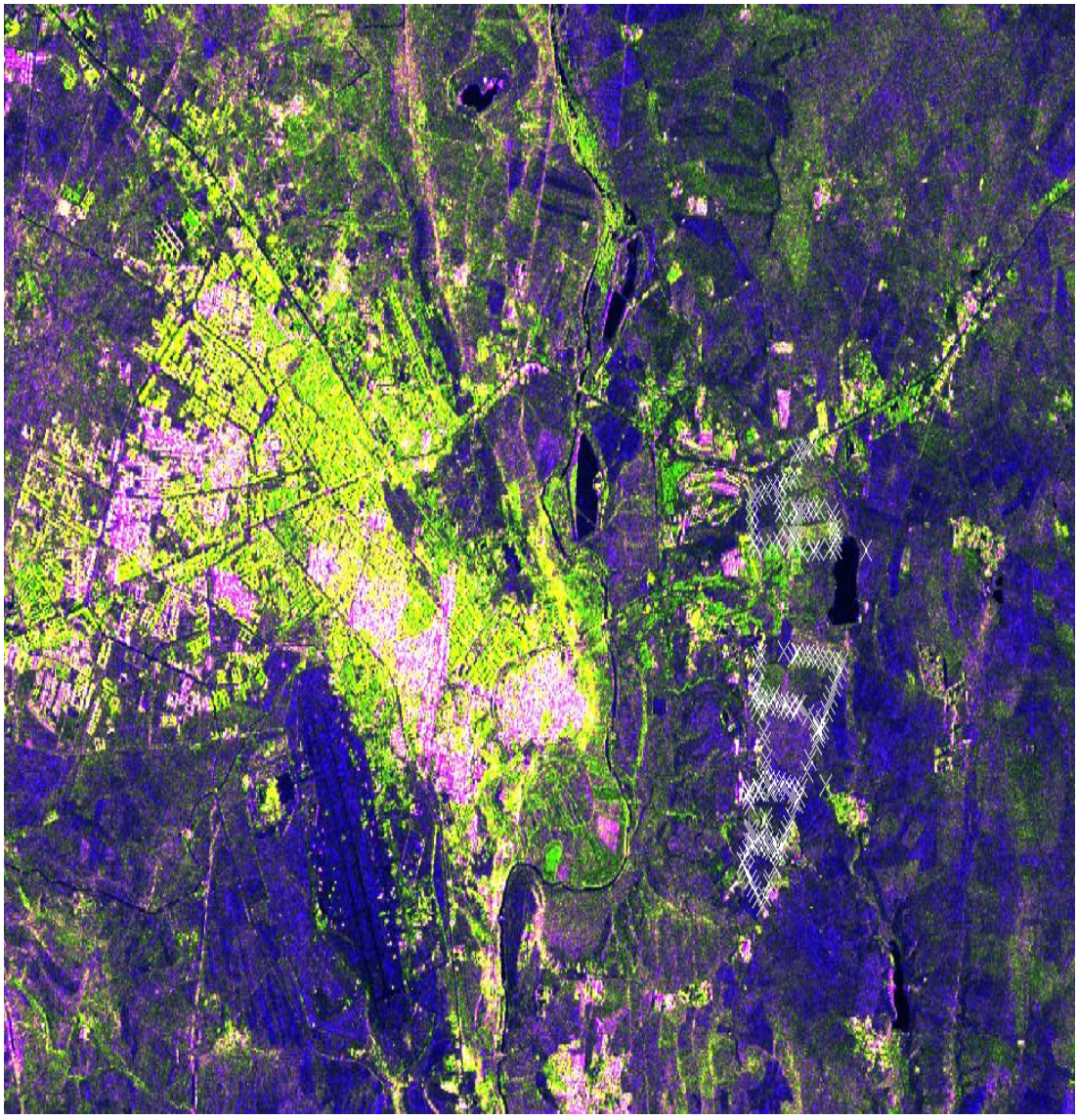
Arazi düzeltme işleminden sonra Şekil 3.10'da, 27.02.2015 tarihli VH polarizasyonlu Fine-Quad Radarsat-2 verisine ait üç farklı (R=HH; G=VH; B=HH/HV) bandın birleştirilmesiyle DualPol HH+VV RGB görüntüsü elde edilmiştir.



Şekil 3.10. 27.02.2015 tarihli arazi düzeltme işlemi yapılmış vh polarizasyonlu fine-quad Radarsat-2 verisine ait üç farklı (r=hh; g=vh; b=hh/hv) bandın birleştirilmesiyle elde edilen dualpol hh+vv rgb görüntüsü

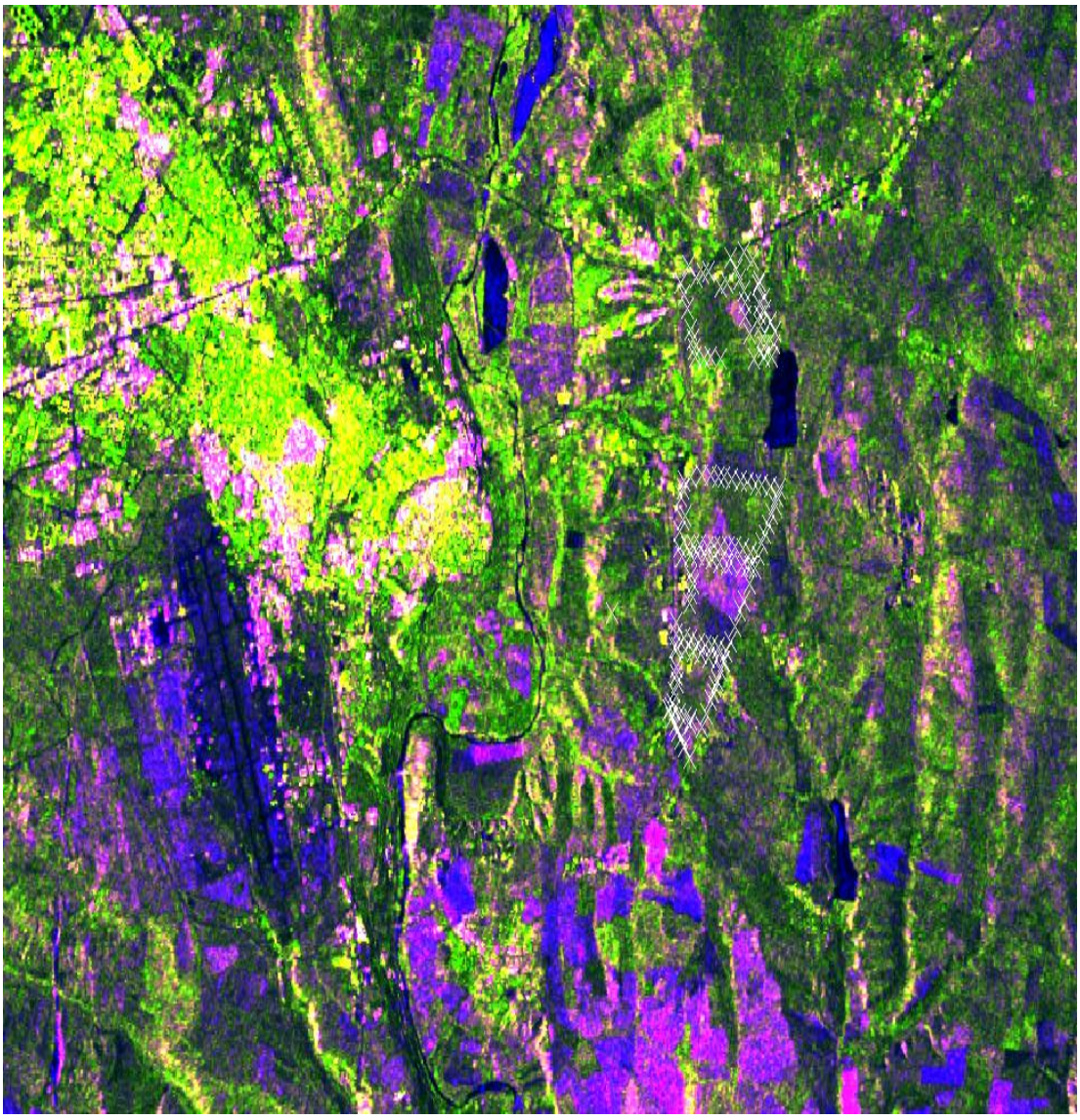
Toprak numunelerinin alındığı noktalara ait GPS değerleri daha sonra ARCGIS 10.2 yazılımı ile shp uzantılı vektörlere dönüştürülmüş ve bu vektörler önişlemi tamamlanmış Radarsat-2 uydu görüntülerine aktarılmıştır.

Daha sonra, önişlemi tamamlanmış 27 Şubat 2015 tarihli RGB Radarsat-2 görüntüsü ve çalışma alanına ait GPS noktaları Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



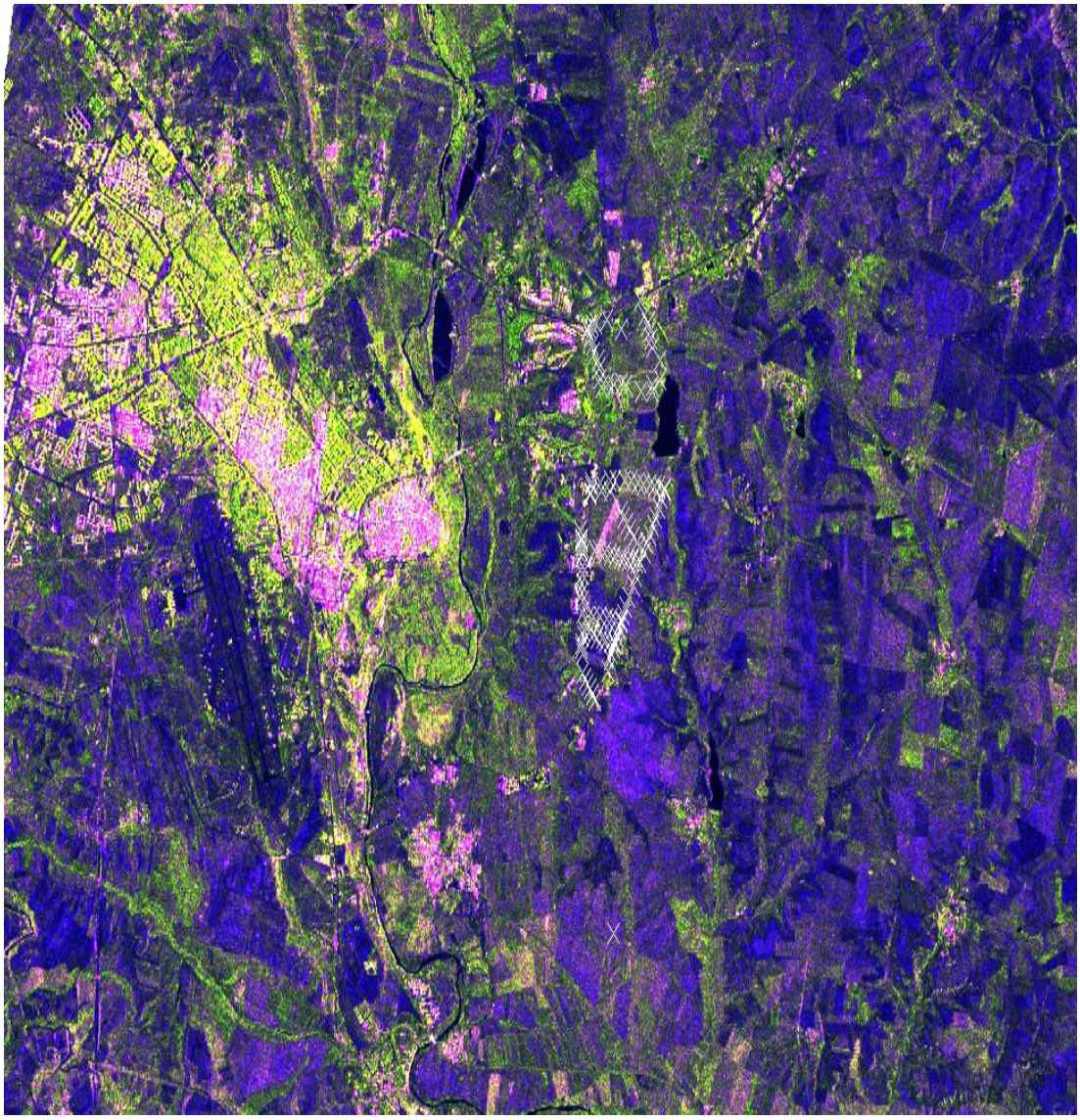
Şekil 3.11. 27.02.2015 tarihli önişlemi yapılmış fine-quad Radarsat-2 verisine ait üç farklı (r=hh; g=hv; b= hh/hv) bandın birleştirilmesiyle elde edilen (dual pol hh+hv) rgb görüntüsü ve çalışma alanına ait gps noktaları

Benzer şekilde, önişlemi tamamlanmış 8 Nisan 2015 tarihli RGB Radarsat-2 görüntüsü ve çalışma alanına ait GPS noktaları Şekil 3.12'de ifade edilmiştir.



Şekil 3.12. 08.04.2015 tarihli önişlemi yapılmış Radarsat-2 verisine ait üç farklı (r=hh; g=hv; b= hh/hv) bandın birleştirilmesiyle elde edilen (dual pol hh+hv) rgb görüntüsü ve çalışma alanına ait gps noktaları

Son olarak, önişlemi tamamlanmış 10 Haziran 2015 tarihli RGB Radarsat-2 görüntüsü ve çalışma alanına ait GPS noktaları Şekil 3.13'de ifade sunulmuştur.



Şekil 3.13. 10.06.2015 tarihli önişlemi yapılmış radarsat-2 verisine ait üç farklı (r=hh; g=hv; b= hh/hv) bandın birleştirilmesiyle elde edilen (dual pol hh+hv) rgb görüntüsü ve çalışma alanına ait gps noktaları

3.5. Özellik Çıkarımı

Uydu verileri gibi çok boyutlu ham verilerde sayısal verinin işlenmesi fazla bir zaman gerektirip bu verilerin tahmin sistemlerinde doğrudan kullanılması sorun oluşturabilmektedir. Bu nedenle, imgeleri iyi temsil edecek özellikler çıkartılıp bunların daha küçük boyuttaki bir uzaya haritalandırılmaları sağlanmalıdır. Uydu verilerini temsil eden özellikler, imgelerin kendilerinden doğrudan elde edilebileceği gibi değişik polarimetrik ayrıştırma modelleri ya da çoklu konfigürasyon SAR geri saçılma

katsayıları kullanılarak da türetilebilmektedir. Özellik çıkarımında farklı grupta bulunan örnekler arasındaki korelâsyonun mümkün olduğunca az, aynı grupta bulunan örnekler arasındaki korelâsyonun ise yeterince yüksek olduğu bir yapı istenmektedir. Bu sayede daha basit regresyon modelleri tasarlanabilir ve daha az işlem yükü oluşabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, çeşitli önişlemlerden geçirilerek belirli bir iz düşüm haritası üzerine oturtulmuş çok büyük boyutlardaki Radarsat-2 uydu verilerinden özellik vektörü çıkarmak için toprak numunelerinin alındığı noktalara ait GPS değerleri Radarsat-2 verilerine aktarılmıştır. Bu noktalara karşılık gelen doğrudan pikseller daha sonra 3x3 boyutunda pencere ile çevrelenmiş ve bu noktaları temsil eden yeni hücreler (3x3 piksel) oluşturulmuştur. Her hücre eğitim kümesinin farklı bir örüntüsü niteliğinde olup her bir örüntünün geri saçılma katsayısı, hücre içerisindeki piksellere ait saçılma katsayılarının ortalamasıyla hesaplanmıştır.

Sonuç olarak, Radarsat-2 verilerine ait farklı polarizasyonlardan her bir örüntü için dört adet sigma geri saçılma katsayısı ($\sigma_{HH}, \sigma_{HV}, \sigma_{VH}, \sigma_{VV}$) ile birlikte polarimetrik ayrıştırma temelli Freeman- Durden ve H/A/α modelleri kullanılarak altı adet saçılma parametresi (Çift Sıçrama, Hacim Saçılması, Yüzey Saçılması, Entropi, Anizotropi, Açı) hesaplanmıştır. Bu parametreler daha sonra art arda eklenerek veri setini oluşturan her bir örüntüden 10 birim uzunluğunda özellik vektörleri oluşturulmuştur. Bu çalışmada kullanılan özellik çıkarma yöntemleri detaylı bir şekilde aşağıda açıklanmıştır.

3.5.1. Standart SAR Tekniği

Sentetik Açıklı Radar (SAR), bir radar çeşidi olup elektromanyetik dalgaları dikey ve yatay polarizasyon ile hedefe gönderip hedeften geri saçılan dalgaların faz, polarizasyon ve yoğunluğunu ölçmektedir. Bir diğer SAR çeşidi olan polarimetrik SAR sistemi ise dört kanaldan (HH, HV, VH ve VV) oluşmakta ve bu sistemde giden ile geri saçılan dalga arasındaki bilgi, hedef obje hakkında bilgi almak için kullanılabilmektedir (Sakshaug 2013).

Geriye saçılmayı tanımlamak için kullanılan ana veri formatı, üç farklı matris (Eşitlik 3.1, 3.2 ve 3.4) ile açıklanmaktadır (Sakshaug 2013). Bunlar arasında Eşitlik 3.1, saçılma matrisini ifade etmekte ve bu matristeki elemanlar; polarizasyonun yataydan yataya, yataydan dikey, dikeyden yatay ve dikeyden dikey (HH, HV, VH, VV) düzeye gittiği dağılımları göstermektedir.

$$S_{2X2} = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} \tag{3.1}$$

Geriye saçılmayı ifade eden bir diğer matris Eşitlik 3.2'de tanımlanmıştır. Burada C_{3X3j} matrisi, tek bakışlı kovaryans matrisini ifade etmekte ve bu matris genellikle çoklu-bakış uygulanmış olarak tercih edilmektedir (Eşitlik 3.3).

$$C_{3X3j} = S_i S_i^{T*} = \begin{pmatrix} S_{hh}S^*_{hh} & \sqrt{2}S_{hh}S^*_{hv} & S_{hh}S^*_{vv} \\ \sqrt{2}S_{hv}S^*_{hh} & 2S_{hv}S^*_{hv} & \sqrt{2}S_{hv}S^*_{vv} \\ S_{vv}S^*_{hh} & \sqrt{2}S_{vv}S^*_{hv} & S_{vv}S^*_{vv} \end{pmatrix} \tag{3.2}$$

$$C_{3X3} = \frac{1}{L}\sum_{j=1}^{L} C_{3X3j} \tag{3.3}$$

Bu eşitliklerde; T^* karmaşık eşlenik transpozunu, S_i i pikseli için saçılma matrisini ve L çoklu bakış işlemlerinde bakış sayısını ifade etmektedir.

Ayrıca, $S_{HV}=S_{VH}$ eşit kabul edildiğinde S_i matrisi 1x3 uzunluğunda bir vektör yani, $Si = \begin{bmatrix} S_{HH} & \sqrt{2}S_{HV} & S_{VV} \end{bmatrix}^T$ olarak yeniden şekillendirilmiştir. Bu durum, karşılıklılık olarak tanımlanmaktadır.

Geriye saçılmada ana veri formatını tanımlayan en son matris Eşitlik 3.4 ile tanımlanmıştır. Burada, T_{3X3j} tek bakışlı koherent matrisini ifade etmektedir (Sakshaug 2013).

$$T_{3X3j} = k * k^{*T}, \quad k = \begin{bmatrix} S_{HH} + S_{VV} & S_{HH} - S_{VV} & S_{HV} + S_{VH} \end{bmatrix}^T \tag{3.4}$$

3.5.2. Polarimetrik Ayrıştırma Modelleri

Polarimetrik ayrıştırma modelleri, Eşitlik 3.1- 3.2 ve 3.4'de olduğu gibi dalga geri saçılmalarını tanımlayan bir dizi temel matrisin tasarımını sağlamakta ve geri saçılmaları, bu saçılmalara karşılık gelen katsayılarla çarpılan temel matrislerin doğrusal bir toplamı olarak ifade etmektedir (Sakshaug 2013). Böylece, her çözünürlük hücresinin saçılması, saçılma mekanizmalarının doğrusal bir toplamı olarak ifade edilebilmektedir (Cloude 1996). Polarimetrik ayrıştırma teoremlerinin anlaşılabilmesi için gönderilen dalga ile hedef nokta arasındaki etkileşimin tartışılması gerekmektedir.

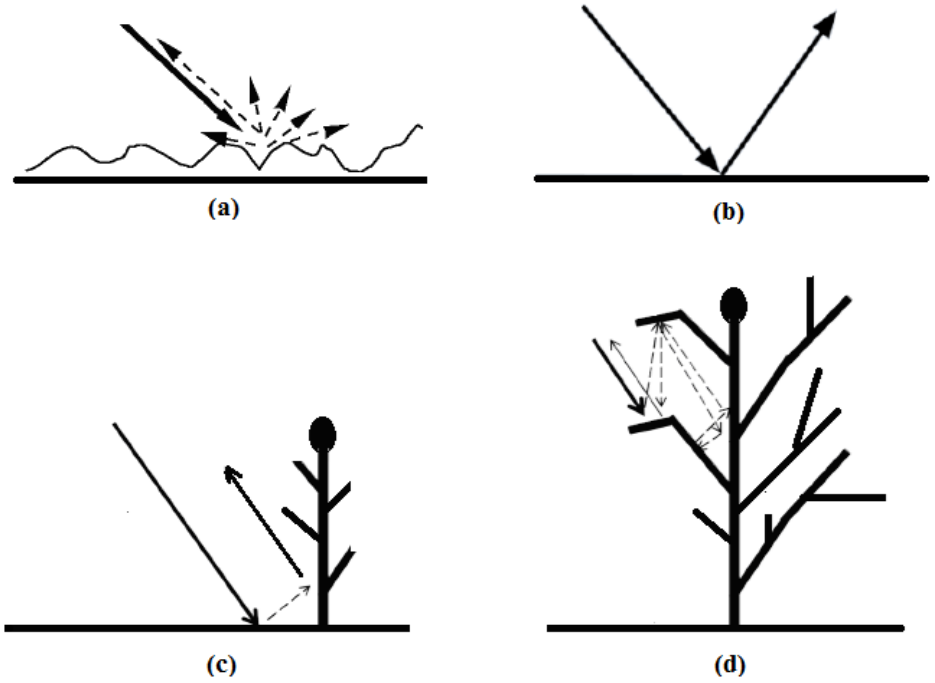
3.5.2.1. Geri-Saçılmış Dalgalar

Uydudan gönderilen elektromanyetik bir dalga, ortam ile etkileştiğinde üç durum meydana gelebilir. Bunlar sırasıyla; gelen bir dalganın emilimi, iletimi ya da yansıtılması durumlarıdır. SAR sistemleri ise yansıyan bu dalgaları ölçmek için kullanılmaktadır. İletilen bir dalga, yalın bir toprak yüzeyi ile etkileşime girdiğinde buradan yansıyan dalga, dalga boyu ile karşılaştırıldığında yüzey pürüzlülüğüne bağlı olacaktır. Rayleigh ve Fraunhofer kıstasları, düz veya pürüzlü yüzeylerde yansımaların nasıl olduğunu açıklamaktadır. Pürüzsüz bir yüzey genellikle aynasal yansımaya sebep olmakta ve bu yansıma yüzeyden uzağa tek yönlü güçlü yansımayı ifade etmektedir. Kaba yüzeyler ise dağınık bir dalga saçılmasına yol açmakta ve bu saçılma her yöne homojen bir güç ile dağılmaktadır. Ayrıca, kaba yüzeyler pürüzsüz yüzeylere göre genellikle daha güçlü dalga saçılması vermektedir (Ress 2013), (Chuvieco 2016).

Bunun yanı sıra, yalın topraklarda S_{HH} ve S_{VV} kanallarına gönderilen sinyal güçleri yaklaşık olarak eşit olmaktadır. Bu güç, yüzeyin dielektrik özellikleri ve eğimli arazilerde etkilenebilmektedir. Dahası, iletilen bir dalga bitki kanopisi tarafından yansıtıldığında, saçılma S_{HV} ve S_{HV} kanallarına katkıda bulunacak şekilde depolarize olacaktır. Bu durum, saçılmanın iki katından daha fazla sıçradığı anlamına gelmektedir (Yitayew ve ark. 2012).

Ayrıca, dihedral köşe reflektörlerinin varlığı daha güçlü bir çift sıçramaya (double bounce) yol açmaktadır. Bina, ağaç gövdeleri veya herhangi bir geometrik oluşum, dalgaların iki kez yansıtılmasına ve algılayıcıya doğru geri dönmesine neden

olmaktadır. Bitki örtüsünün hâkim olduğu bir alanda bu tür bir saçılma genellikle ekin gövdelerinden meydana gelmektedir. Çift sıçrama, S_{HH} kanalında güçlü tepki oluştururken S_{VV} kanalında daha zayıf bir tepki vermektedir (Yitayew ve ark. 2012). Şekil 3.14'de, bitki örtüsünün etkili olduğu tarımsal alanlarda meydana gelebilecek olası saçılma mekanizmaları gösterilmektedir.



Şekil 3.14. (a) Kaba bir yüzeyden dağınık saçılmayı, (b) Pürüzsüz bir yüzeyden aynasal saçılmayı, (c) Zemin ve bir ağaç gövdesinden çift saçılmayı ve (d) Bitki kanopisinden geriye doğru hacimsel saçılmayı göstermektedir.

3.5.2.2. Koherent Ayrıştırma Modelleri

Koherent ayrıştırma modelleri, Eşitlik 3.1' de belirtilen saçılma matrisini, bir çözünürlük hücresi içindeki saçılma mekanizmalarının toplamı olarak ifade etmeyi amaçlamaktadır (Sakshaug 2013). Bu modeller, insan yapımı yapıların baskın olduğu arazilerin tanımlanması için daha uygundur. Sonuç olarak, bu modeller yalnızca koherent hedefleri çalışmak için kullanılabilmektedir. Bu hedefteki saçıcılar, nokta veya sade yüzeyler (pürüzlü olmayan) olarak da bilinmektedir.

Koherent ayrıştırma modellerinden biri olan Pauli ayrışma modeline aşağıda kısaca değinilmiştir.

- **Pauli Ayrıştırma Modeli**

Pauli ayrıştırma modeli (Sakshaug 2013), S_{2x2} matrisini üç saçılma mekanizmasının toplamı olarak tanımlamakta ve bu ayrıştırma modeli Eşitlik 3.5'te ifade edilmektedir.

$$S_{2X2} = \alpha\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix} + \beta\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & -1\end{pmatrix} + \gamma\begin{pmatrix}0 & 1\\ 1 & 0\end{pmatrix} \tag{3.5}$$

İmge içerisindeki her bir piksele ait katsayısının bir değere sahip olduğu bilinmelidir. Eşitlik 3.5' teki α parametresi, tekli sıçrama olarak tanımlanmakta ve bu tip saçılma S_{HH} ve S_{VV} kanallarına yaklaşık olarak eşit katkı vermektedir. Tekli sıçramalar genellikle açık bir yüzeyden (çıplak topraklar) kaynaklanmaktadır. Aynı eşitlikte β parametresi, çift sıçrama olarak ifade edilmekte ve saçılmaların bu çeşidi genellikle bina duvarları veya ağaç gövdeleri ile zemin arasındaki etkileşimden kaynaklanmaktadır. Pauli ayrıştırmada kullanılan bir diğer parametre γ, hacim saçılması olarak yorumlanıp bitki kanopisinden gelen saçılmayı göstermektedir. Sonuç olarak, bileşik bir RGB imgesi; kırmızı kanala β, yeşil kanala γ ve mavi kanala α parametrelerine ait kare değerlerinin eklenmesiyle oluşturulmaktadır. Bu parametreler, sırasıyla Eşitlik 3.6'da belirtilmektedir (Sakshaug 2013).

$$\alpha = \frac{S_{hh} + S_{vv}}{\sqrt{2}},\ \beta = \frac{S_{hh} - S_{vv}}{\sqrt{2}},\ \gamma = \sqrt{2}S_{hv} \tag{3.6}$$

3.5.2.3. Koherent Olmayan Ayrıştırma Modelleri

Koherent olmayan ayrıştırma modellerinde ise, koherent veya saf yüzeylerdeki saçılmaların aksine dağınık yüzeylerdeki saçıcıların modellenmesi amaçlanmaktadır. Dağınık saçıcıların analiz edilebilmesi için sadece ikinci dereceden polarimetrik gösterimler kullanılabilmektedir. Bu gösterimler ise C_{3X3} kovaryans ya da T_{3X3} koherent matrisleri ile tanımlanmaktadır (Cloude 1996).

Böylece, koherent olmayan ayrışma modelleri, C_{3X3} veya T_{3X3} matris bileşenlerinin bir toplamı olarak ifade edilebilmektedir (Eşitlik 3.7).

$$C_{3X3} = \sum_{i=1}^{N} q_i C_i \,, \qquad T_{3X3} = \sum_{j=1}^{M} q_j T_j \tag{3.7}$$

Burada, q_i ve q_j matrislere karşılık gelen katsayılar iken C_{3X3} ve T_{3X3} temel matrislerdir.

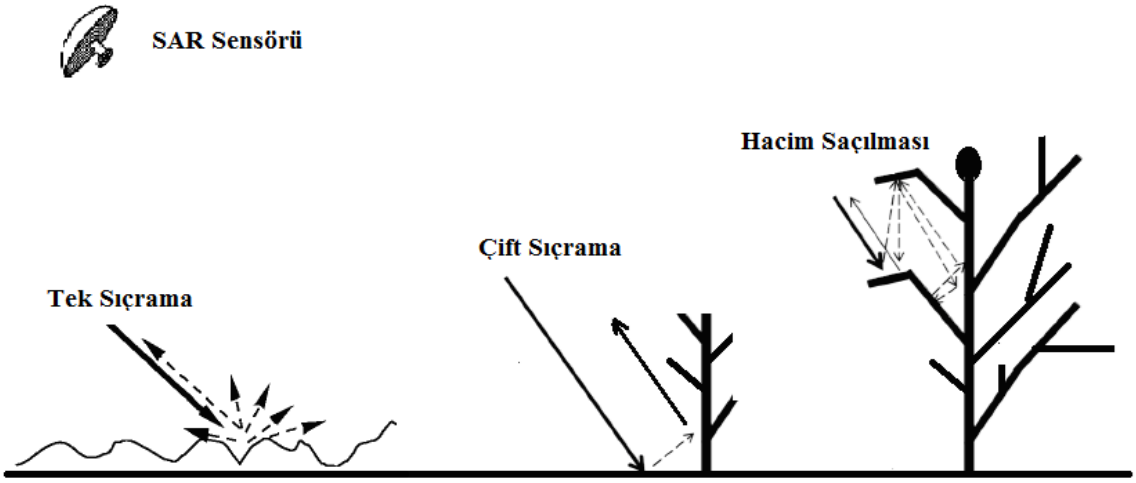
- **Model Tabanlı (Freeman Durden) Polarimetrik Ayrıştırma Modeli**

Model tabanlı ayrıştırma yöntemlerinde bileşenler fiziksel bir yorumla ifade edilmektedir. Bu modelin diğer ayrıştırma teoremlerine göre dezavantajı parametrelerin hesaplanmasında daha fazla zaman alması ve geri saçımı tanımlayan fiziksel modellerin daha karmaşık olmasıdır.

Freeman-Durden, üç bağımsız saçılma mekanizmasına dayalı bir ayrıştırma modelidir. Herhangi bir zemin ölçümüne ihtiyaç duymadığı için çok önemli bir yöntemdir. Bu saçılma mekanizmaları; hacim saçılması, çift sıçrama ve yüzey saçılması (tek sıçrama) parametrelerinden oluşmaktadır (Freeman ve Durden 1998). Bu parametrelerden hacim saçılması, rastgele yönlenmiş dipol bulutlarının oluşturduğu kanopi saçılmalarını, çift bir çift farklı dielektrik katsayıları ile dik yüzeylerden gelen saçılmalarını ve son olarak yüzey saçılması ise pürüzlü bir yüzeyden oluşan saçılmayı ifade etmektedir (Freeman ve Durden 1998), (Lee ve Eric 2009). Şekil 3.15'de saçılma mekanizmaları gösterilmektedir.

- *Hacim Saçılması*

Hacim saçılması, Eşitlik 3.5' te belirtildiği gibi birden fazla depolarize olmuş geri saçılmalı sıçrama olarak tanımlanmaktadır. Hacim saçılması; yatay olarak çok ince, rastgele yönlenmiş, silindir şeklindeki dipol (saçıcı) bulutlarından meydana gelen saçılma olarak modellenmiştir.

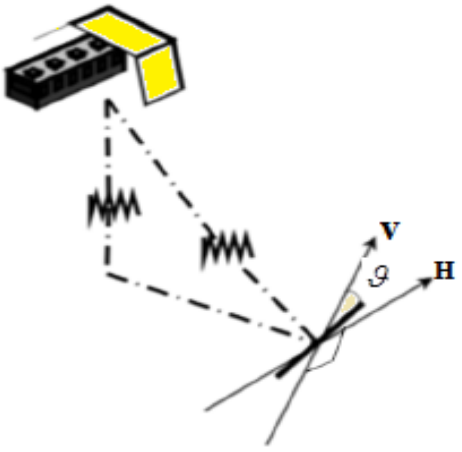


Şekil 3.15. Üç temel saçılma mekanizması

Bu tür saçıcıları simüle etmek için dik doğrusal xy düzleminde bir elementer dipolün yatay olarak yöneldiği varsayılıp bir dipol için saçılma matrisi Eşitlik 3.8'de verilmektedir (Lee ve Eric 2009).

$$S_{2X2,dipole} = \begin{pmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{pmatrix}, \quad a >> b \tag{3.8}$$

Bu eşitlikte a ve b karmaşık saçılma katsayılarını ifade etmekte ve dipol yatay olarak yönlendiği için a>>b olarak kabul edilmektedir. Eğer ki bir dipol, radar görüş çizgisi etrafında ϑ açısı altında dönüş yapıyorsa (Şekil 3.16) yönlendirilmiş bu dipolun saçılma matrisi Eşitlik 3.9'da göründüğü gibi olmaktadır (Freeman ve Durden 1998).



Şekil 3.16. Dipol ile radar görüş çizgisi arasındaki ϑ açılı yönelme

$$S_{\vartheta} = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\vartheta & \sin\vartheta \\ -\sin\vartheta & \cos\vartheta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a & 0 \\ 0 & b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos\vartheta & -\sin\vartheta \\ \sin\vartheta & \cos\vartheta \end{bmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} aCos^2(\vartheta) + bSin^2(\vartheta) & (b-a)Cos(\theta)Sin(\vartheta) \\ (b-a)Cos(\vartheta)Sin(\vartheta) & bCos^2(\vartheta) + aSin^2(\vartheta) \end{pmatrix} \tag{3.9}$$

Radar verici ve alıcı koordinat sistemleri aynı olduklarından dolayı, oluşturulan saçılma matrisleri simetrik olmalı ve bu nedenle S_{HV} ve S_{VH} eşit kabul edilmelidir. Saçıcılar (Dipoller) radar bakış yönüyle $p(\vartheta)$ olasılık yoğunluk fonksiyonu (PDF) ile rastgele yönlendirilebilirler. Burada ϑ dikey eksendeki dönme açısını ifade etmektedir. Böylece, fonksiyonların beklenen değeri $f(\vartheta)$, Eşitlik 3.10'da verilmektedir.

$$\langle f \rangle = \int_0^{2\pi} f(\vartheta)\, p(\vartheta) d\vartheta \tag{3.10}$$

Eşitlik 3.2'de tanımlanmış kovaryans matrisinin (saçılma matrisinin 2.dereceden istatistikleri) tüm elemanları, Eşitlik 3.10 kullanılarak üretilmektedir.

$$\langle S_{HH} S^*_{HH} \rangle = \langle S_{\vartheta 11} S^*_{\vartheta 11} \rangle$$

$$= \int_0^{2\pi} \left(aCos^2(\vartheta) + bSin^2(\vartheta)\right)\left(aCos^2(\vartheta) + bSin^2(\vartheta)\right)^* p(\vartheta) d\vartheta \tag{3.11}$$

$$\langle S_{HH} S^*_{HV} \rangle = \langle S_{\vartheta 11} S^*_{\vartheta 12} \rangle$$

$$= \int_0^{2\pi} \left(aCos^2(\vartheta) + bSin^2(\vartheta)\right)\left((b-a)^* Cos(\vartheta)Sin(\vartheta)\right) p(\vartheta) d\vartheta \tag{3.12}$$

$$\langle S_{HV} S^*_{HV} \rangle = \langle S_{\vartheta 12} S^*_{\vartheta 12} \rangle$$

$$= \int_0^{2\pi} \left((b-a)Cos(\vartheta)Sin(\vartheta)\right)\left(aCos^2(\vartheta) + bSin^2(\vartheta)\right) p(\vartheta) d\vartheta \tag{3.13}$$

$$\langle S_{HH} S^*_{VV} \rangle = \langle S_{\vartheta 11} S^*_{\vartheta 22} \rangle$$

$$= \int_0^{2\pi} \left(aCos^2(\vartheta) + bSin^2(\vartheta)\right)\left(bCos^2(\vartheta) + aSin^2(\vartheta)\right)^* p(\vartheta) d\vartheta \tag{3.14}$$

$$\langle S_{VV} S^*_{VV} \rangle = \langle S_{\vartheta 22} S^*_{\vartheta 22} \rangle$$
$$= \int_0^{2\pi} \left(bCos^2(\vartheta) + aSin^2(\vartheta)\right)\left(bCos^2(\vartheta) + aSin^2(\vartheta)\right)^* p(\vartheta) d\vartheta \quad (3.15)$$

$$\langle S_{HV} S^*_{VV} \rangle = \langle S_{\vartheta 12} S^*_{\vartheta 22} \rangle$$
$$= \int_0^{2\pi} (b-a) Cos(\vartheta) Sin(\vartheta)\left(bCos^2(\vartheta) + aSin^2(\vartheta)\right)^* p(\vartheta) d\vartheta \quad (3.16)$$

Yukarıdaki eşitliklerde tanımlı bu elemanlar, her bir gözlem hücresindeki mevcut dipollere ait hacim kovaryans matrisini ifade etmektedir. Mekanizmanın yatayda çok ince bir saçıcı olduğu varsayılırsa $\alpha \to 1$ ve $b \to 0$ kabul edilir. Ayrıca, Freeman-Durden teoreminde yönelim için olasılık yoğunluk fonksiyonunun dağılımı tekdüze varsayılırsa $p(\vartheta) = 1$ olur. Tüm bu varsayımlar göz önüne alındığında, yatay olarak çok ince, rastgele yönlenmiş, silindir şeklindeki saçıcı bulutlarından meydana gelen hacim saçılmasının ortalama kovaryans matrisi Eşitlik 3.17' de ifade edilmektedir.

$$\langle C_{3,vol} \rangle = \frac{f_V}{3} \begin{pmatrix} 3 & 0 & 1 \\ 0 & 2 & 0 \\ 1 & 0 & 3 \end{pmatrix} \quad (3.17)$$

Burada *fv*, hacim saçılmasının toplam $|S_{VV}|^2$ bileşenine katkısı olarak tanımlanmaktadır. Bu matris fiziksel olarak hedef vektörü $\Omega = [S_{HH} \;\; S_{HV} \;\; S_{VV}]^T$ ve $C(2,2) = \langle |S_{HV}|^2 \rangle = fv/3$ esas alınarak hesaplanmaktadır (Freeman ve Durden 1998).

- *Yüzey Saçılması (Tek Sıçrama)*

Bu mekanizmada, çapraz kutuplaşmış bileşenleri ihmal edilmiş pürüzlü yüzeyleri temsil etmek için birinci dereceden Bragg yüzey saçılma modeli kullanılmaktadır (Lee ve Eric 2009). Bragg yüzeyleri için *S* saçılma matrisi eşitlik 3.18'de gösterilmektedir.

$$S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_H & 0 \\ 0 & R_V \end{bmatrix} \tag{3.18}$$

Bu eşitlikte R_H ve R_V, yatay ve dikey polarizasyonlu dalgalar için Fresnel ya da yansıma katsayılarını ifade etmektedir. Hacim saçılma durumundaki aynı analoji kullanılarak, yüzey saçılma kovaryans matrisi Eşitlik 3.19'da verilmektedir.

$$\begin{aligned} \left\langle C_{3,sur} \right\rangle &= \begin{pmatrix} S_{hh}S^{*}{}_{hh} & \sqrt{2}S_{hh}S^{*}{}_{hv} & S_{hh}S^{*}{}_{vv} \\ \sqrt{2}S_{hh}S^{*}{}_{hv} & 2S_{hv}S^{*}{}_{hv} & \sqrt{2}S_{hv}S^{*}{}_{vv} \\ S_{vv}S^{*}{}_{hh} & \sqrt{2}S_{vv}S^{*}{}_{hv} & S_{vv}S^{*}{}_{vv} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} |R_H|^2 & 0 & R_H R^{*}{}_{V} \\ 0 & 0 & 0 \\ R_V R^{*}{}_{H} & 0 & |R_V|^2 \end{pmatrix} = f_s \begin{pmatrix} |\beta|^2 & 0 & \beta \\ 0 & 0 & 0 \\ \beta * & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{aligned} \tag{3.19}$$

Burada f_s, tek sıçrama (single bounce) saçılmasının toplam $|S_{VV}|$ bileşenine katkısı olarak tanımlanmakta ve Eşitlik 3.20 ile ifade edilmektedir.

$$f_s = \left\langle |S_{VV}|^2 \right\rangle \qquad \beta = \frac{R_H}{R_V} \tag{3.20}$$

β Parametresi yüzey saçılması ile alakalı olduğundan, HH ve VV geri dönüşlerinde faz farkı olmamalıdır. Bu nedenle, β parametresi teorik olarak Freeman-Durden tarafından gerçek değerli olarak kabul edilmiştir (Freeman ve Durden 1998).

- *Çift Sıçramalı Saçılma*

Çift sıçramalı saçılma bileşeni için gerekli model, iki düzlemli köşe reflektörlerinden oluşan saçılmanın temeline dayanmaktadır. Bu durumda, iki yansıtıcı yüzeyi, Şekil 3.10'da belirtildiği gibi zemin ve bitki senaryosunun tasvir edildiği farklı dielektrik malzemelerden oluşabilmektedir. Ayrıca, dikey gövde yüzeyinin yatay ve dikey kutuplaşmalar için sırasıyla R_{TH} ve R_{TV} yansıma katsayılarına; yatay zemin yüzeyinin de Fresnel yansıma katsayıları R_{GH} ve R_{GV} sahip olduğu varsayılmaktadır. Bu modelin genelleştirilmesi için gerekli yayılma faktörleri $e^{2j\gamma H}$ ve $e^{2j\gamma V}$ daha sonra

modele dâhil edilmektedir. Burada γH ve γV karmaşık katsayıları sırasıyla, herhangi bir yayılım zayıflaması ve faz değişimi etkilerini temsil etmektedir. Bu durumda çift sıçrama modeli için saçılma matrisi Eşitlik 3.21 ile tanımlanmaktadır (Lee ve Eric 2009).

$$S = \begin{bmatrix} S_{HH} & S_{HV} \\ S_{VH} & S_{VV} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{2j\gamma H} R_{TH} R_{GH} & 0 \\ 0 & e^{2j\gamma V} R_{TV} R_{GV} \end{bmatrix} \tag{3.21}$$

Böylece, Eşitlik 3.22'deki C_{3db} çift sıçramalı kovaryans matrisi, Eşitlik 3.21' de tanımlı saçılma matrisi kullanılarak elde edilmektedir.

$$\begin{aligned} \left\langle C_{3,db} \right\rangle &= \begin{pmatrix} S_{hh}S^*_{hh} & \sqrt{2}S_{hh}S^*_{hv} & S_{hh}S^*_{vv} \\ \sqrt{2}S_{hh}S^*_{hv} & 2S_{hv}S^*_{hv} & \sqrt{2}S_{hv}S^*_{vv} \\ S_{vv}S^*_{hh} & \sqrt{2}S_{vv}S^*_{hv} & S_{vv}S^*_{vv} \end{pmatrix} \\ &= \begin{pmatrix} \left|R_{TH}R_{GH}\right|^2 & 0 & e^{2j(\gamma H-\gamma V)}R_{TH}R_{GH}R^*_{TV}R^*_{GV} \\ 0 & 0 & 0 \\ e^{2j(\gamma V-\gamma H)}R_{TV}R_{GV}R^*_{TH}R^*_{GH} & 0 & \left|R_{TV}R_{GV}\right|^2 \end{pmatrix} \\ &= f_d \begin{pmatrix} |\alpha|^2 & 0 & \alpha \\ 0 & 0 & 0 \\ \alpha^* & 0 & 1 \end{pmatrix} \end{aligned} \tag{3.22}$$

Burada f_d, çift sıçrama saçılmasının, $|S_{VV}|^2$ bileşenine katkısı olarak tanımlanmakta ve Eşitlik 3.23 ile ifade edilmektedir.

$$f_d = \left|R_{TV}R_{GV}\right|^2 \qquad \alpha = e^{2j(\gamma H-\gamma V)}\frac{R_{TH}R_{GH}}{R_{TV}R_{GV}} \tag{3.23}$$

Sonuç olarak, Freeman-Durden ayrıştırma ile ölçülen kovaryans matrisi Eşitlik 3.24'de gösterildiği gibi üç kovaryans saçılma matrisinin toplamı olarak tanımlanabilmektedir (Freeman ve Durden 1998).

$$\left\langle C_3 \right\rangle = \left\langle C_{3,vol} \right\rangle + \left\langle C_{3,db} \right\rangle + \left\langle C_{3,sur} \right\rangle \tag{3.24}$$

- **Öz değer ve Öz vektör Temelli (H/A/Alfa) Polarimetrik Ayrıştırma Modeli**

Polarimetrik ayrıştırma modellerinin bazıları, C_3 veya T_3 matrisinin öz değer ve öz vektör ayrıştırma temellidir. Bu durum, temel matrislerin ortogonal olmasını sağlamakta ve T_3 diyagonal matrisi D_3 ile ifade edilebilmektedir (Sakshaug 2013).

H/A/Alfa polarimetrik ayrıştırma modeli, T3 koherent matrisinin öz değer ve öz vektör tabanlı analizi üzerine kurulmuş ve burada T3 matrisi Eşitlik 3.25 ile ifade edilmektedir (Cloude 1997).

$$\langle T_3 \rangle = \frac{1}{2}\begin{pmatrix} \langle |S_{HH}+S_{VV}|^2 \rangle & \langle (S_{HH}+S_{VV})(S_{HH}-S_{VV})^* \rangle & \langle 2S^*_{HV}(S_{HH}+S_{VV}) \rangle \\ \langle (S_{HH}-S_{VV})(S_{HH}+S_{VV})^* \rangle & \langle |S_{HH}-S_{VV}|^2 \rangle & \langle 2S^*_{HV}(S_{HH}-S_{VV}) \rangle \\ \langle 2S_{HV}(S_{HH}+S_{VV})^* \rangle & \langle 2S_{HV}(S_{HH}-S_{VV})^* \rangle & \langle 4|S_{HV}|^2 \rangle \end{pmatrix} \quad (3.25)$$

Burada, koherent matrisi T_3 Eşitlik 3.26 ile yeniden tanımlanmaktadır.

$$\langle T_3 \rangle = u_3 \lambda u_3^{-1}, \quad \lambda = \begin{bmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{bmatrix} \quad (3.26)$$

Yukarıdaki eşitlikte, λ matrisi T_3'den hesaplanan öz değerlerden oluşmaktadır. Buna ek olarak, hesaplanan u_i öz vektörleri Eşitlik 3.27 'de gösterilmektedir.

$$u_i = \begin{bmatrix} \cos\alpha_i \\ \sin\alpha_i \cos\beta_i e^{j\delta_i} \\ \sin\alpha_i \cos\beta_i e^{j\gamma_i} \end{bmatrix} \quad (3.27)$$

Eşitlik 3.27' de gösterildiği gibi u_3 birimsel matrisinin oluşturulması için daha sonra üç öz vektör (i = 1, 2, 3 için) kullanılmaktadır.

$$u_3 = [u_1\, u_2\, u_3] = \begin{bmatrix} \cos\alpha_1 & \cos\alpha_2 & \cos\alpha_3 \\ \sin\alpha_1 \cos\beta_1 e^{j\delta_1} & \sin\alpha_2 \cos\beta_2 e^{j\delta_2} & \sin\alpha_3 \cos\beta_3 e^{j\delta_3} \\ \sin\alpha_1 \cos\beta_1 e^{j\gamma_1} & \sin\alpha_2 \cos\beta_2 e^{j\gamma_2} & \sin\alpha_3 \cos\beta_3 e^{j\gamma_3} \end{bmatrix} \quad (3.28)$$

Yukarıdaki eşitlikte; α geliş açısını, β yönlendirme açısını γ ve δ ise fazların ilişkisini açıklamaktadır. Bu ayrıştırma modelinin en önemli özelliklerinden biri, parametrelerin radar hattı çevresinde dönüş için değişmez ve sabit olmasıdır. Böylece, polarimetrik entropi (H), polarimetrik anizotropi (A) ve alfa açısı ($\bar{\alpha}$) da dâhil olmak üzere üç istatistiksel özellik bu modelin analizini kolaylaştırmak için sırasıyla Eşitlik 3.29 - 3.31 arasında tanımlanmaktadır (Cloude 1997).

$$H = -\sum_{i=1}^{3} P_i \log_3(P_i), \quad P_i = \frac{\lambda_i}{\sum_{r=1}^{3} \lambda_r}, \quad 0 \le H \le 1 \quad . \tag{3.29}$$

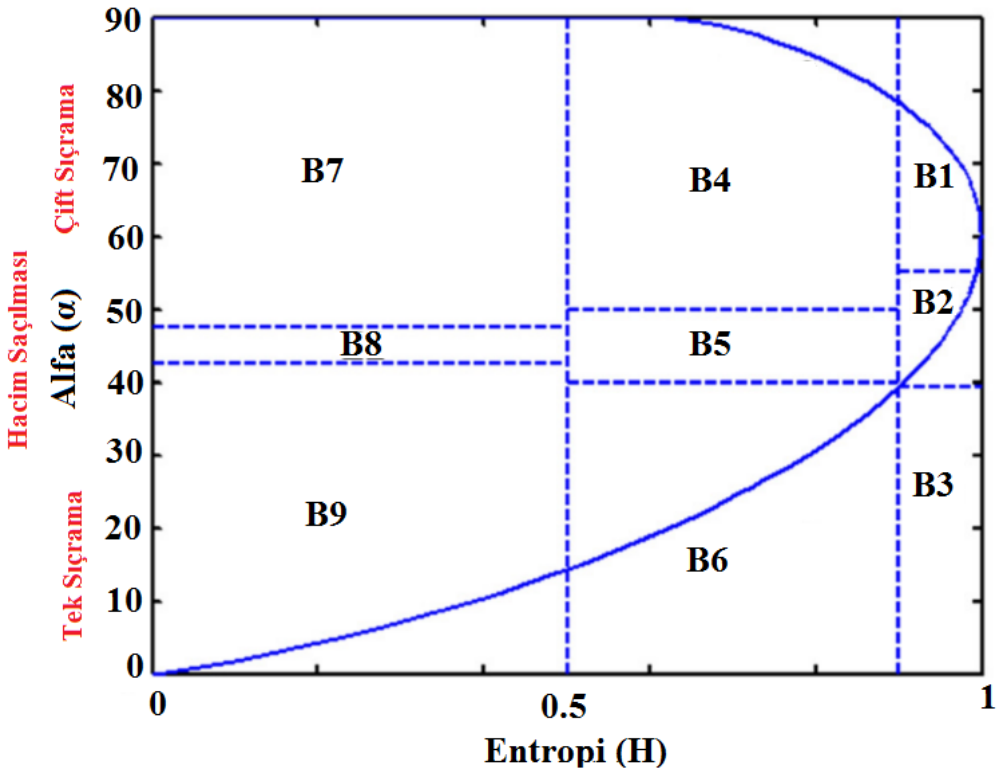
$$A = \frac{\lambda_2 + \lambda_3}{\lambda_2 - \lambda_3}, \quad 0 \le A \le 1 \tag{3.30}$$

$$\bar{\alpha} = \sum_{i=1}^{3} P_i \alpha_i , \quad 0 \le \bar{\alpha} \le \pi/2 \tag{3.31}$$

Burada λ_i polarimetrik koherent matrisi T3'ün öz değerlerini, P_i ise her bir öz değerin olasılığını temsil etmektedir. Özetlemek gerekirse, entropi ve anizotropi parametreleri saçılma mekanizmaları arasındaki baskınlık seviyesi şeklinde yorumlanabilmektedir. Entropi parametresi birinci saçılma mekanizmasının diğer iki saçılma mekanizmasına karşı baskınlık seviyesini gösterdiğinden dolayı, bu parametre ile mevcut durumda bir ya da daha çok saçılma mekanizmasının olduğunu belirlemek mümkündür. Anizotropi parametresi, ikinci ve üçüncü saçılma mekanizmaları arasındaki baskınlık seviyesini ifade ederek mevcut durumda iki ya da üç saçılma mekanizmasının olup olmadığını belirten önemli bir parametredir. $\bar{\alpha}$ parametresi ise baskın saçılma mekanizmalarının ortalamasına bağlı olup düşük $\bar{\alpha}$ açısı, tekli saçılma mekanizması; 45^0 yakınlarındaki $\bar{\alpha}$ açısı hacimsel saçılmayı ve son olarak 90^0 yakınlarındaki $\bar{\alpha}$ açısı ise çift saçılmayı ifade etmektedir (Sakshaug 2013).

Şekil 3.17'de tanımlı H/α düzlemi, SAR görüntülerinin analiz edilmesine olanak sağlamaktadır. Bu iki boyutlu H/α düzleminin alt uzayında, olası tüm rassal ve deterministik herhangi bir saçılma mekanizması temsil edilebilmektedir.

Teorik olarak α ; yüzey, hacim ve çift sıçrama saçılmalarına ayrılabilmektedir. Fakat entropi (düşük, orta ve yüksek entropi) etkileri dikkate alındığında, α parametresinin farklı bölgeleri farklı derecedeki saçılma teorileri kullanılarak tanımlanabilmektedir. H/α alt-uzayına ait 9 alana bölünmüş bölgelerin kısa açıklamaları aşağıda verilmiştir (Sakshaug 2013).



Şekil 3.17. H/α düzlemine ait bölgelerin fiziksel özellikleri.

- *B1 Bölgesi: Yüksek Entropi ve Çoklu Saçılma*

Yüksek entropi ortamında çift sıçrama saçılması hala ayırt edilebilmektedir. Bu durum iyi gelişmiş bir dal ve taç yapısına sahip bitki örtüsü ya da ormanlık alan ile alakalıdır (Cloude 1997).

- *B2 Bölgesi: Yüksek Entropi Vejetasyon Saçılması*

Tekli saçılma anizotropik iğne benzeri parçacık bulutlarından oluşurken, çoklu saçılma düşük kayıplı simetrik parçacık bulutlarından kaynaklanmaktadır. H/α alt-uzayına ait bu alt bölgenin alanı giderek küçülmektedir (Cloude 1997).

- *B3 Bölgesi: Yüksek Entropi Yüzey Saçılması*

Bu bölgede yüzey saçılması ayırt edilemediğinden bu senaryonun uygulanabilirliği mümkün değildir. Bu bölge, yükselen entropi ile sınırlandırılmış polarimetrik verileri kullanma yeteneğini vurgulamak için Cloude ve Pottier tarafından dahil edilmiştir (Cloude 1997).

- *B4 Bölgesi: Orta Entropi ve Çoklu Saçılma*

Bu bölge iki düzlemli saçılmayı orta entropi ortamına doğru oluşturmaktadır. Çift sıçrama kanopiye doğru bir yayılım ile izlenmektedir (Cloude 1997).

- *B5 Bölgesi: Orta Entropi Vejetasyon Saçılması*

Bu bölge anizotropik saçıcılar ile bitki örtüsü yüzeylerindeki saçılmayı göstermektedir (Cloude 1997).

- *B6 Bölgesi: Orta Entropi Yüzey Saçılması*

Daha yüksek pürüzlülük ve disk veya yaprakların varlığından dolayı oluşan rastgele yüzey saçılması bu bölgede gerçekleşmektedir (Cloude 1997).

- *B7 Bölgesi: Düşük Entropi ve Çoklu Saçılma*

Düşük entropi için çift sıçrama saçılması gibi olaylar, örneğin metalik dihedral (iki düzlemli) saçılma, bu bölgede gerçekleşmektedir (Cloude 1997).

- *B8 Bölgesi: Düşük Entropi Dipol Saçılması*

S_{HH} ve S_{VV} genlikleri arasındaki büyük bir dengesizlik ile kuvvetle ilişkili mekanizmalar bu kısımda gerçekleşmektedir (Cloude 1997).

- *B9 Bölgesi: Düşük Entropi Yüzey Saçılması*

Bu bölgede, Bragg yüzey saçılması gibi düşük frekans yüzey saçılması (fiziksel optik) ve geometrik optik gibi yüksek frekanslı yüzey saçılması gerçekleşmektedir. Ayrıca, Bragg yüzey saçılması için zemin yeterince pürüzsüz olduğundan, bu kısım tarımsal alanların yüzeysel saçılması için çok önemli bir parça olabilir. Ayrıca

polarimetre sınırlamaları, III. bölgede (imkânsız bölge) gerçekleşmesi gereken olayların bu bölgeye doğru kaydığını ve böylece bazı çok pürüzlü yüzeylerin (geometrik optik) de bu bölgede temsil edildiğini göstermiştir (Cloude 1997).

H/A/α polarimetrik ayrıştırma modelinin avantajlarının yanı sıra iki önemli dezavantajı da vardır. Bunlardan ilki, katı tanımlanan bölge sınırları nedeniyle çözünürlüğün her zaman düşük olması bir diğeri ise genlik bilgilerinin bu yöntem ile dikkate alınmamış olmasıdır. Ancak bu yöntem, özellikle yüzey saçılması gibi saçılma modellerine ait tüm olası senaryoları kapsadığından dolayı özellik çıkarma aşamasında çalışmamızda kullanılmıştır.

3.6. Toprak Nemi Tahmini için Makine Öğrenme Metodolojileri

Toprak nem alımında ortaya çıkan problemlerin yüksek karmaşıklığı ile doğrusal olamaması, deneysel ya da teorik modellerden daha ileri yöntemlerin geliştirilip kullanılmasını gerektirmektedir. Son yirmi yıl boyunca, jeofiziksel ve biyofiziksel değişkenlerin tahmini alanında başarıyla tanıtılıp uzaktan algılama topluluğunda artan bir ilgi üreten son derece güçlü regresyon yöntemleri sınıfı, doğrusal olmayan makine öğrenme teknikleri ile temsil edilmektedir. Gelişmiş öğrenme stratejileri nedeniyle, bu teknikler bir dizi referans örneğinde yer alan bilgileri kullanarak karmaşık ve doğrusal olmayan eşlemeleri bile öğrenebilmekte ve yaklaşık hale getirebilmektedir. Bu tekniklerin bir diğer avantajı ise, veri dağılımı konusunda herhangi bir varsayıma ihtiyaç duyulmadan her türlü veriyi modelleyebilmesidir. Bu nedenle, doğrusal olmayan makine öğrenme yöntemlerine genellikle dağılım-serbest denmektedir. Makine öğrenme tekniklerinin bu özelliği sayesinde, inversiyon işlemi için farklı kaynaklardan gelen veriler, zayıf tanımlanmış (veya bilinmeyen) olasılık yoğunluk fonksiyonları ve iyi ilişkilendirilmiş hedef değişkenler ile birleştirebilmektedir (Ali ve ark. 2015).

Literatürde, farklı makine öğrenme yöntemleri arasında olasılıksal sinir ağları toprak nem inversiyonu için önemli bir rol oynamaktadır. Bu ağlar, jeofiziksel ve biyo-fiziksel değişkenlerin tahmini alanında sıklıkla kullanılan tekniklerden biri olup birçok uygulama alanında geniş bir şekilde araştırılmaktadır. Ayrıca, Bayes ve simpleks algoritması gibi iyi bilinen diğer istatistiksel inversiyon modelleri ile

karşılaştırıldığında, bu yaklaşımın doğruluk, istikrar ve hesaplama hızı bakımından daha iyi sonuçlar verdiği gözlemlenmektedir (Paloscia ve ark. 2008).

Bu tez çalışmasında, toprak nem inversiyonu için makine öğrenme temelli genelleştirilmiş regresyon yapay sinir (GRNN) modeli kullanılmıştır. Bu model ile ilgili ayrıntılı bilgiler Bölüm 3.5.1'de açıklanmıştır.

3.6.1. GRNN İnversiyon Modeli

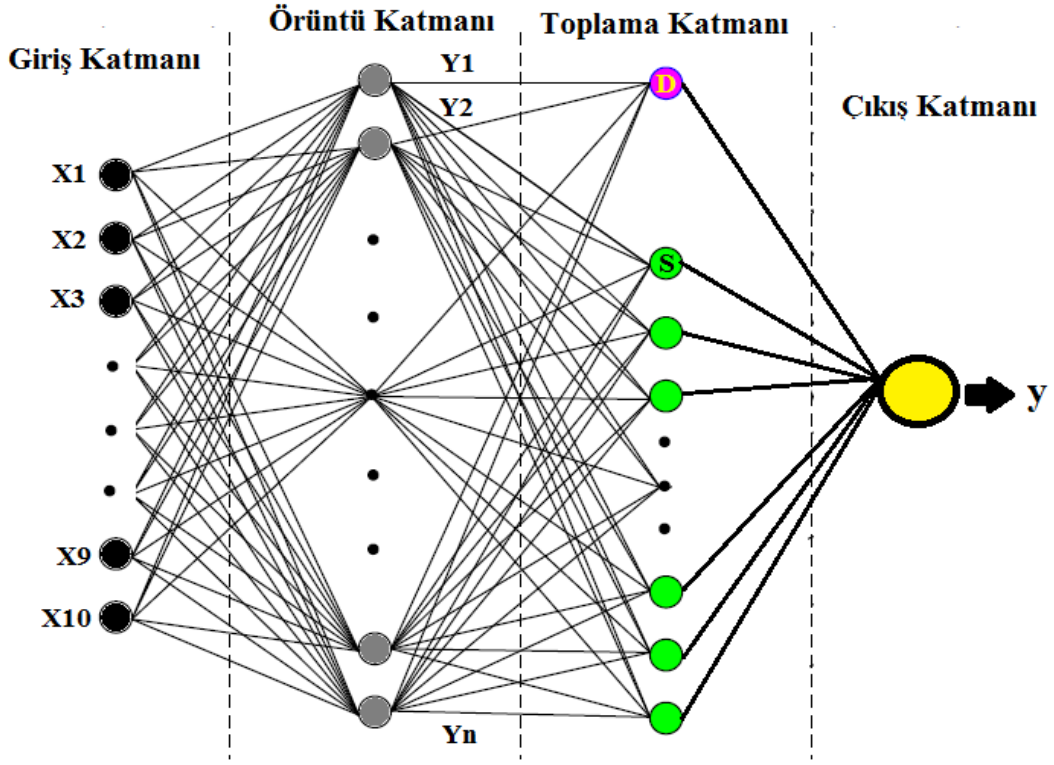
GRNN, Donald F. Specht tarafından önerilmiş güçlü ve doğrusal olmayan bir makine öğrenme tekniği olup olasılıksal sinir ağları kategorisinde yer almaktadır. Ayrıca bu model, diğer olasılıksal sinir ağlarında olduğu gibi bir geri yayılım sinir ağı için gerekli eğitim örneklerinden sadece bir kısmına ihtiyaç duymaktadır (Specht 1991). Dolayısıyla, olasılıksal bir sinir ağı sadece birkaç eğitim örneği ile bile verilerdeki temel fonksiyona yaklaşmakta ve bu durum, sistem performans tahminleri ile karşılaştırmalarında GRNN'yi geri yayılım sinir ağlarına göre çok daha kullanışlı bir model haline getirmektedir.

Bu çalışmada ise GRNN, yersel toprak nemi ile geri saçılma katsayıları arasındaki ilişkiden yola çıkarak toprak neminin hesaplanması için kullanılmıştır. Genel olarak bir GRNN mimarisi dört farklı katmandan oluşmaktadır. Bunlar sırasıyla giriş, örüntü (pattern), toplama (summation) ve çıkış katmanlarıdır. Bu katmanlardan örüntü ve toplam katmanları, gizli katmanlar olarak da adlandırılabilir, çünkü bunlar sinir ağı içinde olup bu ağın dış çevresiyle herhangi bir temas kurmazlar. GRNN model mimarisi Şekil 3.18'de gösterilmektedir.

Giriş katmanında, çalışmada elde edilen farklı geri saçılma parametrelerine (σhh, σhv, σvh, σvv, entropi, anizotropi, alfa açısı, hacim saçılması, yüzey saçılması ve çift sıçrama) karşılık gelen on adet nöron kullanılmıştır.

Örüntü katmanında, giriş katmanındaki değerler alındıktan sonra her örüntü nöronu, giriş vektörleri ile bir örüntü çıkışı arasındaki haritalamayı işler. Böylece, örüntü katmanındaki nöronlarının sayısı sağlanan örüntü sayısına eşit olur. Her örüntü nöronunun haritalandırılması, bir Gauss radyal taban fonksiyonuyla yönetilmektedir (Yip ve ark. 2012).

Şekil 3.18'de örüntü katmanı, giriş katmanına bağlı olup örüntü katmanının nöronları eğitim örüntülerini göstermektedir. Dahası, giriş verileri üzerinde doğrusal olmayan bir dönüşüm, örüntü katmanında gerçekleştirilmekte ve bu katmanın çıktısı, giriş verilerinin eğitim örüntüsünden uzaklığını ölçmektedir.



Şekil 3.18. GRNN model mimarisi

Bunun yanı sıra, toplama katmanı tekli D toplama nöronu ile çoklu S toplama nöronları olmak üzere iki farklı nöron tipinden oluşmaktadır. Ayrıca, örüntü katmanındaki tüm nöronlar tekli D toplama nöronu ile S toplama nöronlarına bağlı olup buradaki D toplama nöronu, örüntü katmanındaki nöronların ağırlıksız çıktılarının toplamını hesaplamak için kullanılırken S toplama nöronları, aynı katmanındaki nöronların ağırlıklı çıktılarının toplamını hesaplamak için kullanılmaktadır. Son olarak, çıkış katmanındaki nöron, toplam katmanındaki iki çıkış oranının hesaplanmasıyla tahmin edilen sonucu vermektedir (Specht 1991).

Aşağıdaki eşitliklerde, x ve y'nin sırasıyla giriş ve çıkış değişkenleri oldukları varsayılsın:

$$x = [x_1, x_2 ... x_m]^T \tag{3.32}$$

$$y = [y_1, y_2 ... y_n]^T \tag{3.33}$$

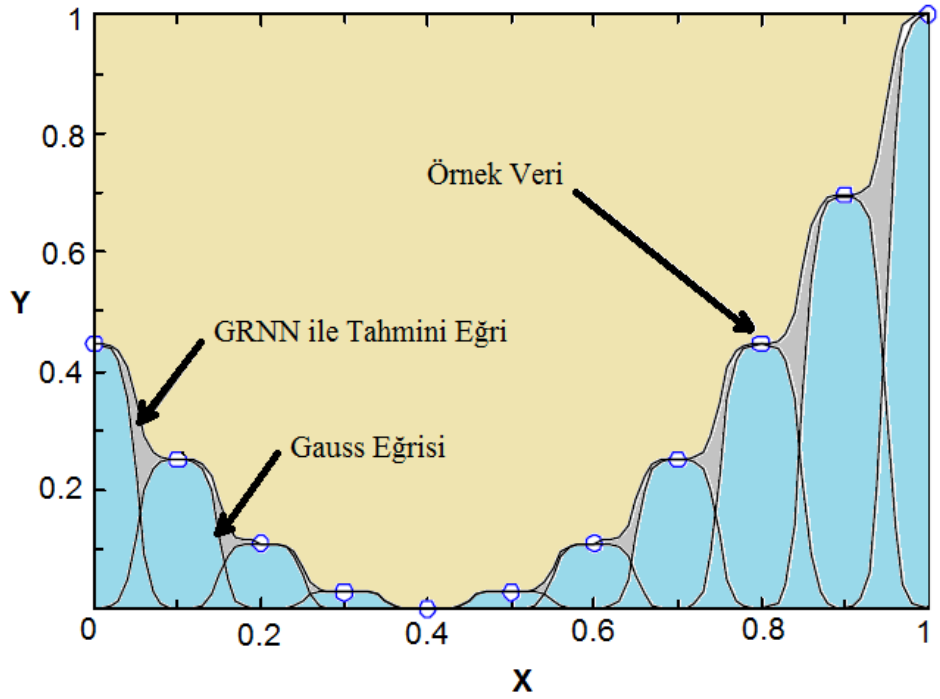
Hedef parametresi *y*, *x* değişkenlerinden GRNN regresyon modeli ile tahmin edilebilmektedir (Specht 1991), (Ali ve ark. 2015). Dolayısıyla, tahmin edilen $\hat{y}$, Eşitlik 3.34'de gösterildiği gibi hesaplanabilmektedir.

$$\hat{y}(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n} y^i \exp\left(-\frac{C_i}{\varsigma}\right)}{\sum_{i=1}^{n} \exp\left(-\frac{C_i}{\varsigma}\right)}, \quad C_i = \sum_{j=1}^{p} \left| x_j - x_j^i \right| \tag{3.34}$$

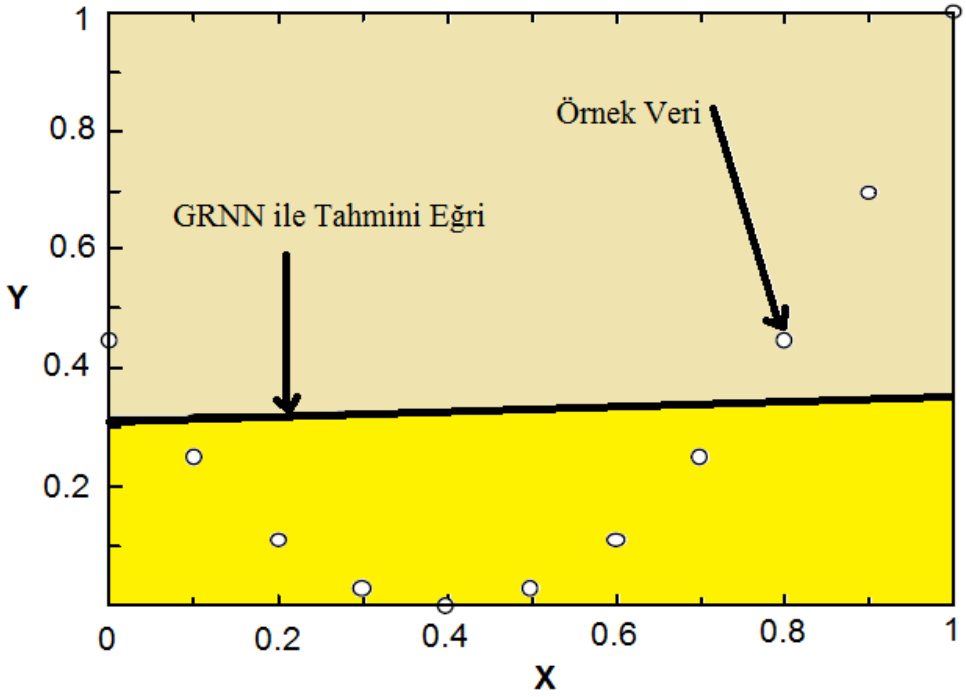
Burada *n* ve ς, sırasıyla eğitim numunelerinin sayısı ile yayılma parametrelerini belirtmektedir. Yayılma parametresi, GRNN modelinin doğruluğunu etkileyip Gauss fonksiyonunun çekirdek genişliğini düzenlemek için kullanılan önemli bir parametredir (Li ve ark. 2017).

3.6.2. Yayılma Parametresi (ς) Değerinin Seçimi

Yayılma parametresi, GRNN algoritması için tek bir kontrol parametresi olup bu parametrenin seçimi, tahmin için kullanılan uygulamaya bağlı olarak çeşitli açılardan dikkate alınmalıdır. GRNN'nin dezavantajlarından birisi eğri üzerinde wiggle denilen salınmalara sebep olmasıdır (Şekil 3.19). Bu salınmalar tahmin değerlerindeki ani değişikliklere neden olacak kadar ağır olabilmekte ve bu değişikler basamak eğrileri şeklinde görünebilmektedir (Bauer 1995). Şekil 3.15'te göründüğü gibi GRNN eğrisinde meydana gelen bu salınmalar sadece saçılma parametresinin değerine bağlı olmakta ve bu değer büyüdükçe tahmin edilen eğrisi de daha düz olmaktadır (Şekil 3.20). Eğer ς sonsuzluğa yaklaşırsa, tahmin edilen değer bütün örnek noktaların ortalamasına eşit olmaktadır (Bauer 1995).



Şekil 3.19. Küçük bir saçılma parametresi ile GRNN tahmini, $\varsigma = 0.03$



Şekil 3.20. Büyük bir saçılma parametresi ile GRNN tahmini, $\varsigma = 1$

Sonuç olarak, veriler genellikle ölçüm hataları içerip koşullar uygulamadan uygulamaya değiştiğinden dolayı, saçılma parametresi seçiminde doğru veya yanlış bir yoldan bahsetmek mümkün değildir. Bu nedenle, saçılma parametresi seçiminde tahmin sisteminde kullanılan özellik parametreleri ve uygulamalar önemli rol oynamaktadır (Bauer 1995). Bu çalışmada ise, en uygun saçılma parametresi deneme yanılma yöntemiyle bulunmuştur.

3.6.3. İstatistiksel Hata Metrikleriyle Performans Değerlendirilmesi

Hata metrikleri, tahmin modelinin ne kadar etkili olduğunu; gerçek ile tahmini değerler arasındaki ilişkinin gücünü ve tahmin sonucu elde edilen değerlerin gerçek değerlerden ne kadar saptığını değerlendirmek için kullanılan istatistiksel göstergelerdir. Bu çalışmada, tahmin modellerinin değerlendirilmesi için üç farklı hata metriği kullanılmıştır. Bunlar sırasıyla, kök ortalama kare hatası (RMSE), ortalama mutlak hata (MAE) ve determinasyon katsayısı (r^2)'dır. Bu göstergelere ait matematiksel modeller aşağıda verilmiştir.

3.6.3.1. Kök Ortalama Kare Hatası (RMSE)

RMSE, toplam kare hataların ortalamasının karekökü olup Eşitlik 3.35 ile ifade edilmektedir (Willmott ve Matsuura 2005):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \hat{y}\right)^2} \tag{3.35}$$

Burada, y_i gerçek değeri; n gözlem sayısını ve $\hat{y}$ tahmini değeri belirtmektedir. Bunun dışında, RMSE'nin tek olumsuz yanı, çok büyük pozitif ve negatif hatalarda hataların birbirlerinin etkilerini yok etmesinden dolayı sıfıra yakın değerler üretebilmesidir. Ayrıca, RMSE sık olmayan büyük hatalara büyük ağırlıklar yüklediğinden dolayı diğer metriklere göre daha hassastır. Bu nedenle, RMSE genellikle büyük hataların önemsenmediği durumlarda tercih edilmektedir (Willmott ve Matsuura 2005).

3.6.3.2. Ortalama Mutlak Hata (MAE)

Bu yaklaşımda. RMSE metriğinin aksine bu hata parametresi ile gerçek ve tahmini değerler arasındaki tüm farklara, ortalama eşit bir ağırlık yüklenmektedir. Eşitlik 3.36'da, bu parametreye ait matematiksel bir ifade sunulmaktadır (Willmott ve Matsuura 2005):

$$MAE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\left|y_i - \hat{y}_i\right|}{y_i} \tag{3.36}$$

Yukarıdaki eşitlikte, y_i gerçek değeri; n gözlem sayısını ve $\hat{y}_i$ tahmini değeri ifade etmektedir. Bunun yanı sıra, RMSE ile MAE gerçek ve tahmini değerler arasındaki hata sapmalarının gözlemlenmesi için birlikte kullanılabilmektedirler.

3.6.3.3. Determinasyon Katsayısı (r^2)

Determinasyon katsayısı, bağımlı ve bağımsız iki değişken arasındaki varyans oranını belirlemeye çalışan istatistiksel bir parametredir. Bu katsayı, regresyon eğrisi üzerindeki tahmini verilerin hedef verilerle ne ölçüde örtüştüğünü göstermektedir (Cameron ve ark. 1997).

Bu katsayı, 0 ile 1 aralığında bir değer almakta ve 1'e yaklaştıkça, regresyon eğrisinin verilerle çok uyumlu olduğunu göstermektedir. Bu metrik (r^2), korelasyon katsayısının karesiyle de hesaplanabilmektedir. Eşitlik 3.37'de, Pearson korelasyon katsayısının matematiksel ifadesi verilmektedir (Cameron ve ark. 1997).

$$r = \frac{\sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{\sqrt{n\sum x_i^{\,2} - \left(\sum x_i\right)^2}\sqrt{n\sum y_i^{\,2} - \left(\sum y_i\right)^2}} \tag{3.37}$$

Burada, x_i ve y_i sırasıyla n tane gerçek $\{x_1, ..., x_n\}$ ve tahmini $\{y_1, ..., y_n\}$ veri kümelerini göstermektedir.

4. BULGULAR ve TARTIŞMA

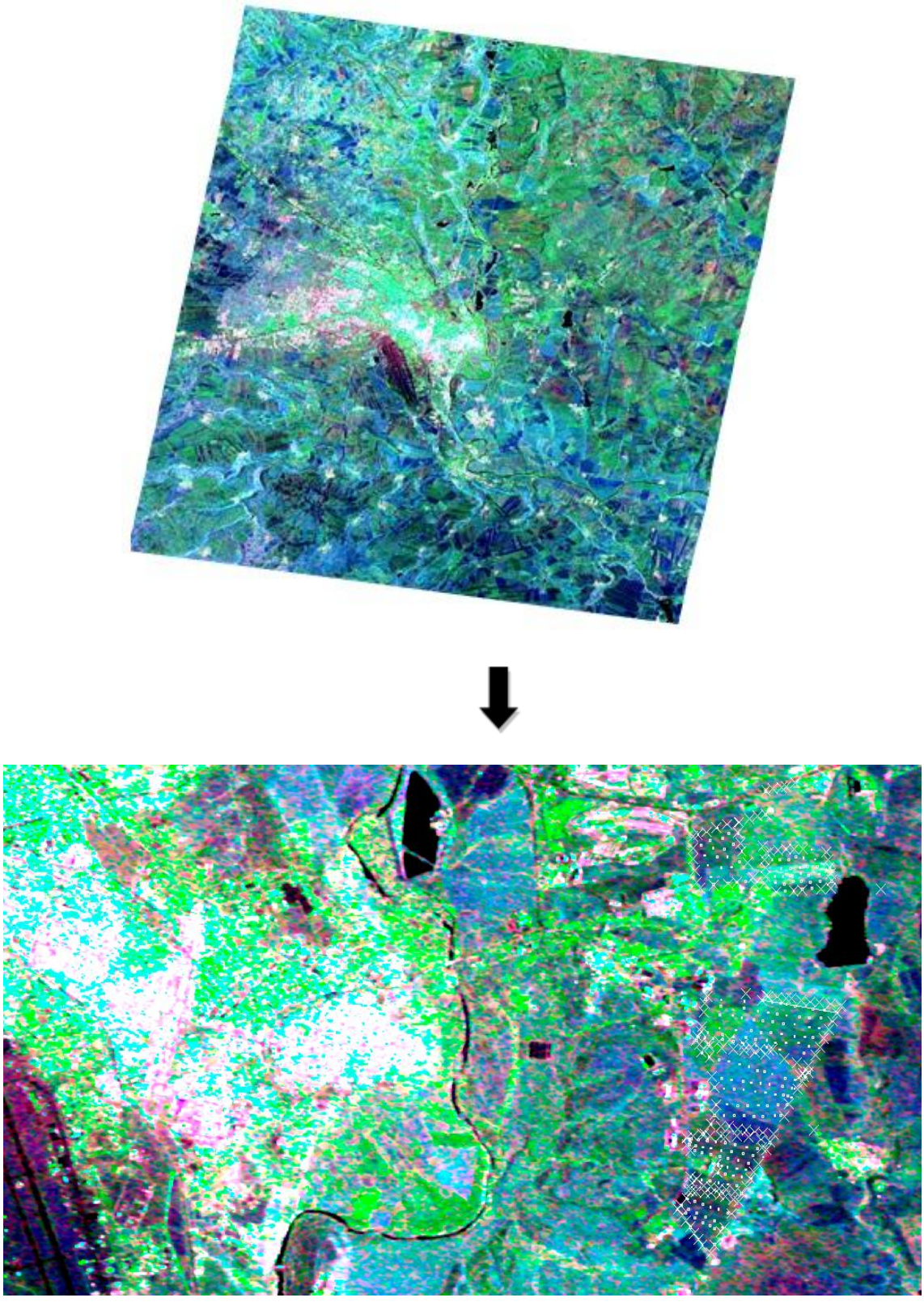
Bu bölümde, önişlemi tamamlanmış 27 Şubat, 8 Nisan ve 10 Haziran 2015 tarihli Radarsat-2 verilerinden özellik vektörü çıkartmak için standart sigma geri saçılma teknikleri ile farklı polarimetrik ayrıştırma yöntemleri kullanılmış; daha sonra elde edilen bu özellik vektörlerinden yeni bir yaklaşımla üç veri seti oluşturulmuştur. Toprak nemini tahmin etmek için doğrusal olmayan bir makine öğrenme regresyon modeli, oluşturulan veri setleri ile eğitilip test edilmiştir. Son olarak, bu veri setlerinin analizleri aşağıda gösterilmiştir.

4.1. Veri seti 1 Üzerindeki Uygulamalar

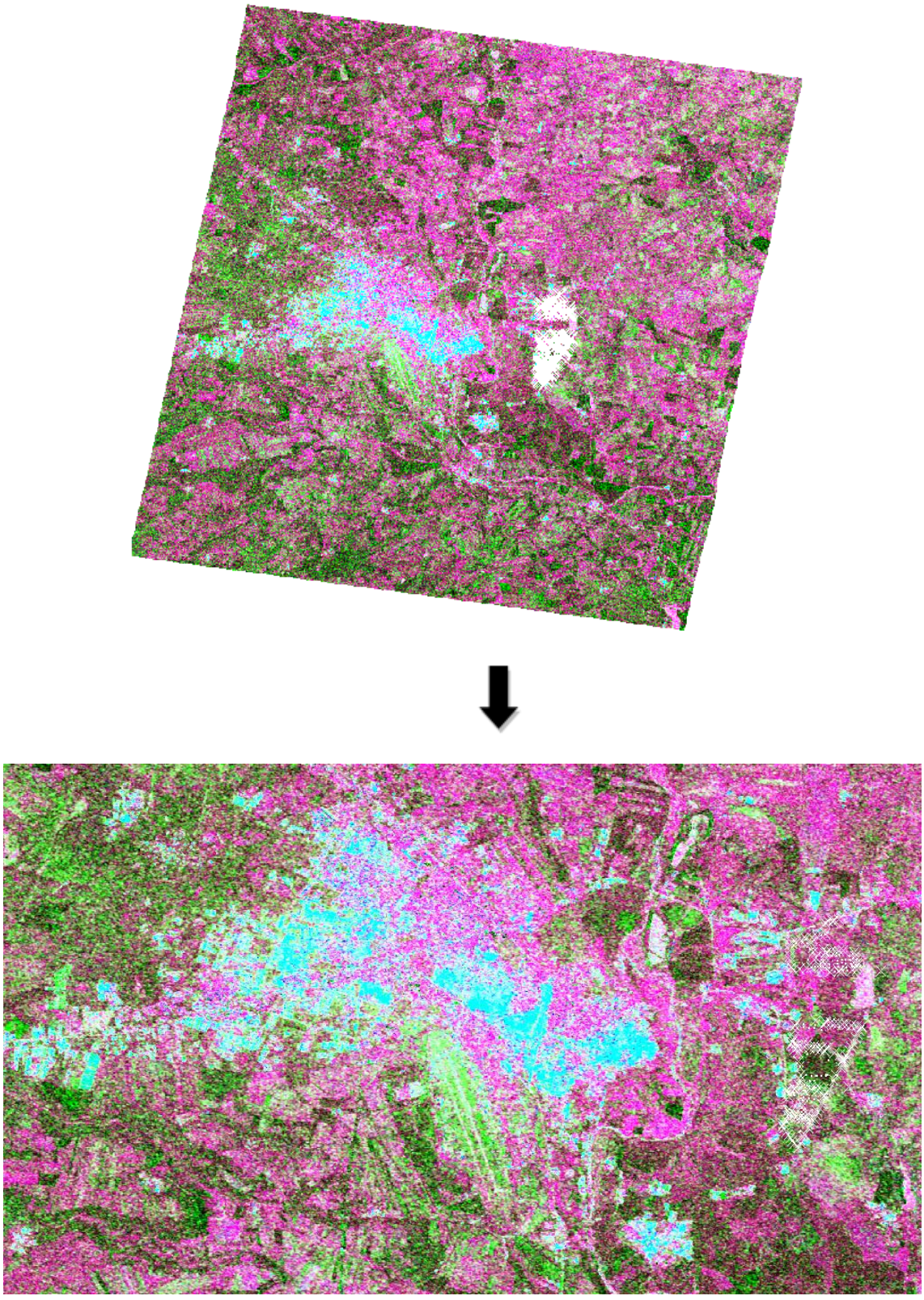
Bu aşamada, seyrek bitki örtüsünün çalışma alanları üzerindeki etkisini gözlemlemek için 27 Şubat 2015 tarihli Radarsat-2 verisinden veri seti 1 oluşturulmuş ve bu işlem için sırasıyla aşağıdaki adımlar izlenmiştir. İlk olarak, önişlemi tamamlanmış 27 Şubat 2015 tarihli Radarsat-2 görüntüsüne standart sigma geri saçılma tekniği uygulanmış ve gps noktalarına karşılık gelen hücrelere ait farklı bantlardan dört adet sigma geri saçılma katsayısı (σ_{HH} , σ_{HV} , σ_{VH} ve σ_{VV}) hesaplanmıştır. Daha sonra, polarimetrik ayrıştırma teoremlerinden Freeman- Durden modeli ile üç (çift sıçrama, hacim, yüzey saçılmaları) ve H/A/α modeli kullanılarak da üç adet (Entropi, Anizotropi, Açı) olmak üzere toplam altı adet saçılma parametresi hesaplanmıştır.

Hesaplanan parametreler art arda eklenerek her bir örnekleme noktasından 10 birimlik uzunluk (σhh, σhv, σvh, σvv, entropi, anizotropi, alfa açısı, hacim saçılması, yüzey saçılması ve çift sıçrama) özellik vektörü oluşturulmuştur. Bu işlemler 27 Şubat 2015 tarihli 335 ölçüm noktası için tekrarlanmış ve bu noktalardan 335x12 uzunluğunda veri seti 1 oluşturulmuştur.

Ayrıca, tam polarimetrik Radarsat-2 verilerinin işlenmesi için kalibrasyon, polarimetrik matris üretimi (genellikle T3 koherent matrisi), polarimetrik benek filtreleme (tipik olarak Refined Lee Filtresi) ve polarimetrik ayrıştırma adımları zorunlu olup bu işlemler sonucunda ortaya çıkan görüntüler Şekil 4.1- 4.2'de gösterilmektedir.



Şekil 4.1. 27.02.2015 tarihli Radarsat-2 verisine Freeman-Durden polarimetrik ayrıştırma modeli uygulandıktan sonra oluşturulan RGB görüntüsü (R=Çift sıçrama; G=Hacim; B= Yüzey saçılmaları)



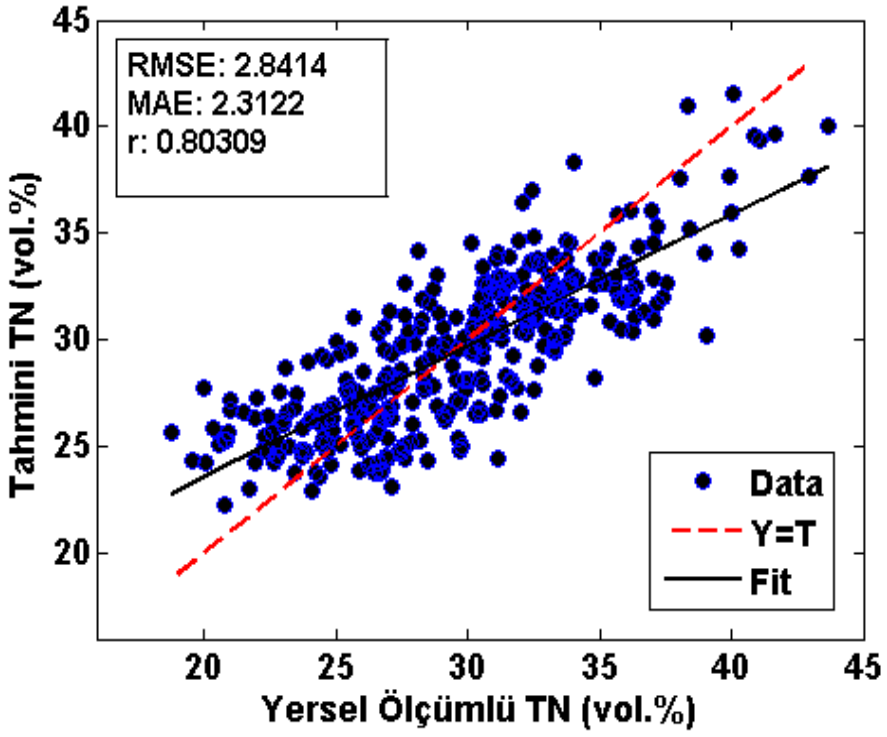
Şekil 4.2. 27.02.2015 tarihli Radarsat-2 verisine H/A/α polarimetrik ayrıştırma modeli uygulandıktan sonra elde edilen RGB görüntüsü (R=H; G=A; B= α)

Bu çalışmada, yersel ölçüm verilerinin oluşturulan veri seti ile ilişkilendirilmesi ve hesaplamaya dâhil olmayan örnekleme noktalarının nem değerinin tahmin edilmesi için GRNN, bir inversiyon modeli olarak kullanılmıştır. Ayrıca, sistemin doğruluğunun hesaplanması için veri seti 1'den eğitim ve test setleri oluşturulmuş ve test setinde yer alan tarımsal alanların nem değerleri GRNN modeli kullanılarak tahmin edilmiştir. Üstelik, yayılma parametresi (ς), (0.5-1.5) aralığında ayarlanmış ve tüm GRNN modelleri içerisinde en iyi performansı sağladığı için ς=1 olarak seçilmiştir. Yayılma parametresinin model üzerindeki etkisinin belirlenmesi için bir uygulama örneğinin sonucu da Çizelge 4.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 4.1. Yayılma parametresinin veri seti 1 üzerindeki etkisi

Yayılma Parametresi (ς)	r	RMSE (%)	MAE (%)
0.5	0.73	3.47	2.66
0.6	0.78	3.04	2.50
0.7	0.79	2.93	2.41
0.8	0.80	2.86	2.35
0.9	0.80	2.85	2.32
1.0	0.80	2.84	2.31
1.1	0.80	2.88	2.35
1.2	0.79	2.93	2.39
1.3	0.78	2.99	2.43
1.4	0.77	3.05	2.48
1.5	0.76	3.12	2.52

Test sürecinde, genel sistemin performansını doğrulamak için birini dışarda bırakma (leave-one-out) çapraz doğrulama yöntemi kullanılmış ve veri seti 1'i oluşturan her model, test kümesine dönüşümlü olarak dâhil edilmiştir. Böylece, yersel ölçümlü toprak nemi ile tahmini toprak nemi arasındaki niceliksel değerlendirme GRNN modeli kullanılarak, Şekil 4.3.'de gösterilmiştir.

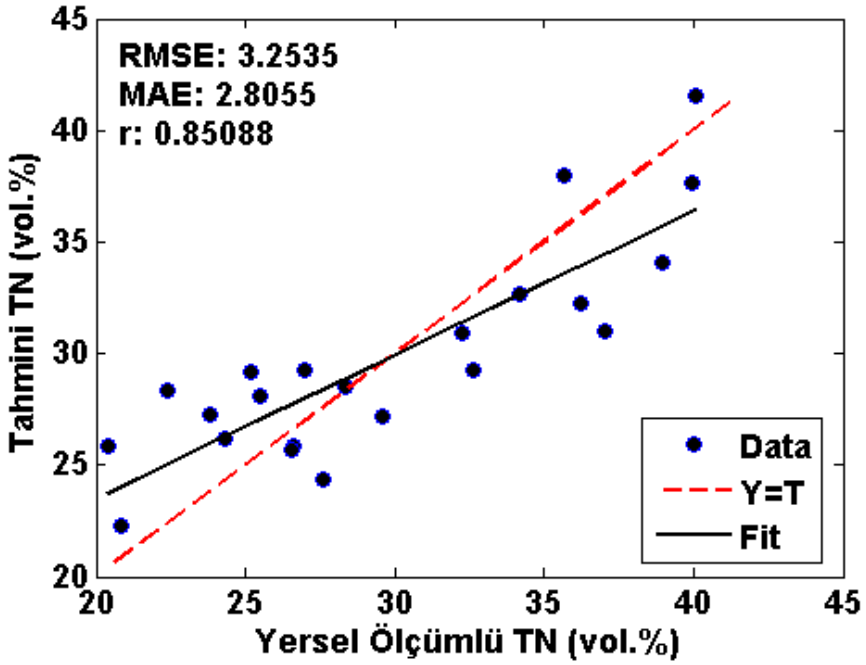


Şekil 4.3. Veri seti 1 için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi (TN) verileri arasındaki ilişki

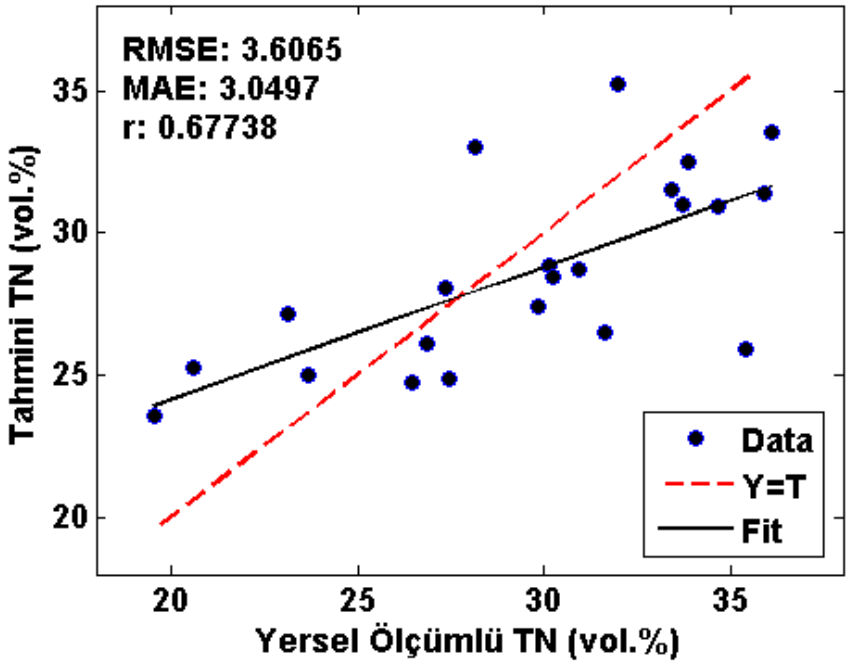
Performans analizi için RMSE, MAE ve r gibi istatistiksel göstergeler tasarlanan modelin başarımını ölçmek için kullanılmıştır. Birini dışarda bırakma çapraz doğrulama işlemi yapıldıktan sonra, genel sistem doğruluğu, veri seti 1 için yaklaşık % 2.84 vol RMSE ve % 2.31 vol MAE tahmin hatasıyla gözlemlenmiştir.

Öte yandan, yerel bölgelere göre sistemin hassasiyetini doğrulamak için çalışma alanı üzerindeki tarımsal arazilerden 14 farklı test alanı, Monte Carlo çapraz doğrulama yöntemi temel alınarak rastgele seçilmiştir. Her bir test alanı, 22 ölçüm noktasından oluşturulmuş ve ilişkilendirme modeli için GRNN modeli kullanılmıştır. Sonuç olarak, 27 Şubat 2015 tarihli çalışma alanındaki tarımsal arazilerden rastgele oluşturulmuş test alanlarına ait yersel ölçümlü ve tahmini nem değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.4 ile 4.17 arasında verilmiştir.

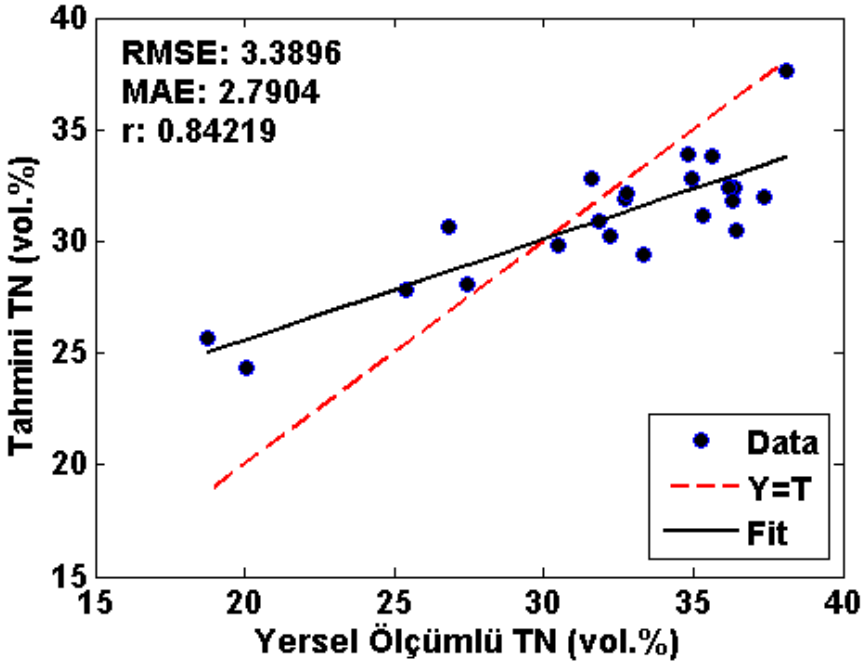
Sonuçlar (bkz. Şekil 4.4- 4.17), veri seti 1 için test alanları 1-14 üzerinde sırasıyla, yaklaşık [% 1.80- % 3.54 vol] ile [% 2.13- % 4.27 vol] arasında MAE ve RMSE tahmin hatalarını göstermiştir. Ayrıca, r korelâsyon katsayısı [0.54-0.85] arasında gözlemlenmiştir.



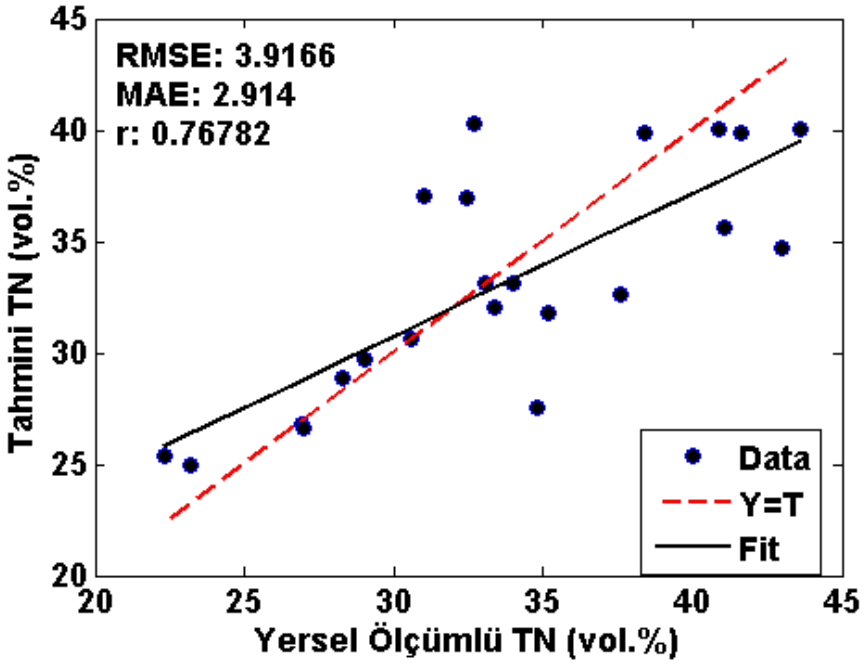
Şekil 4.4. Veri seti 1 için 1. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



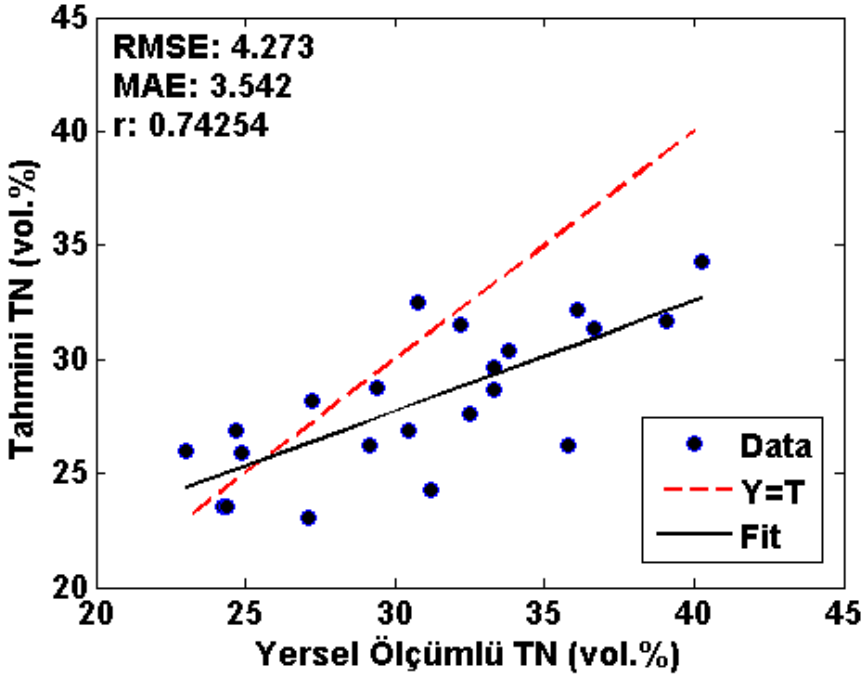
Şekil 4.5. Veri seti 1 için 2. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



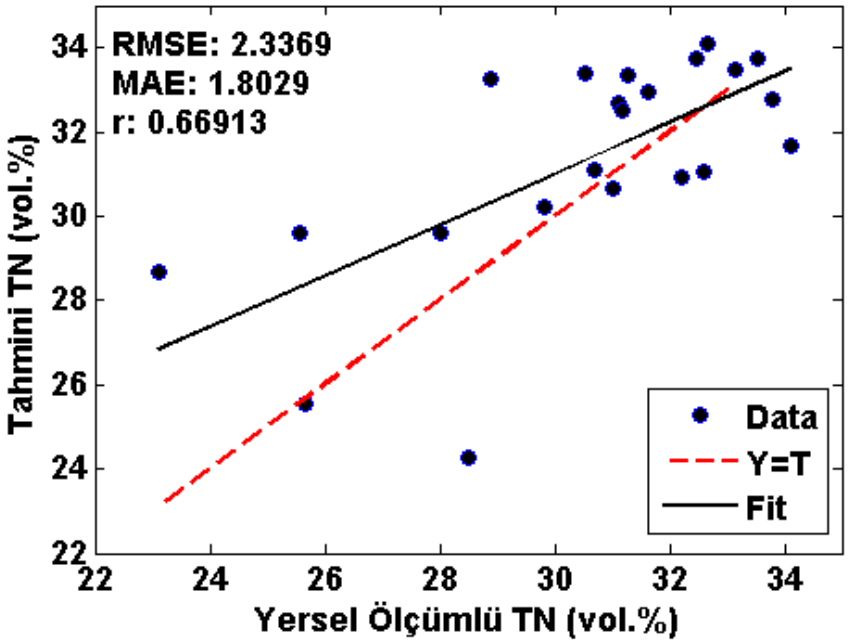
Şekil 4.6. Veri seti 1 için 3. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



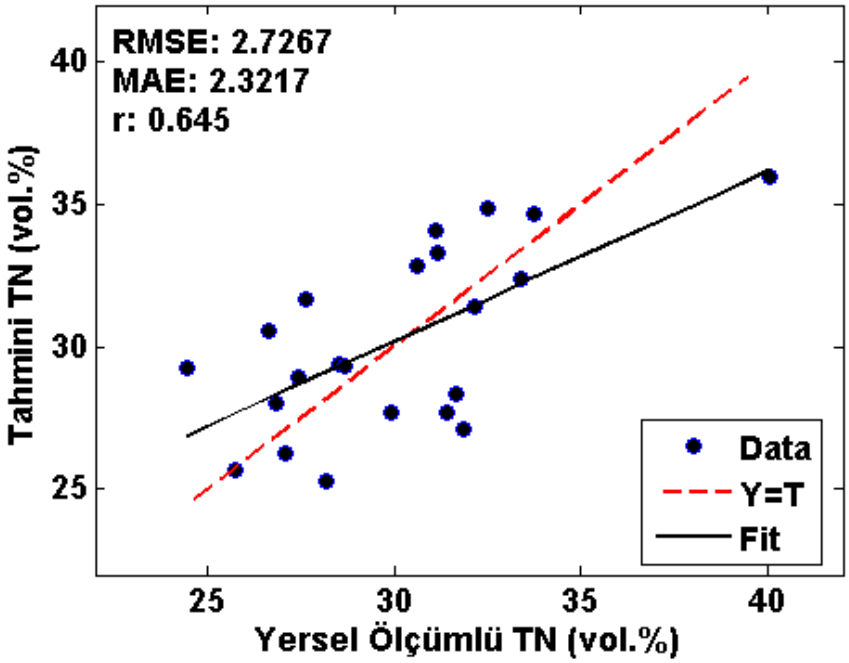
Şekil 4.7. Veri seti 1 için 4. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



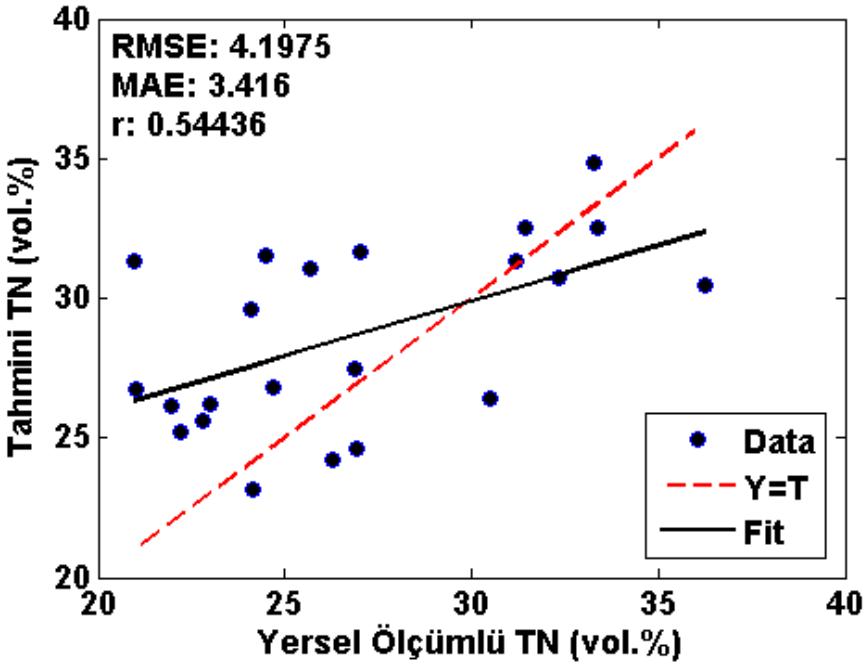
Şekil 4.8. Veri seti 1 için 5. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



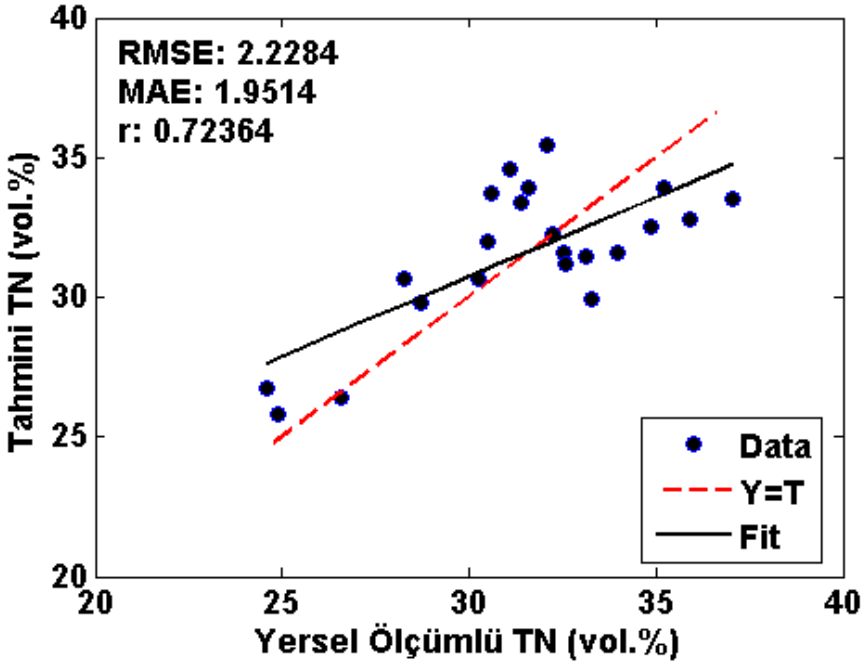
Şekil 4.9. Veri seti 1 için 6. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



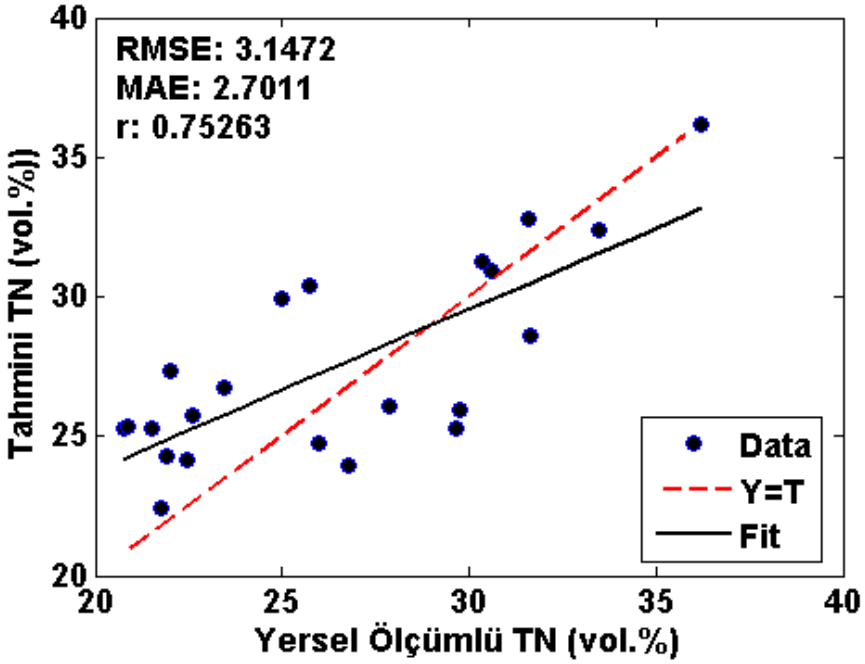
Şekil 4.10. Veri seti 1 için 7. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



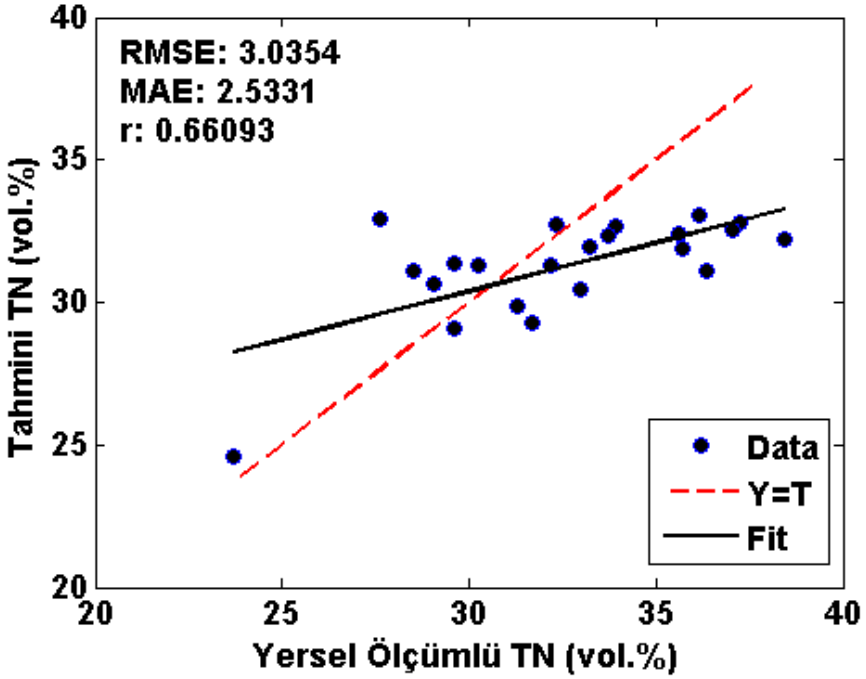
Şekil 4.11. Veri seti 1 için 8. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



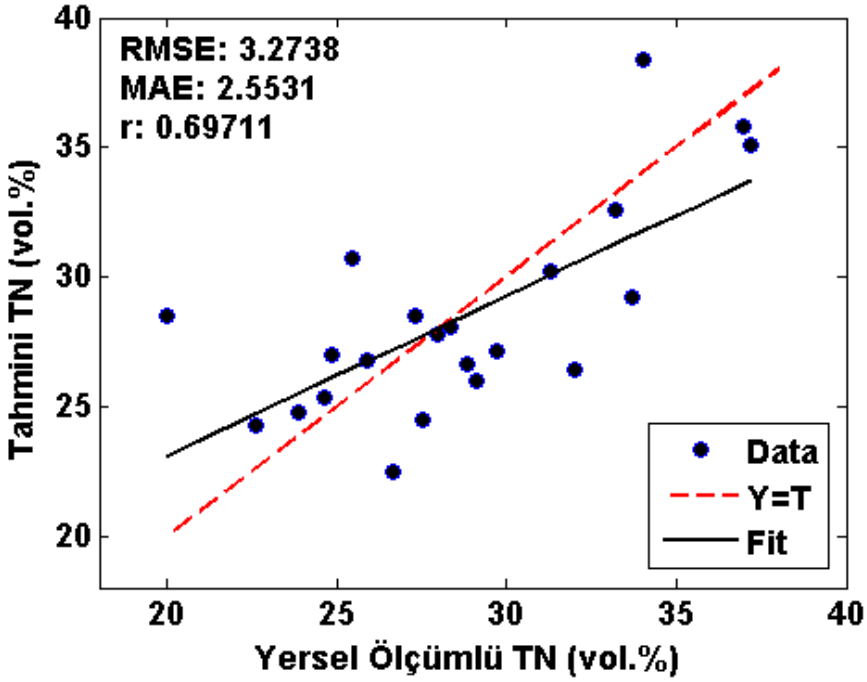
Şekil 4.12. Veri seti 1 için 9. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



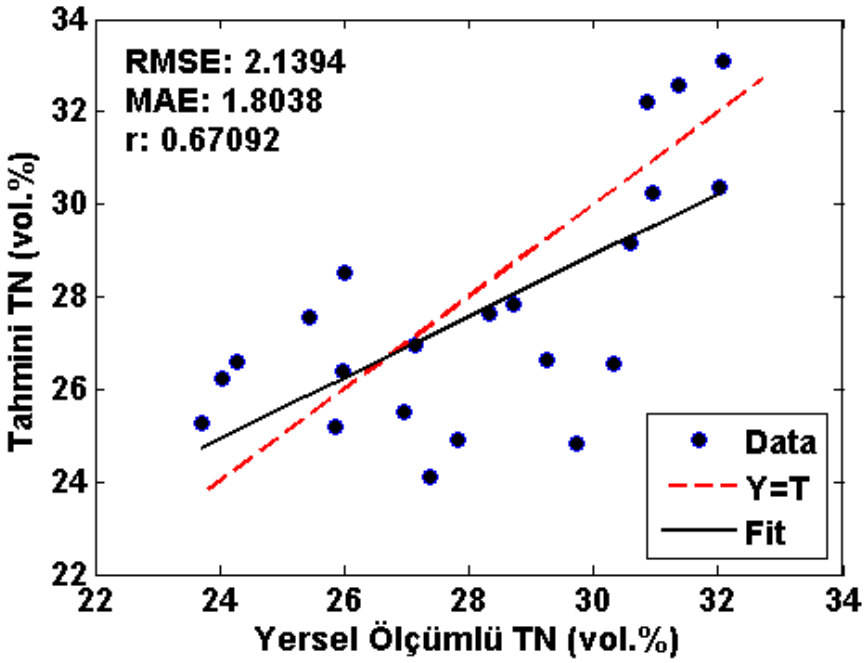
Şekil 4.13. Veri seti 1 için 10. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



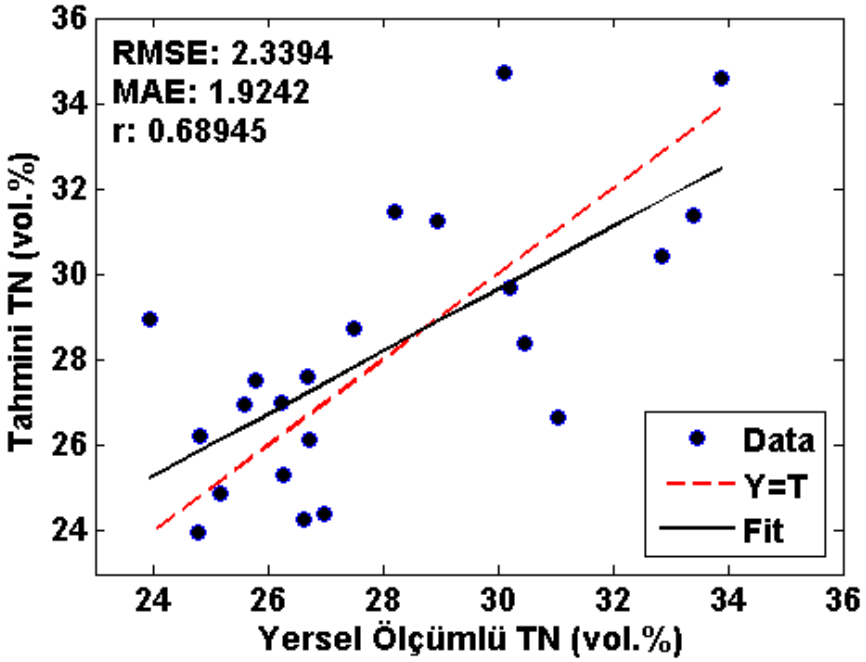
Şekil 4.14. Veri seti 1 için 11. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



Şekil 4.15. Veri seti 1 için 12. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



Şekil 4.16. Veri seti 1 için 13. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki

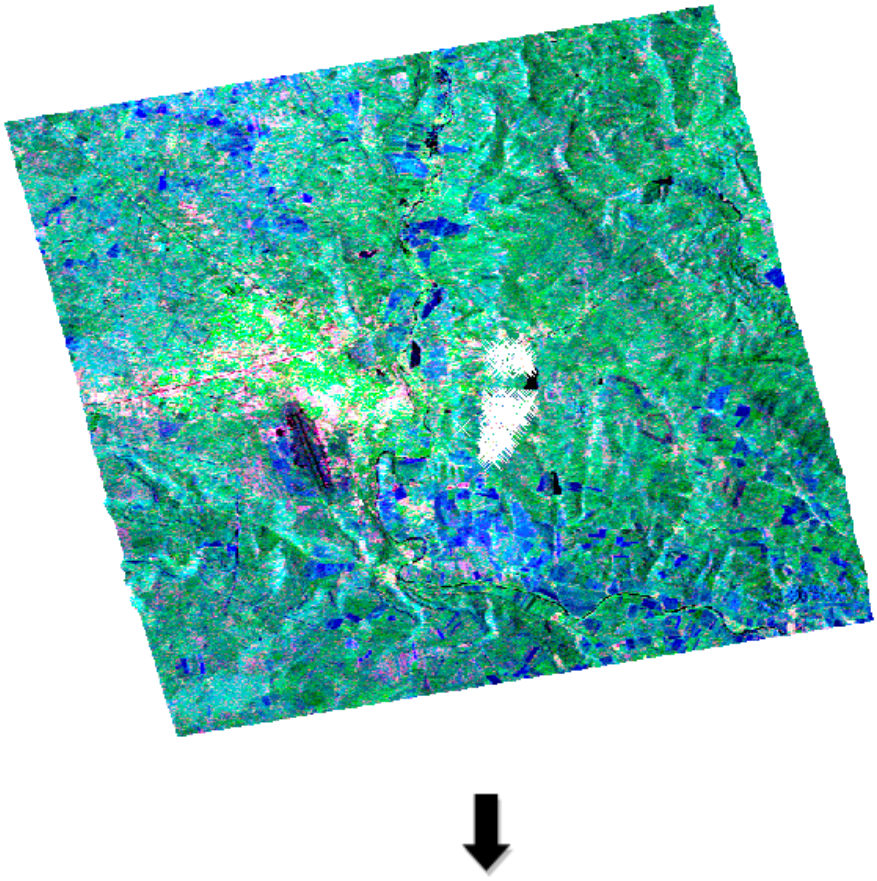


Şekil 4.17. Veri seti 1 için 14. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki

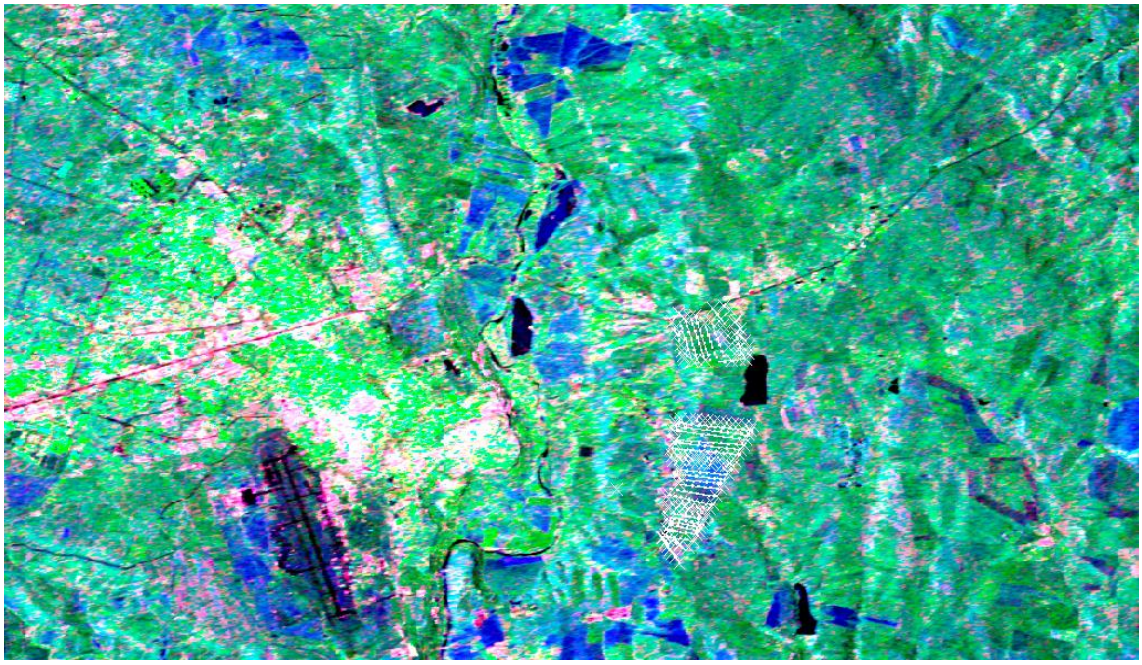
4.2. Veri seti 2 Üzerindeki Uygulamalar

Bu aşamada, yoğun vejetasyon örtüsünün çalışma alanları üzerindeki etkisini analiz etmek için 8 Nisan 2015 tarihli Radarsat-2 verilerinden 285 × 10 uzunluğunda veri seti 2 oluşturulmuş ve toprak nemini tahmini için Bölüm 4.1'de kullanılan aynı topoloji bu aşamada tekrarlanmıştır. Radarsat-2 önişlem adımından sonra ortaya çıkan görüntüler Şekil 4.18 ve 4.19.'da gösterilmektedir.

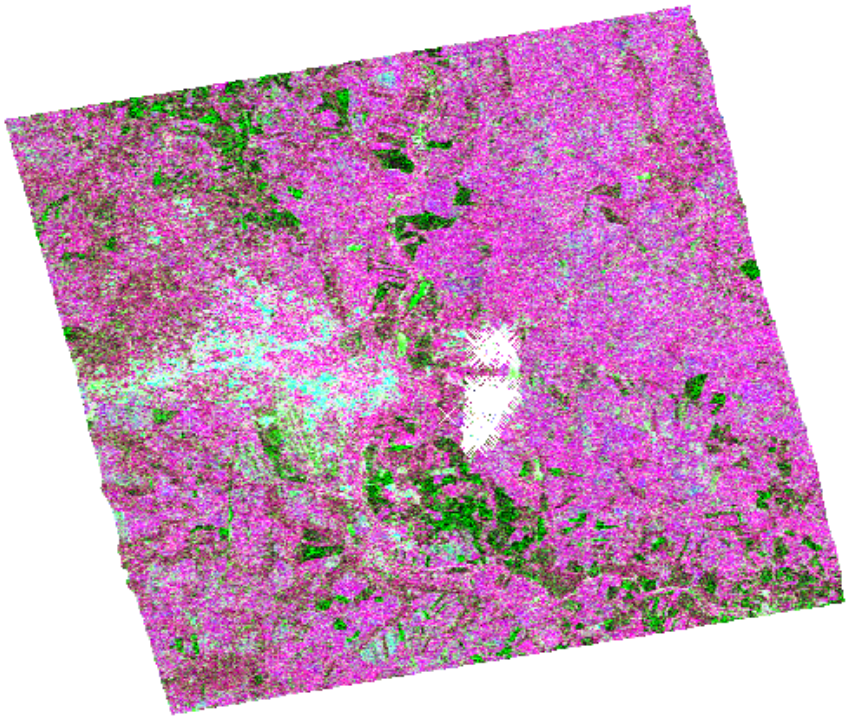
Önerilen sistemin uygulanabilirliğini doğrulamak için, test aşamasında, birini dışarıda bırakma çapraz doğrulama yöntemi kullanılmış ve veri seti 2'i oluşturan her model, test kümesine dönüşümlü olarak dâhil edilmiştir. Böylece, yersel ölçümlü ile tahmini toprak nemi arasındaki ilişki Şekil 4.20.'de gösterilmiş ve çalışma alanı üzerinde yaklaşık %2.65 vol RMSE ve %2.11 vol MAE tahmin hataları gözlemlenmiştir.



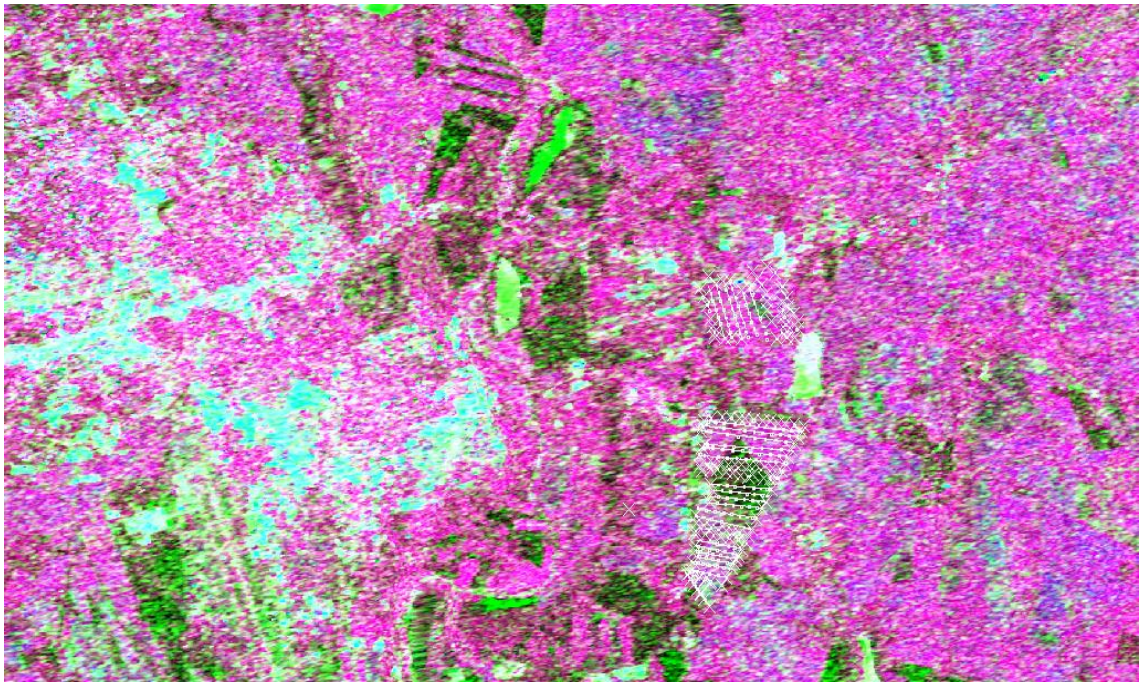
Şekil 4.18. Devam ediyor



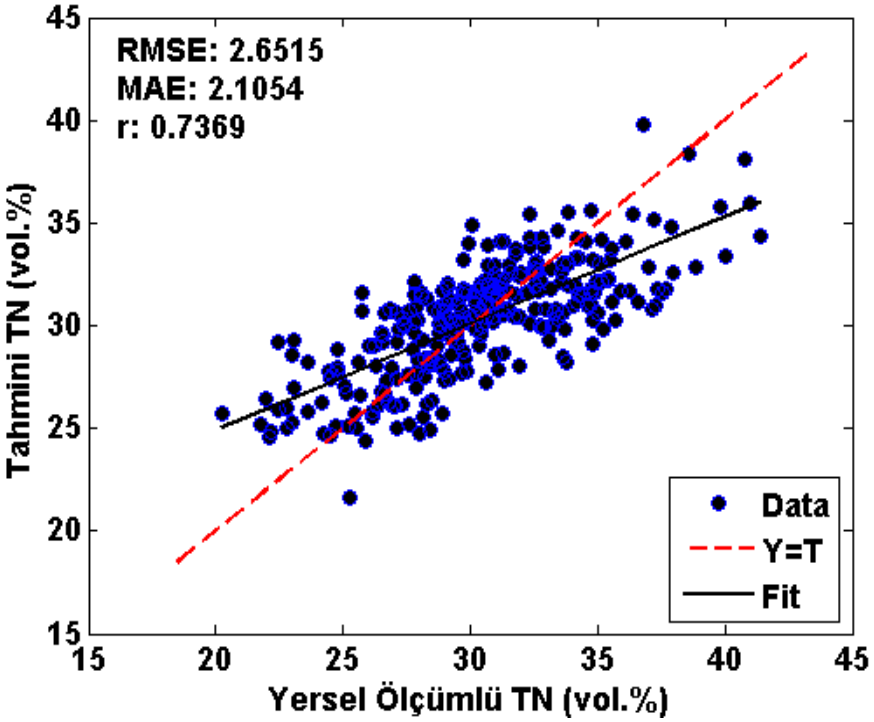
Şekil 4.18. 08.04.2015 tarihli Radarsat-2 verisine Freeman-Durden polarimetrik ayrıştırma modeli uygulandıktan sonra oluşturulan RGB görüntüsü (R=Çift sıçrama; G=Hacim; B= Yüzey saçılmaları)



Şekil 4.19. Devam ediyor



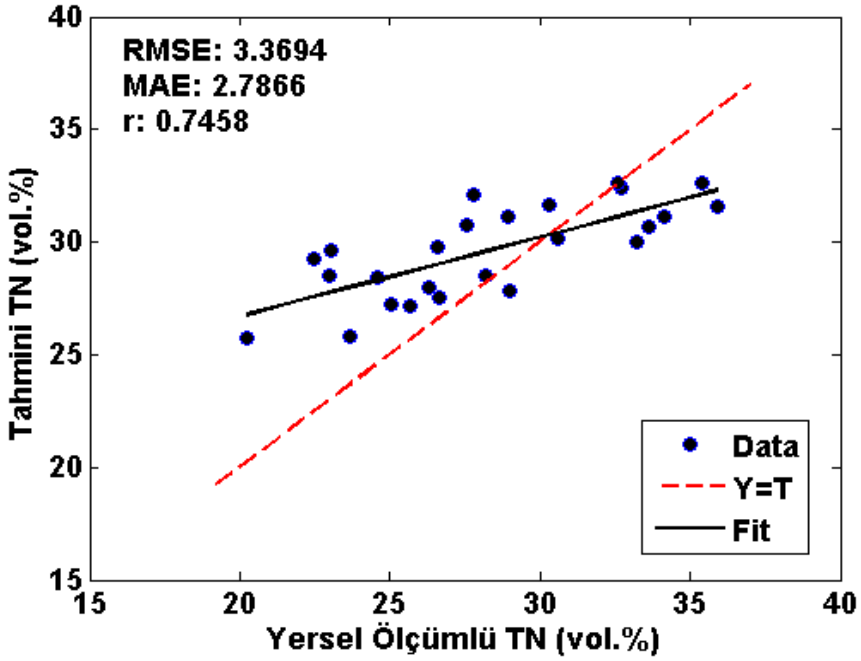
Şekil 4.19. 08.04.2015 tarihli Radarsat-2 verisine H/A/α polarimetrik ayrıştırma modeli uygulandıktan sonra elde edilen RGB görüntüsü (R=H; G=A; B= α)



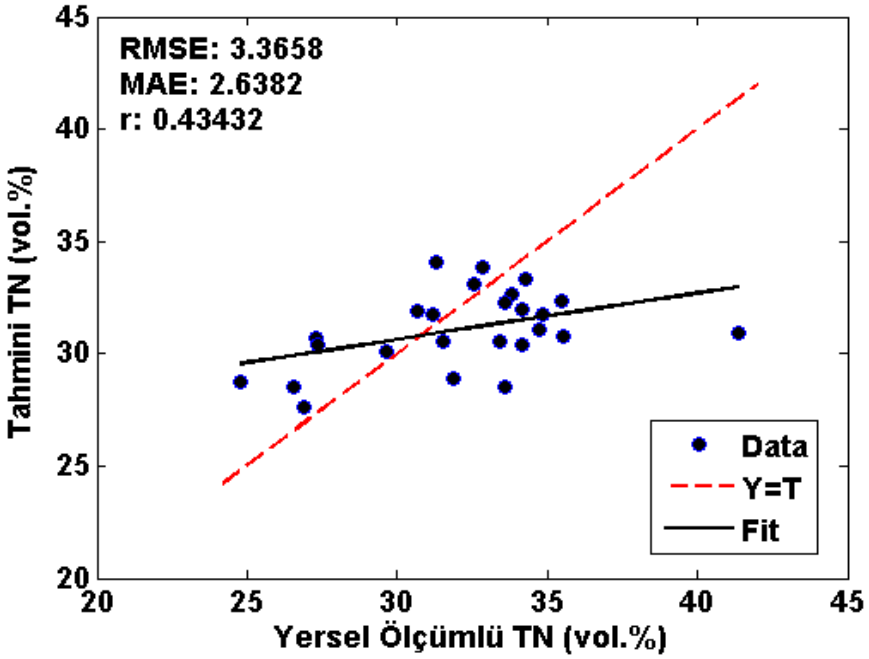
Şekil 4.20. Veri seti 2 için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi (TN) verileri arasındaki ilişki

Ayrıca, lokal alanlar üzerinde önerilen tahmin modelinin doğrulanması için 11 farklı test alanı Monte Carlo çapraz doğrulama yöntemi temel alınarak rastgele seçilmiş; bu alanlar üzerindeki yersel ve tahmini nem değerleri arasındaki ilişki Şekil 4.21 ile 4.31 arasında verilmiştir. Her bir test alanı, 25 ölçüm noktasından oluşturulmuş ve tahmin modeli için GRNN kullanılmıştır.

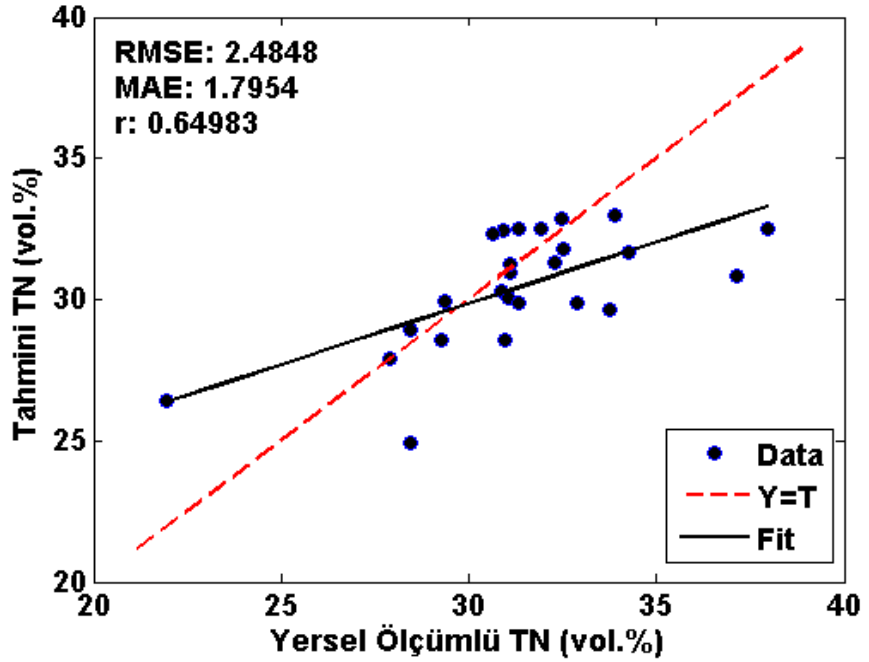
Sonuçlar (bkz. Şekil 4.21- 4.31), veri seti 2 için test alanları 1-11 üzerinde sırasıyla, yaklaşık [% 1.37- % 3.03 vol] ile [% 1.69- % 3.60 vol] arasında MAE ve RMSE tahmin hatalarını göstermiştir. Ayrıca, r korelâsyon katsayısı [0.43-0.85] arasında gözlemlenmiştir.



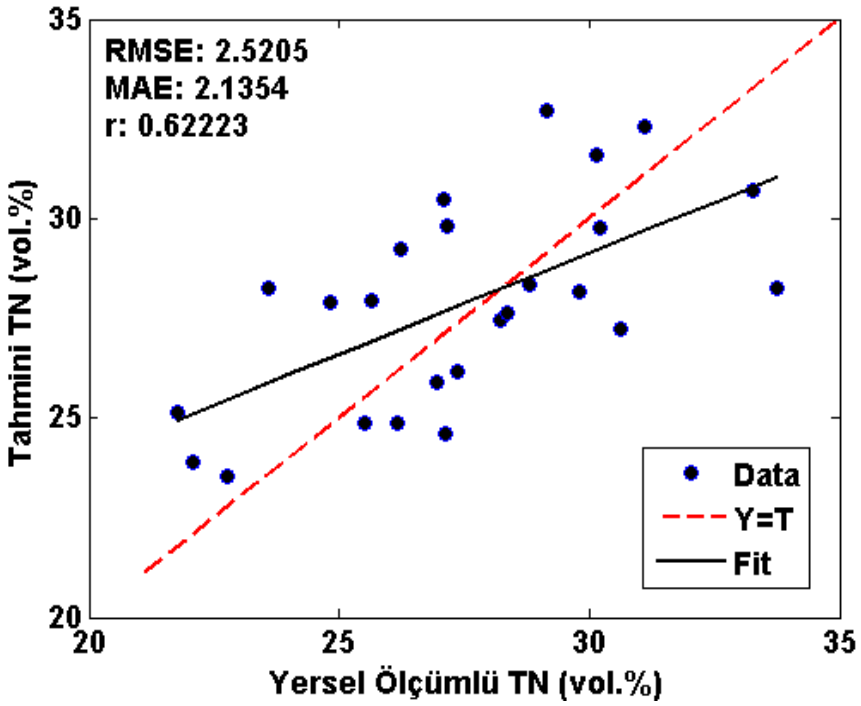
Şekil 4.21. Veri seti 2 için 1. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



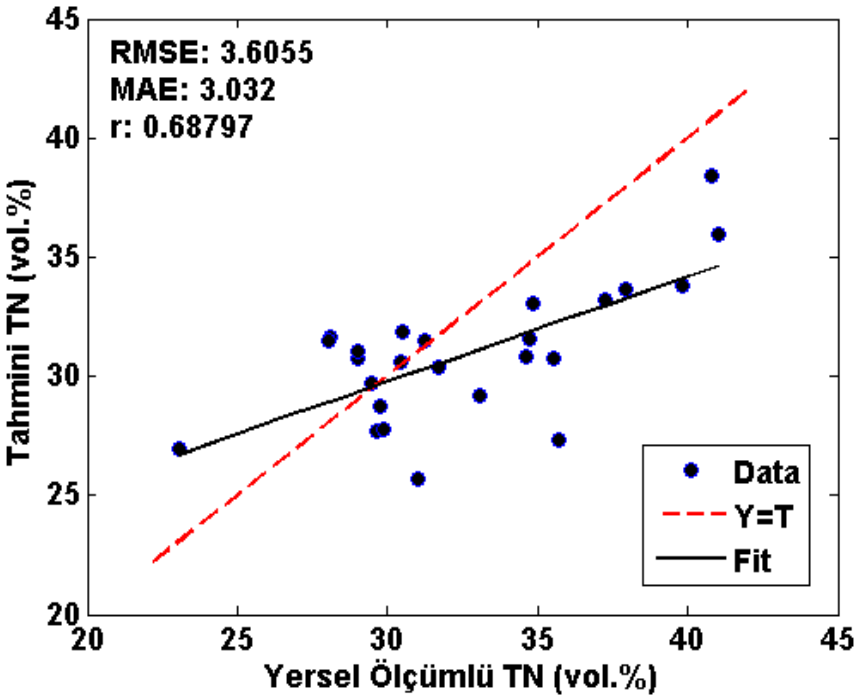
Şekil 4.22. Veri seti 2 için 2. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



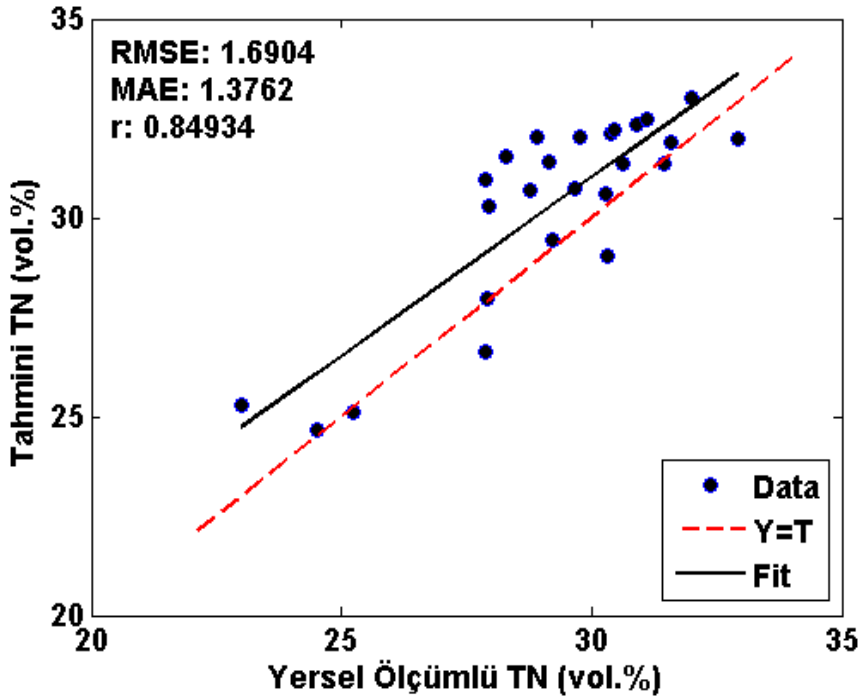
Şekil 4.23. Veri seti 2 için 3. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



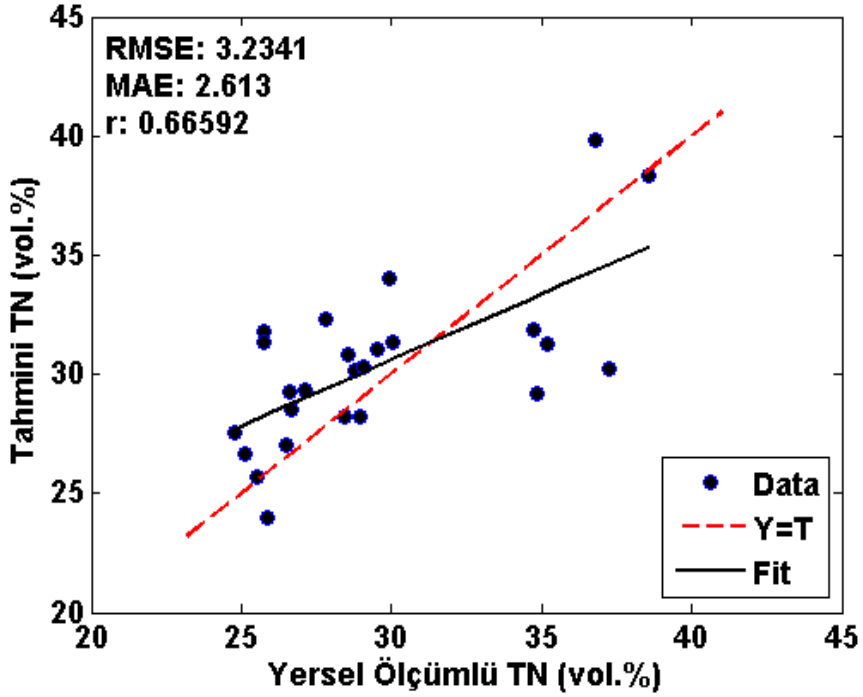
Şekil 4.24. Veri seti 2 için 4. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



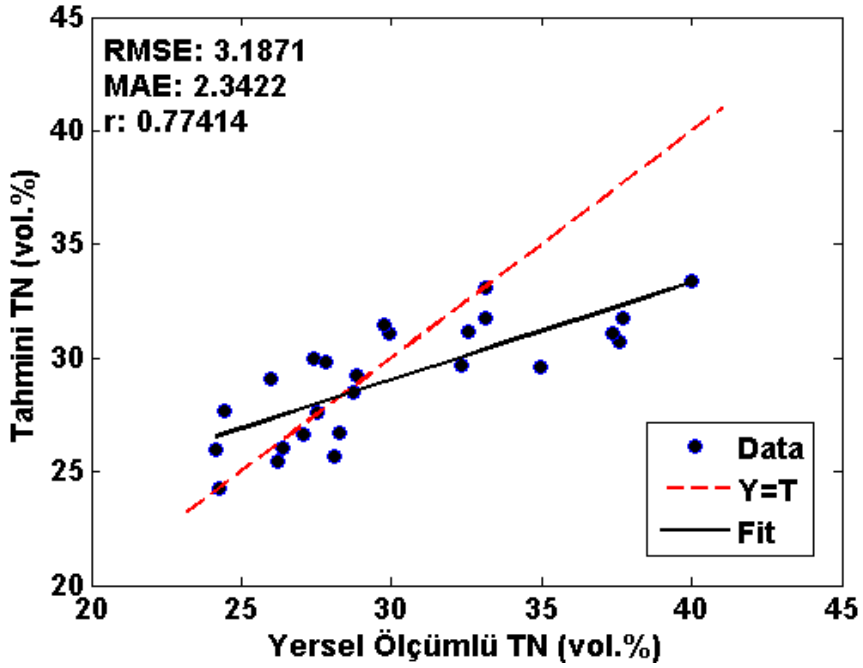
Şekil 4.25. Veri seti 2 için 5. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



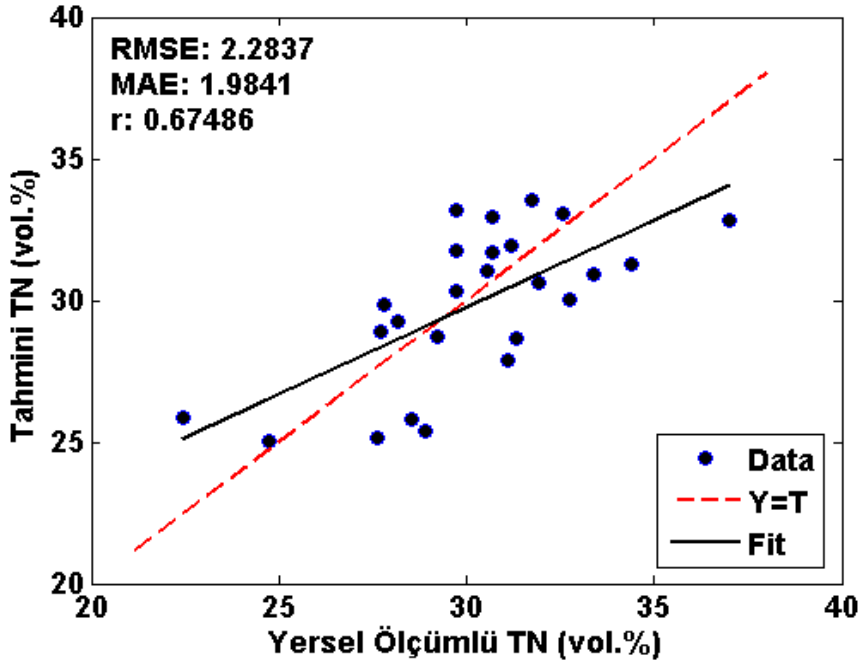
Şekil 4.26. Veri seti 2 için 6. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



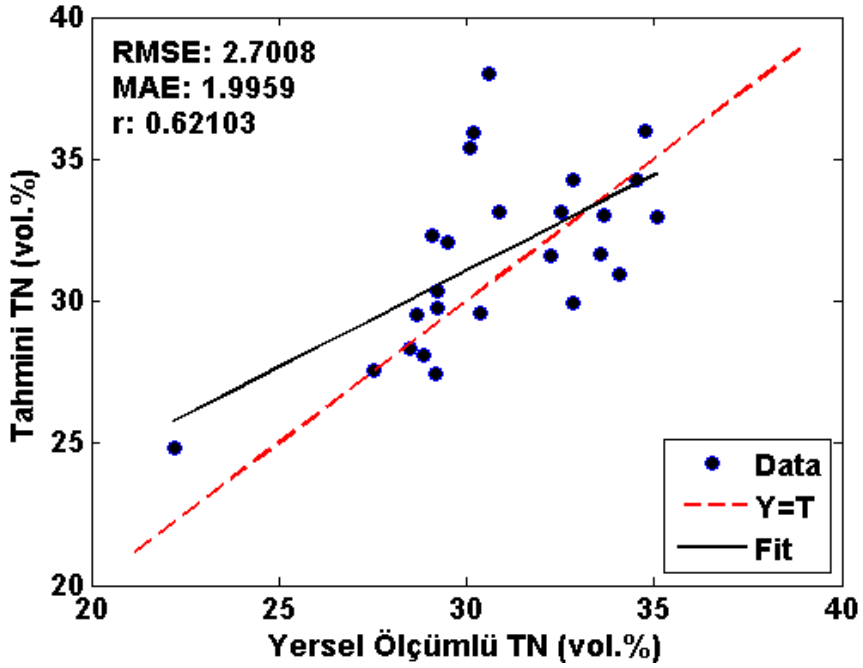
Şekil 4.27. Veri seti 2 için 7. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



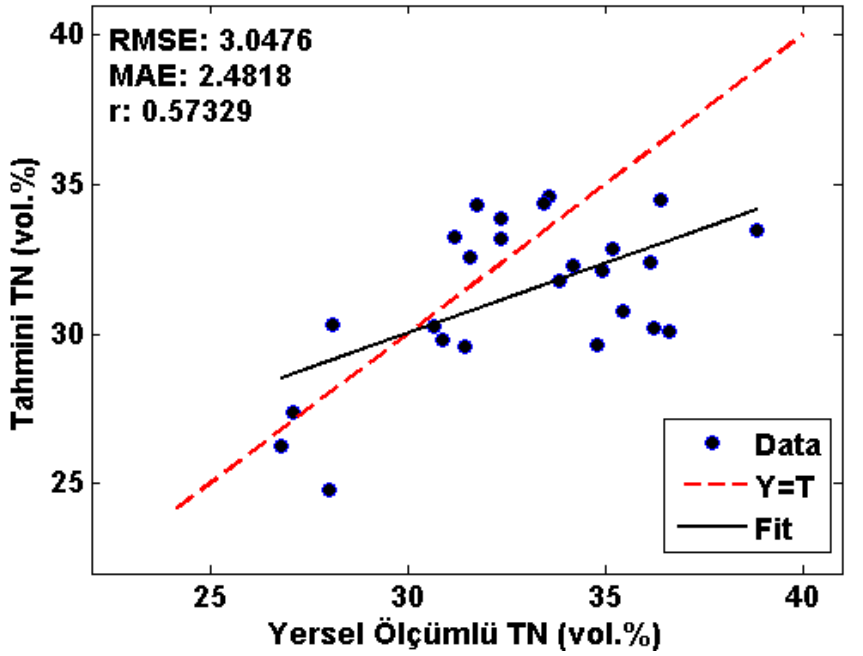
Şekil 4.28. Veri seti 2 için 8. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



Şekil 4.29. Veri seti 2 için 9. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



Şekil 4.30. Veri seti 2 için 10. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki

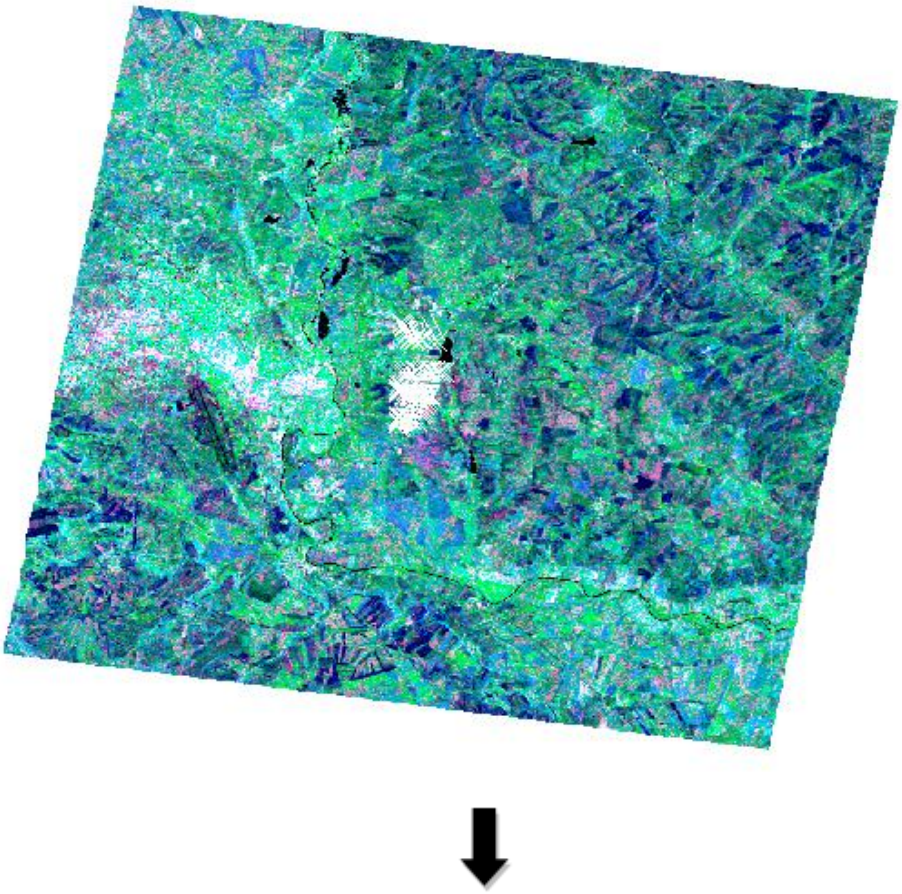


Şekil 4.31. Veri seti 2 için 11. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki

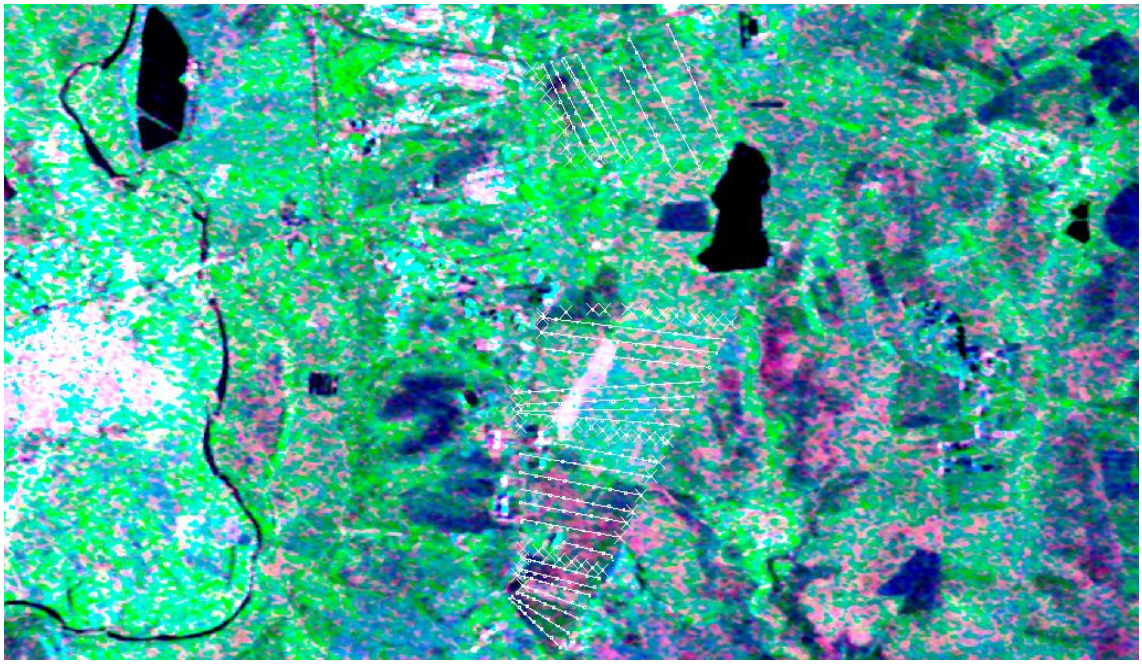
4.3. Veri seti 3 Üzerindeki Uygulamalar

Bu dönemde, yalın (vejetasyon etkisi çok az) tarım alanları üzerindeki toprak neminin tahmini için 10 Haziran 2015 tarihli Radarsat-2 verisi kullanılarak 272×10 uzunluğunda veri seti 3 oluşturulmuştur. Bölüm 4.1 ve 4.2'de izlenilen benzer yaklaşımlar bu aşamada da uygulanmış ve polarimetrik ayrıştırma işlemi sonrasında elde edilen görüntüler Şekil 4.32 ile 4.33'de gösterilmektedir.

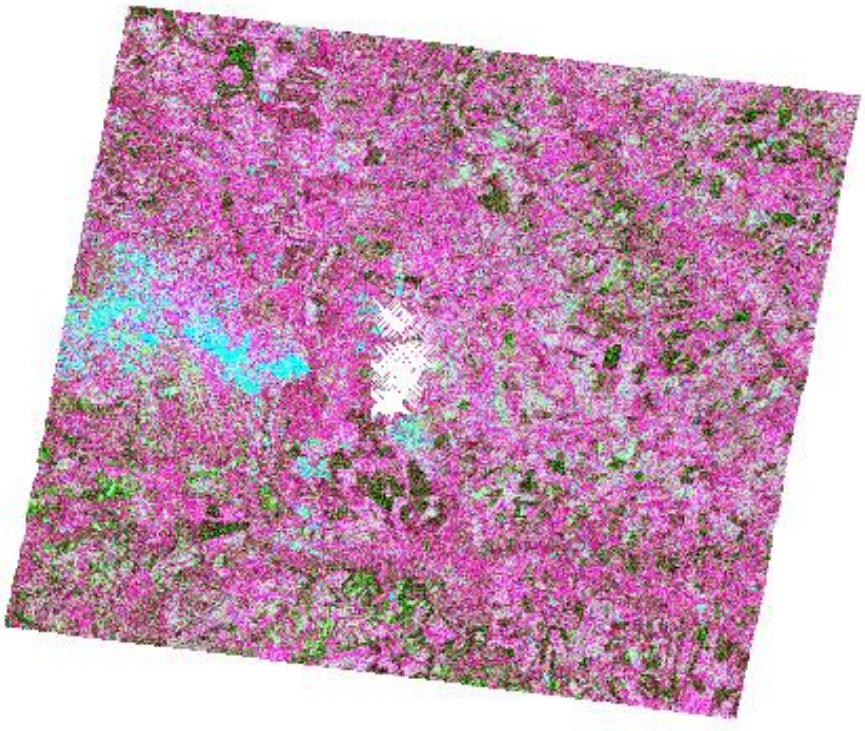
Toplam sistem doğruluğu, Şekil 4.34'de görüldüğü gibi, 2.77 hacim RMSE ve % 2.10 hacim MAE tahmin hatası ile hesaplanmıştır. Ayrıca, 11 adet test bölgesi (her test alanı için 25 örnekleme noktası) rastgele seçilmiş ve bu bölgelerin doğruluk değerleri Şekil 4.35 ile 4.45 arasında gösterilmektedir. Sonuç olarak, veri seti 3 ile test alanları 1-11 üzerinde sırasıyla [% 1.71- % 3.32 vol] , [% 2.02- % 4.97 vol], [0.41-0.97] arasında MAE, RMSE ve r değerleri gözlemlenmiştir.



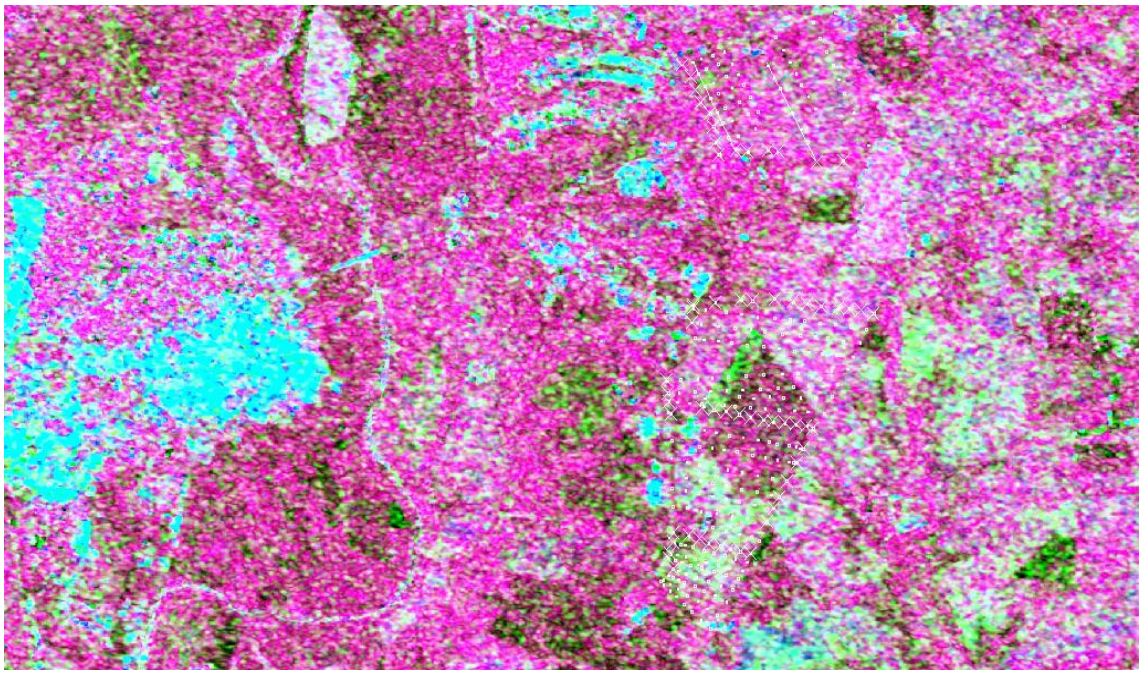
Şekil 4.32. Devam ediyor



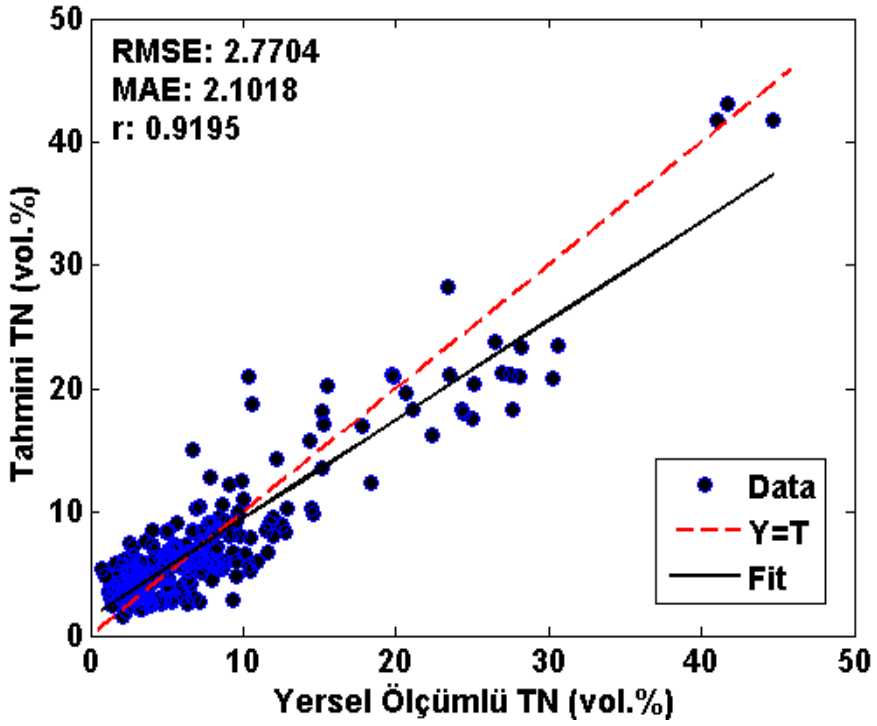
Şekil 4.32. 10.06.2015 tarihli Radarsat-2 verisine Freeman-Durden polarimetrik ayrıştırma modeli uygulandıktan sonra oluşturulan RGB görüntüsü (R=Çift sıçrama; G=Hacim; B= Yüzey saçılmaları)



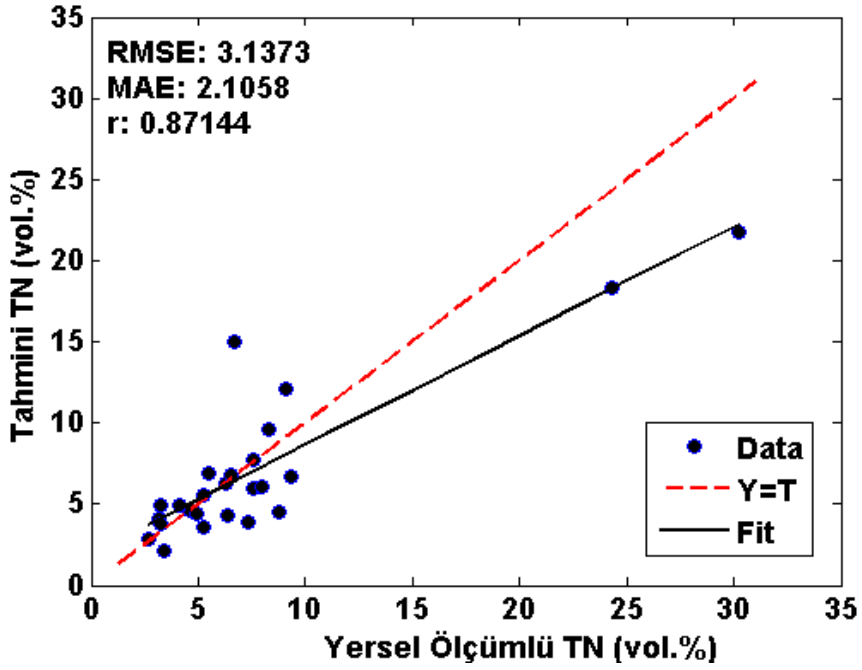
Şekil 4.33. Devam ediyor



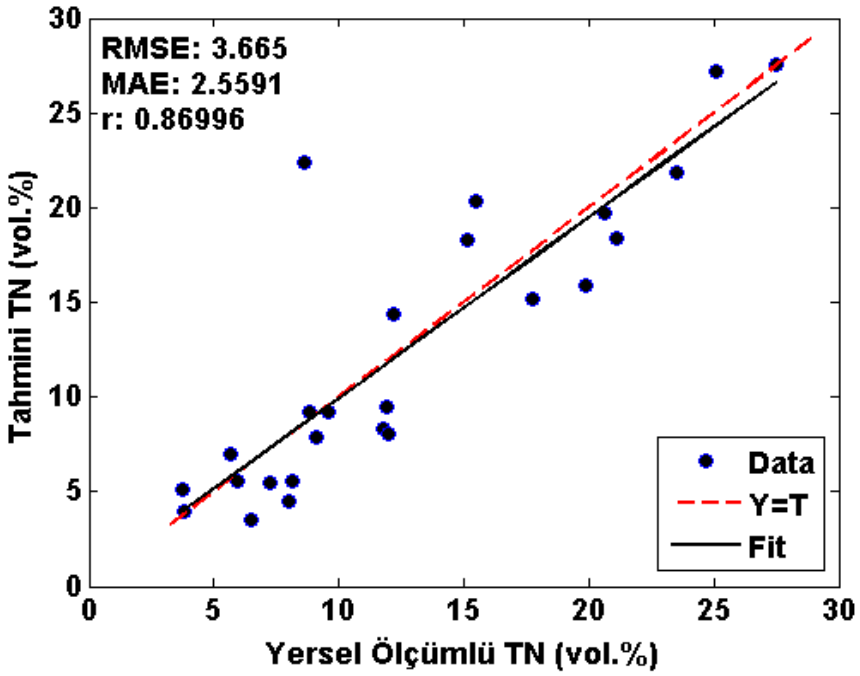
Şekil 4.33. 10.06.2015 tarihli RADARSAT-2 verisine H/A/α polarimetrik ayrıştırma modeli uygulandıktan sonra elde edilen RGB görüntüsü (R=H; G=A; B= α)



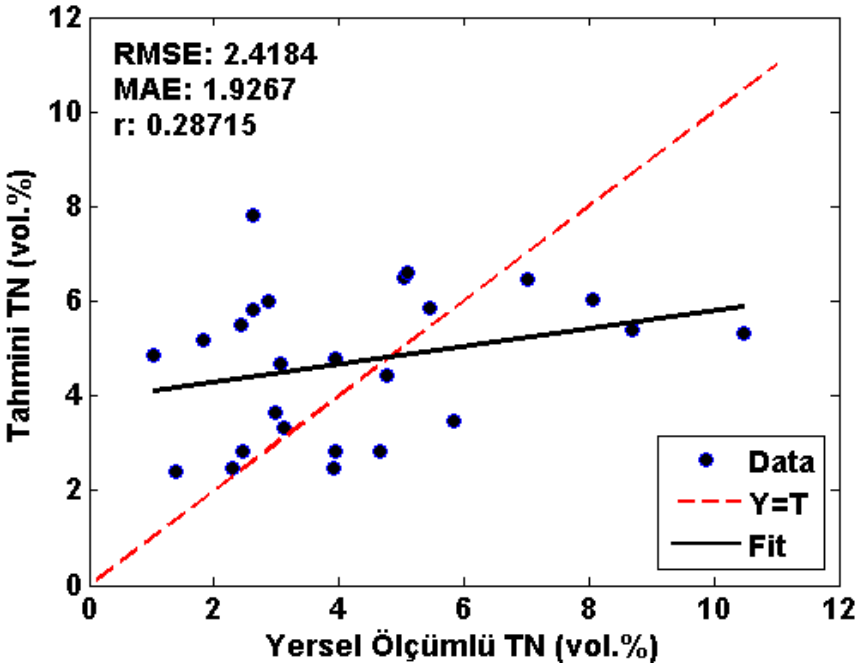
Şekil 4.34. Veri seti 3 için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi (TN) verileri arasındaki ilişki



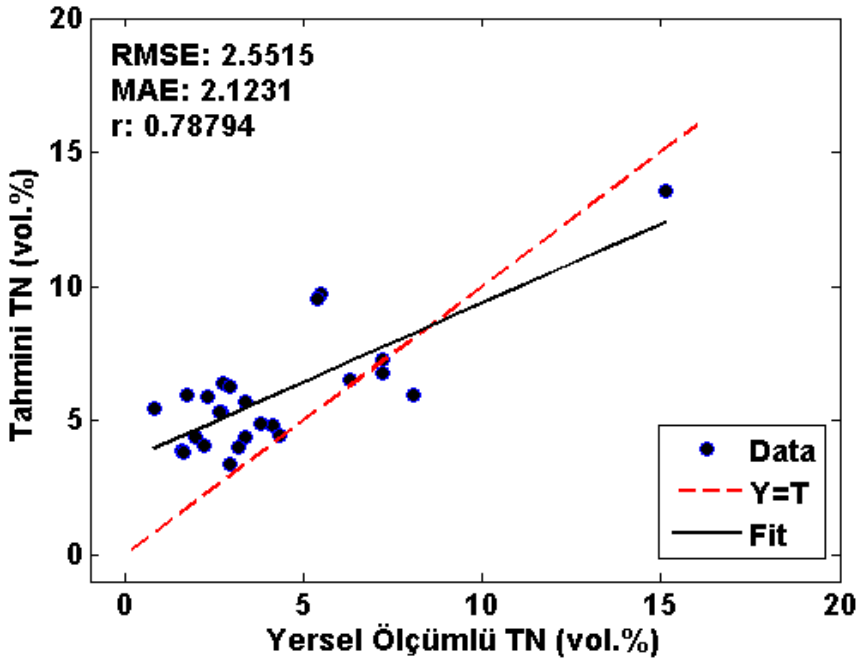
Şekil 4.35. Veri seti 3 için 1. test alanı üzerindeki yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



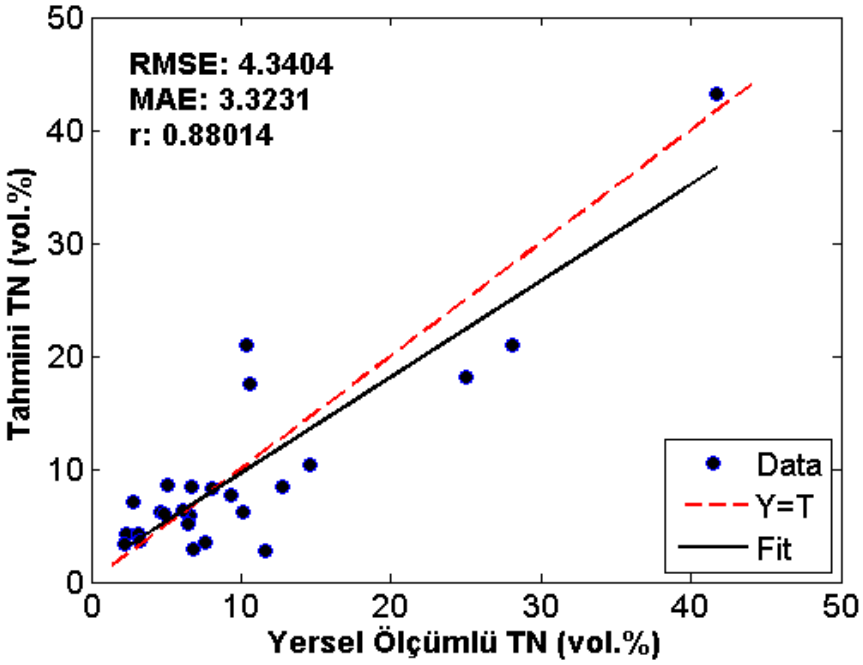
Şekil 4.36. Veri seti 3 için 2. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



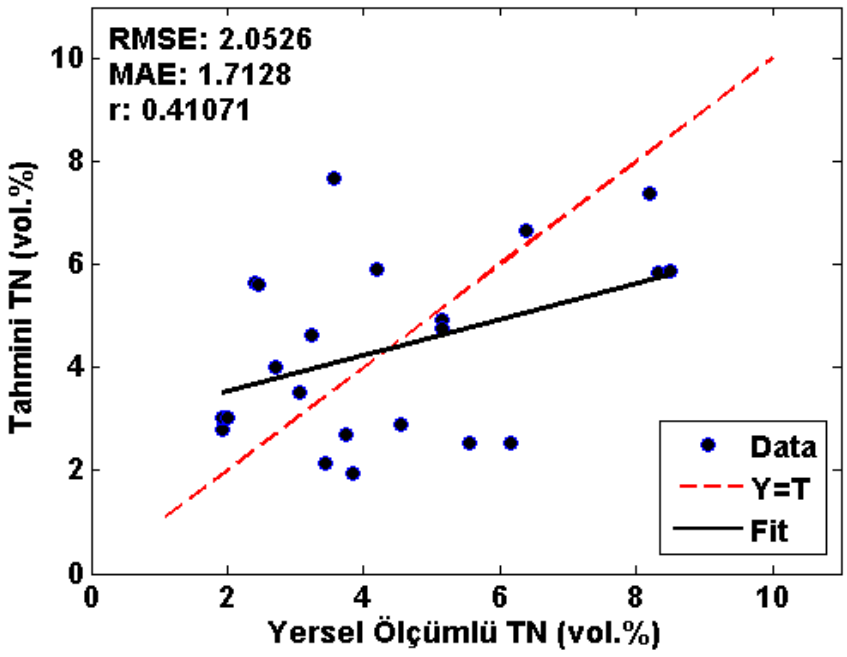
Şekil 4.37. Veri seti 3 için 3. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



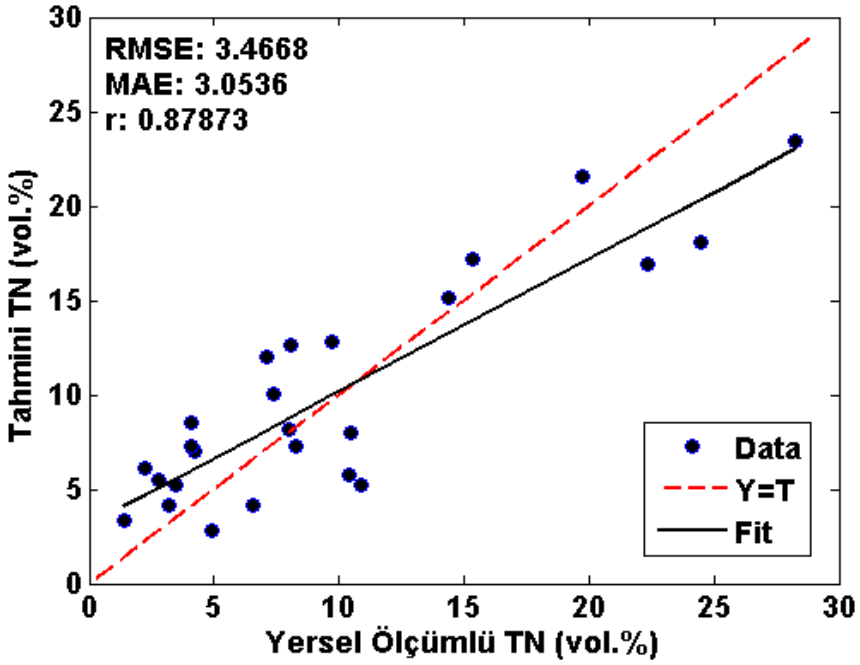
Şekil 4.38. Veri seti 3 için 4. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



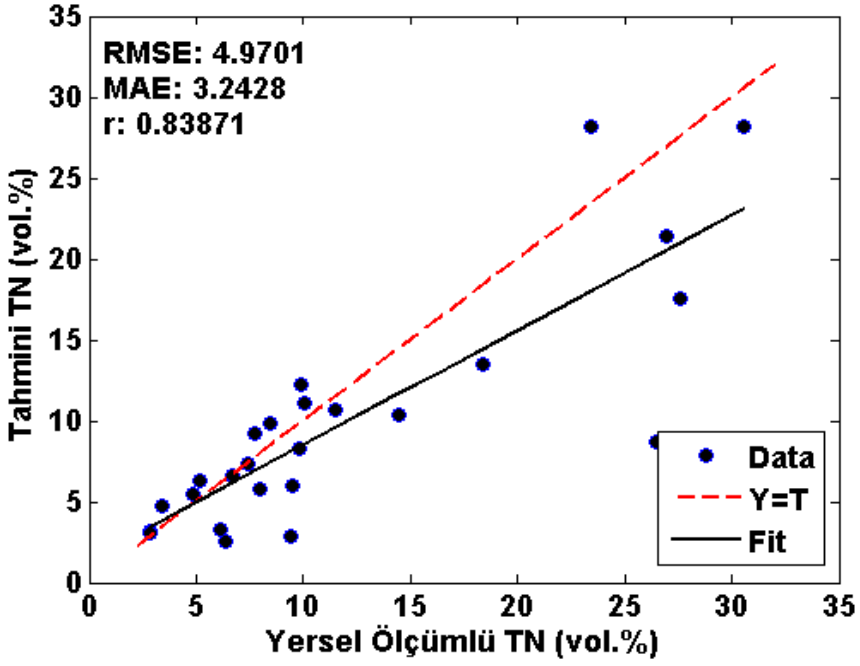
Şekil 4.39. Veri seti 3 için 5. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



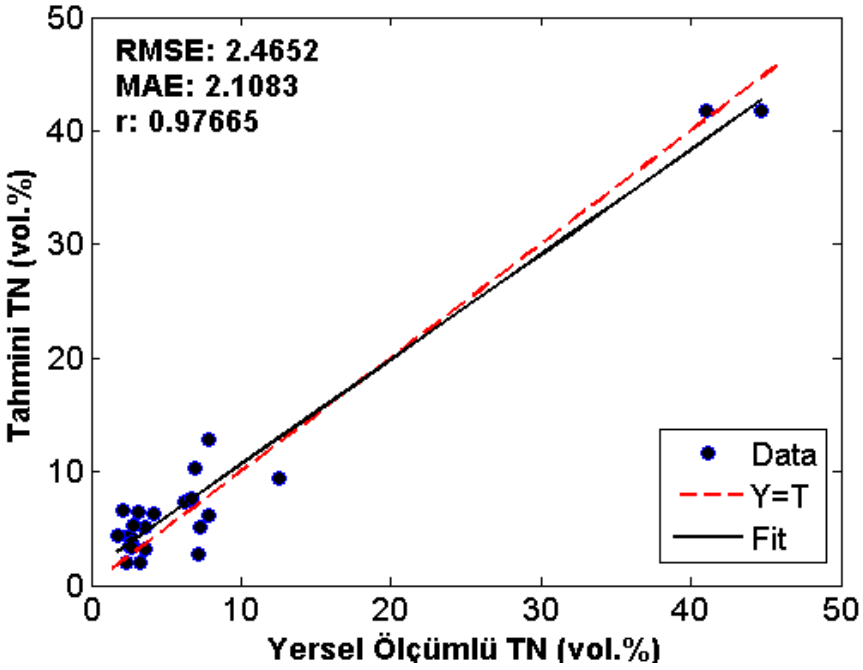
Şekil 4.40. Veri seti 3 için 6. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



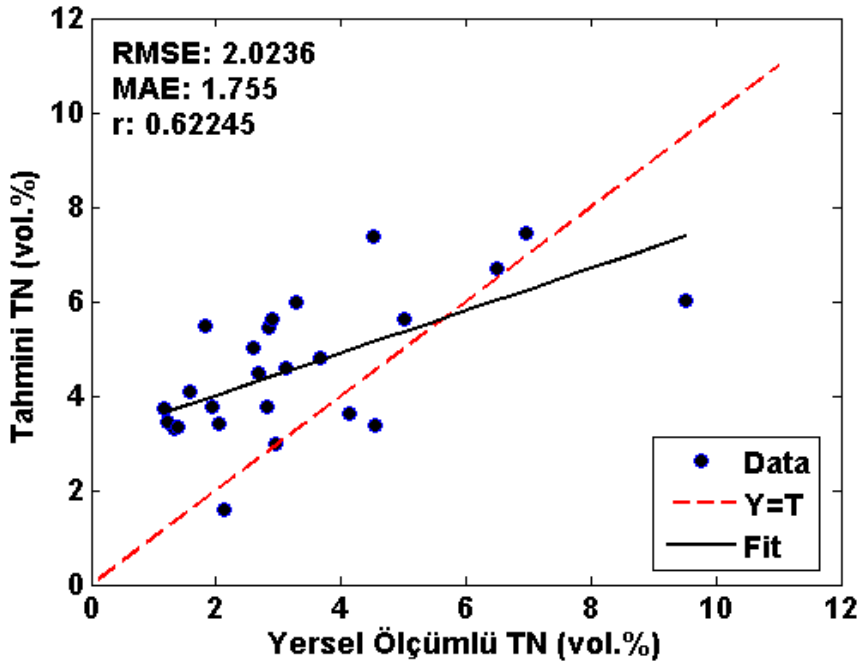
Şekil 4.41. Veri seti 3 için 7. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



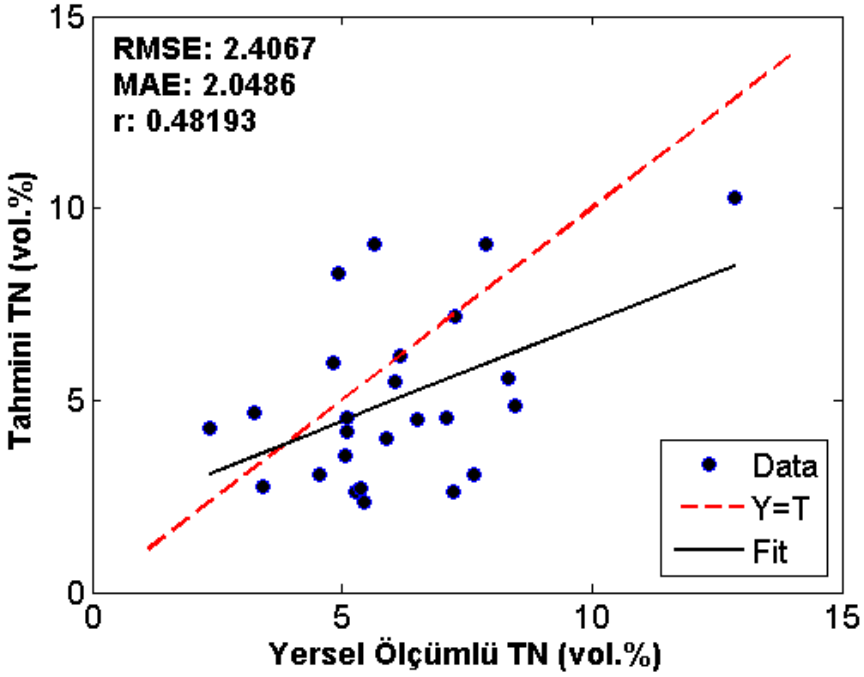
Şekil 4.42. Veri seti 3 için 8. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



Şekil 4.43. Veri seti 3 için 9. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



Şekil 4.44. Veri seti 3 için 10. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki

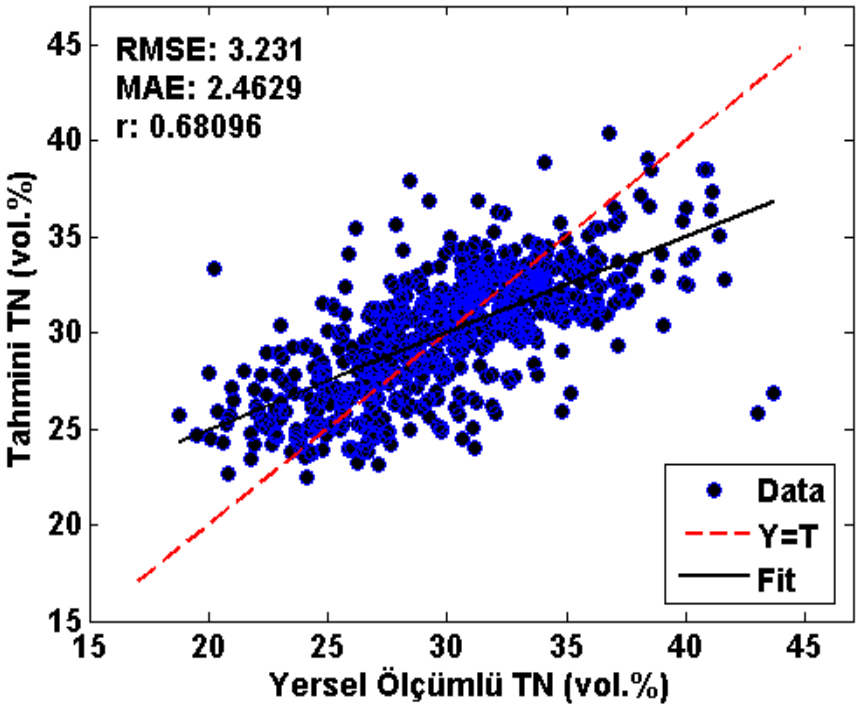


Şekil 4.45. Veri seti 3 için 11. test alanı üzerindeki yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki

4.4. Birleştirilmiş Veri Setleri Üzerinde Uygulamalar

Bu aşamada, önerilen tahmin modelinin farklı tarihler arasında uygulanabilirliğini ispatlamak için elde edilen veri setleri aşağıdaki yaklaşımlarla birleştirilmiştir. İlk olarak, düşük ve yoğun bitki örtüsünün etkisini belirlemek için farklı tarihlerde elde edilen veri setleri 1 ve 2 birleştirilmiş ve 620×10 uzunluğa sahip yeni bir veri kümesi oluşturulmuştur. Daha sonra, kombine veri kümeleri temel alınarak toprak nemi tahmini için GRNN algoritması kullanılmıştır.

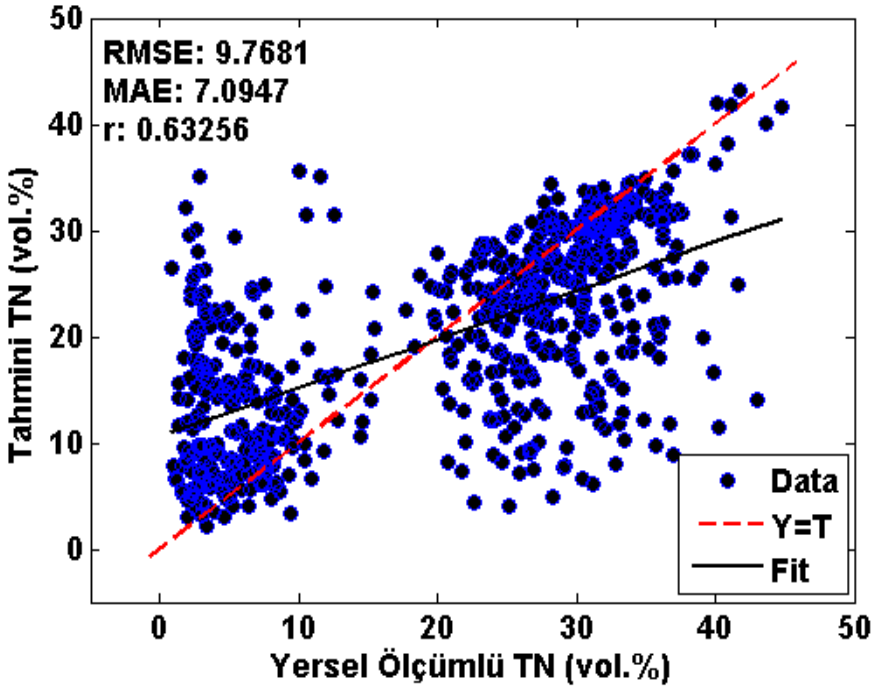
Test aşamasında ise, sistem performansını test etmek için birini dışarda bırakma çapraz doğrulama yöntemi kullanılmış ve sonuç olarak, Şekil 4.46'da gösterildiği gibi, %3.23 vol RMSE ve %2.46 vol MAE tahmin hataları ile r=0.68 olarak hesaplanmıştır.



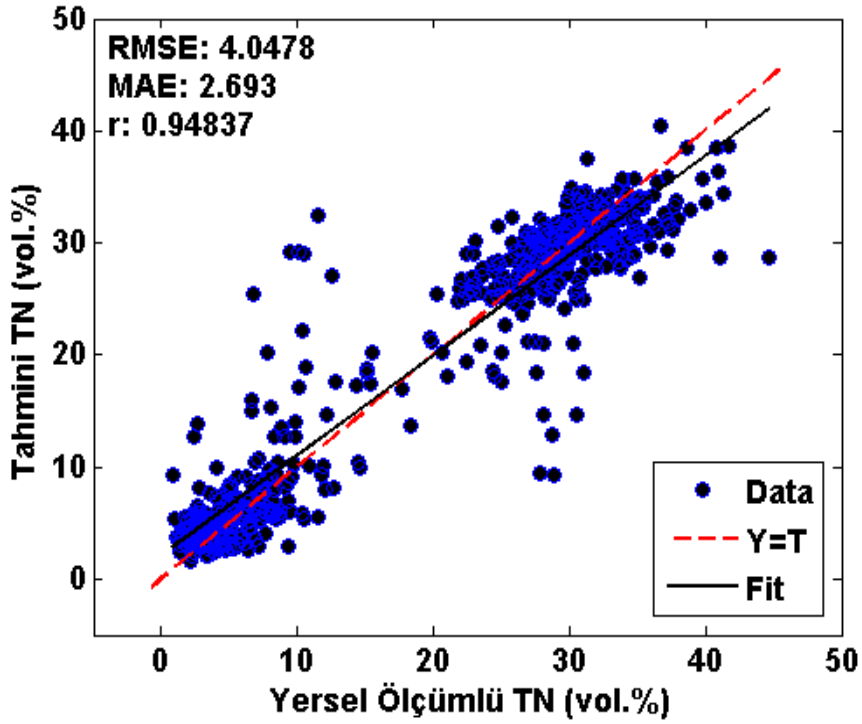
Şekil 4.46. Birleştirilmiş veri setleri 1 & 2 için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki

İkinci yaklaşımda, farklı tarihlerdeki düşük bitki örtüsü ve yalın toprak yüzeyinin etkilerini analiz etmek için veri setleri 1 ve 3 birleştirilmiş ve 607 × 10 uzunluktaki bir veri kümesi oluşturulmuştur. Eğitim ve test işlemi sonrasında, tüm sisteme ait yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemleri arasındaki ilişki Şekil 4.47'de belirtildiği gibi sırasıyla, MAE= %7.09 vol, RMSE= % 9.76 vol ve r=0.63 olarak gözlemlenmiştir.

Bir sonraki yaklaşımda, yoğun bitki örtüsü ve çıplak toprak yüzeyinin farklı tarihlerde etkilerini belirlemek için veri setleri 2 ve 3 kombine edilmiş ve 557×10 uzunluğunda yeni bir veri seti oluşturulmuştur. Diğer yaklaşımlarda olduğu gibi, önerilen tahmin modelinin validasyonu ve test işlemleri bu aşamada da gerçekleştirilmiş; sonuçta yersel ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki sırasıyla, %4.04 vol RMSE ve %2.69 vol MAE tahmin hataları ile r=0.94 korelâsyon katsayısıyla Şekil 4.48'de gösterilmiştir.

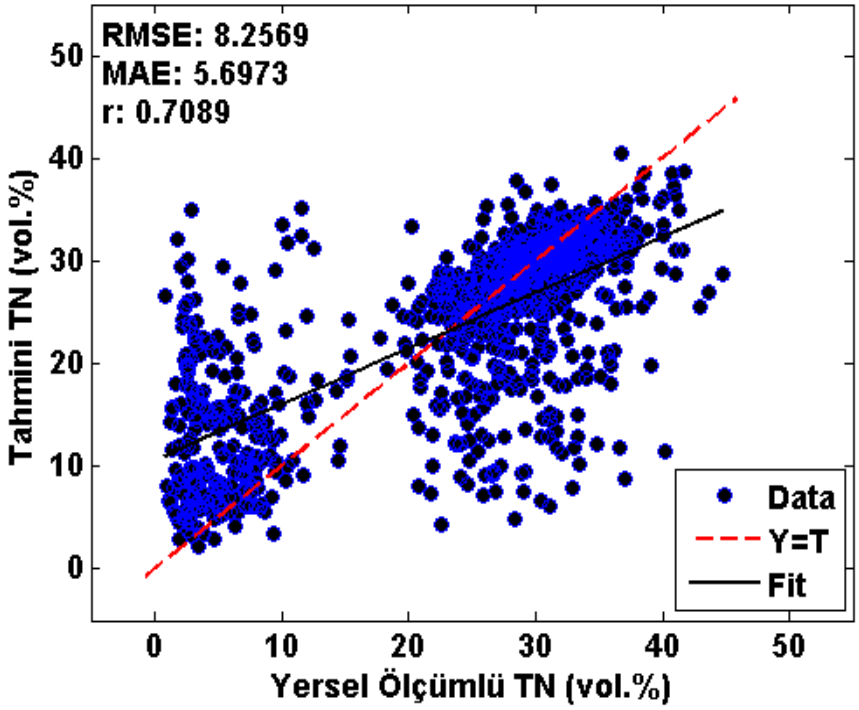


Şekil 4.47. Birleştirilmiş veri setleri 1 & 3 için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki



Şekil 4.48. Birleştirilmiş veri setleri 2 & 3 için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki

Son olarak, farklı tarihlerdeki düşük ve yoğun vejetasyon ile yalın toprak yüzeyinin etkilerini analiz etmek için veri setleri 1, 2 ve 3 kaynaştırılmış ve 892×10 uzunluğunda yeni bir veri kümesi oluşturulmuştur. Eğitim ve test işlemleri sonrasında, genel sisteme ait yersel ve tahmini toprak nemleri arasındaki ilişki sırasıyla, MAE= %5.69 vol, RMSE= % 8.25 vol ve r=0.70 olarak Şekil 4.49'da ifade edilmiştir.



Şekil 4.49. Birleştirilmiş veri setleri 1&2& 3 için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki ilişki

4.5. Bulguların Değerlendirilmesi

Polimetrik ayrışma modelleri ve doğrusal olmayan makine öğrenme teknikleri ile toprak nemini tahmin eden az sayıda araştırma çalışması bulunmaktadır. Bu çalışmada, ürün gelişiminin farklı evrelerinde değişik saçılma bileşenleri elde etmek için iki tipik polarimetrik ayrışma modeli (Freeman-Durden, H / A / α) seçilmiştir. Bunlardan ilki olan Freeman-Durden ayrışma modeli, yüzey parametreleri gibi zemin ölçümlerine ihtiyaç duymadığı için bu çalışmada kullanılmıştır. Bir diğeri ise, H/A/α yöntemi, saçılma modellerinin özellikle yüzey saçılmasının olası tüm senaryolarını kapsadığından dolayı ikinci saçılma modeli olarak tercih edilmiştir.

Daha sonra, veri setlerinin regresyon analizi, GRNN algoritması kullanılarak gerçekleştirilmiş ve bu veri setlerine ait bulguların değerlendirilmesi için yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemleri arasındaki istatistiksel ilişki, arazi üzerindeki yersel nem değerlerine ait varyasyon katsayısı (V_k) ile birlikte Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemleri (TN) arasındaki istatistiksel ilişki.

Veri seti	Ortalama TN (%)	RMSE (%)	MAE (%)	r	V_k (%)
Veri seti 1	29. 72	2.84	2.31	0.80	16
Veri seti 2	30. 36	2.65	2.11	0.74	13
Veri seti 3	7.46	2.77	2.10	0.92	94
Veri seti 1 & 2	30.01	3.23	2.46	0.68	14
Veri seti 2 & 3	19.18	4.05	2.70	0.95	66
Veri seti 1 & 3	19.75	9.76	7.09	0.63	63
Veri seti 1 & 2 & 3	23.14	8.26	5.70	0.71	50

Çizelge 4.2'deki bulgulara göre, bu çalışma alanındaki farklı test alanlarının farklı toprak nem içeriğine sahip olduğu gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, toprağın sürülmüş olması, olmaması veya sulanması durumlarıdır.

Veri seti 1 sonuçları analiz edildiğinde; bu veri setinin ortalama toprak nem oranı % 29.72 olup yersel toprak nemine ait V_k değeri (standart sapmanın ortalamaya oranı) % 16 civarında hesaplanmıştır. Ayrıca, bu dönemde toprak zemin yüzeyi, seyrek bitki örtüsü (çorak topraklar ve gelişim evresindeki ekinler) ile kaplı olduğundan dolayı, arazi yapısının heterojen bir yapıya sahip olduğu söylenebilmektedir. Arazinin bu yapısı nedeniyle, veri seti 1'i oluşturan saçılma katsayıları ile yersel toprak nem ölçümleri arasında iyi bir korelâsyon değeri (r=0.80) sergilenmiştir.

Benzer şekilde, veri seti 2 için ortalama toprak nem değeri % 30.36 olup yersel ölçümlere ait V_k değeri % 13 olarak ölçülmüştür. Ayrık tüm veri setleri arasında, en düşük tahmin hatası ile korelâsyon katsayısı (r=0.706) bu aşamada gözlenmiştir. Düşük korelâsyonun nedeni, çalışma alanının bu tarihte yoğun bir vejetasyon ile kaplı olmasından kaynaklı olabilmektedir. Böylece, vejetasyon saçılması, yersel ölçümlü ve tahmini toprak nemi arasındaki korelâsyonun azalmasına sebep olmuştur.

Ayrıca, bu aşamada arazi yapısı yoğun bir bitki örtüsüyle kaplı olduğundan dolayı, homojen bir arazi yapısından bahsetmek mümkündür. Dolayısıyla, veri seti 2'yi oluşturan saçılma katsayılarının homojen arazi nedeniyle düşük tahmin hatalarına neden olduğu söylenebilmektedir.

Diğer ayrık veri setlerinin aksine, veri seti 3'ün ortalama toprak nem değeri % 7 ve yersel nemlerin V_k değeri % 94 olarak hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra, yersel ölçümlü ve tahmini toprak nem değerleri arasında, yüksek bir korelâsyon katsayısı bu aşamada (r = 0.92) gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, çalışma alanının bu dönemde yüksek bir V_k değeri ile heterojen (çoğunlukla toprak, az miktarda hasat sonrası ekin sapları) bir arazi yapısına sahip olması olarak düşünülebilmektedir. Ayrıca, bu periyottaki kısmi sulama, toprak nem dağılımını etkilediğinden dolayı toprak nemine ait V_k değerinin yükselmesine sebep olmuş ve bu durum hata oranlarının artmasıyla birlikte gerçek ve tahmini değerler arasındaki korelâsyonun da yükselmesini sağlamıştır.

Bunların dışında, birleştirilmiş veri setlerine ait tüm kombinasyonlar incelendiğinde, en iyi tahmini modeli, en düşük hata oranı ile veri seti 1&2 yaklaşımında görülmüştür. Bunun sebebi, veri seti 1&2 için V_k değerinin düşük olması (% 14) ve veri seti 2'nin elde edildiği arazi yapısının homojen olmasından kaynaklı olabilmektedir. Ayrıca, veri setleri 1 ve 2 için yersel toprak nem değişimi, doymuşluk civarında yüksek toprak nem değerleri ile sınırlandırılmış olduğundan dolayı, radar sinyalleri de doyuma ulaşmakta ve bu seviyeler için hatalar sınırlı olabilmektedir (Zribi ve ark. 2005).

Bununla birlikte, veri seti 2 & 3'e ait analiz sonuçları değerlendirildiğinde, bu veri setinin ortalama toprak nem değeri %19.18 olup yersel toprak nemlerine ait V_k değeri % 66 olarak hesaplanmıştır. Veri seti 1&2'de olduğu gibi, bu veri setinde de tahmin modeli için düşük hatalar üretilmiş fakat tüm modeller arasındaki en yüksek korelâsyon (r=0.95) değeri bu veri setinde görülmüştür. Düşük tahmin hatalarının nedeni olarak, veri seti 2'ye ait arazi yapısının homojen olması; yüksek korelâsyon değerinin sebebi olarak da çok yoğun bitki örtüsü ile çorak arazi yapısına ait verilerin birleştirilmesi düşünülmektedir.

Veri seti 1&3'e ait sonuçlar analiz edildiğinde ise, bu veri setinin ortalama toprak nem değeri % 19.75 olup yersel toprak nemlerine ait V_k değeri % 63 olarak ölçülmüştür. Tüm tahmin modelleri arasındaki en yüksek tahmin hatası (RMSE= % 9.76; MAE= 7.09) ile en düşük korelâsyon katsayısı (r=0. 63) bu veri setinde gözlemlenmiştir. Bunun nedeni, veri setleri 1 ve 3' e ait verilerin elde edildiği arazilerdeki toprak nemi dikey profilinin heterojen yapıda olması olarak düşünülmektedir. Böylece, veri setleri 1 veya 3, diğer veri setleriyle birleştirildiğinde yüksek hata oranlarına neden olmuştur (Le Morvan ve ark. 2008). Ayrıca, çorak zemin koşullarında önemli bir parametre olan pürüzlülük etkisi de, toprak nem tahmini için önemli miktarda hatalar üretebilmektedir (Zribi ve ark. 2005b). Bu nedenle, veri seti 3'ü oluşturan saçılma katsayıları diğer veri setlerine dâhil olduğunda tahmin hataları yükselebilmektedir.

Son olarak, veri seti 1 & 2 & 3'e ait yaklaşım sonuçları incelendiğinde, bu veri setinin ortalama toprak nem değeri % 23.14 ve V_k değeri % 50 olarak hesaplanmıştır. Bu yaklaşımda, yüksek tahmin hataları (RMSE= % 8.26; MAE= 5.70) ile düşük korelâsyon katsayısı (r= 0.71) gözlemlenmiştir. Bunun nedeni olarak da, bir önceki yaklaşımda olduğu gibi veri setleri 1 ve 3' e ait verilerin elde edildiği arazilerin heterojen yapıda olması ve çorak arazilerdeki pürüzlülük parametresinin etkisi düşünülmektedir.

Kısacası, bu çalışma için önerilen sisteminin ana katkısı, ayrıştırılmış model parametrelerinin standart sigma geri saçılma katsayılarıyla birleştirerek veri setlerinin yeni bir yaklaşımla oluşturulmasıdır. Veri setleri oluşturulduktan sonra, GRNN tahmin modeli, oluşturulan bu parametrelerle beslenmiş ve düşük bir hata oranı ile toprak nemini tahmin etmiştir. Literatür çalışmaları dikkate alındığında, SAR temelli veriler yoluyla toprak nemi tahmini için bazı ana yaklaşımlar Çizelge 4.3'te listelenmiştir. Burada, önerilen sistemin genel doğruluğu literatürdeki diğer yaklaşımlara kıyasla iyi sonuçlar vermiştir.

Çizelge 4.3. SAR esaslı verilerle toprak neminin tahmininde farklı yaklaşımların karşılaştırılması

Referans	Çalışma Alanı	Veri seti	Doğruluk	Yöntem
Önerilen Model	Yalın & Bitki örtülü (Türkiye)	Radarsat-2 verisi & Yersel ölçümler	r^2= [0.55–0.85] RMSE =% [2.65–2.84] Ayrık veri seti r^2 = [0.40–0.90] RMSE =% [3.23–9.76] Birleştirilmiş veri setleri	Çoklu SAR, Polarimetrik Ayrıştırma & GRNN
(Hajnsek ve ark. 2009)	Bitki örtülü (Almanya)	POLSAR verisi & Yersel ölçümler	r^2 = [0.4–0.7]	Polarimetrik Ayrıştırma
(Zhang ve ark. 2016)	Yalın (Çin)	Radarsat-2, TerraSAR-X verisi & Yersel ölçümler	r^2 = [0.82–0.86]	SVR & Modified Dubois
(He ve Bai 2014)	Yalın & Bitki örtülü (Çin)	Radarsat-2 ve Optik veri & Yersel ölçümler	r^2 = 0.71	IEM & WCM
(Xiaodong ve ark. 2016)	Bitki örtülü (Kanada)	Radarsat-2 verisi & Yersel ölçümler	RMSE = % 7.12	Adaptif İki Komponent Ayrıştırma
(Bai ve He 2016)	Bitki örtülü (Çin)	Radarsat-2 verisi & Yersel ölçümler	r^2 = 0.70 RMSE = % 4.05	İleri IEM
(Paloscia ve ark. 2008)	Yalın & Seyrek bitki örtülü (İtalya)	ENVISAT/ASAR verisi & Yersel ölçümler	r^2 =0.82 Tüm veri seti r^2 = [0.45–0. 65] Ayrık veri seti	IEM, ANN, Bayesian & Nelder–Mead
(Wang ve ark. 2016)	Bitki örtülü (Kanada)	UAVSAR verisi & Yersel ölçümler	r^2 = [non–0.44]	Sadeleştirilmiş Polarimetrik Ayrıştırma
(Yang ve ark. 2016)	Tarım Arazisi (China)	Radarsat-2 verisi & Yersel ölçümler	r^2 = 0.41	Gelişmiş WCM
(Xie ve ark. 2017)	Bitki örtülü (Çin)	Radarsat-2 verisi & Yersel ölçümler	r^2 = [0.83–0.88]	Polarimetrik Ayrıştırma, Bragg, X-Bragg & ISSM
(Lakhankar ve ark. 2009)	Bitki örtülü (USA)	Radarsat-1, Landsat 2 verisi & Yersel ölçümler	r^2 = [0.72–0.76]	YSA, Bulanık Mantık& Çok Değişkenli İstatistik
(Baghdadi ve ark. 2012b)	Yalın (Fransa)	Radarsat-2 verisi & Yersel ölçümler	RMSE = [0.06–0.09] cm^3/cm^3	MLP & IEM

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tarımsal arazilere ait yüzey toprak neminin belirlenmesi, sulama sistemlerinin etkin bir şekilde kullanılması için çok önemli bir parametredir. Standart toprak nemi ölçümlerinin aksine, uzaktaki algılama araçları ile geniş tarımsal alanlar üzerinde daha kısa sürede ve az maliyetle toprak nemi kestirilebilmektedir.

Uzaktan algılamada elektromanyetik spektrumun mikrodalga bölgesi, toprak nem içeriğindeki değişimlere karşı hassas olduğundan dolayı, bu bölgede çalışıp olumsuz hava koşullarında bile yüksek çözünürlüklü uygun görüntüler üretebilen SAR algılayıcıları, toprak nemi tahmininde kullanılmaktadır. Dolayısıyla, tez çalışmamızda tam polarimetrik (vv, vh, hv, hh) bir SAR algılayıcısına sahip olan Radarsat-2 verileri kullanılmıştır.

Ayrıca, bitki örtüsü ile kaplı tarımsal araziler üzerindeki toprak neminin tahmini için yersel ölçümlü toprak nemi ile Radarsat-2 verileri arasında bir korelâsyon kurulmuş ve belirlenen korelâsyona dayanarak toprak nemi tahmin edilmiştir. Tahmin modeli birkaç aşamadan oluşmaktadır.

İlk aşamada, veri toplama işlemi iki farklı şekilde gerçekleştirilmiştir. Radarsat-2 uydusunun bölgeden geçiş dönemi, tarih, mevsim, ekinin durumu dikkate alınarak üç farklı tarihli (27 Şubat, 8 Nisan ve 10 Haziran 2015) Radarsat-2 verisi elde edilmiş ve bu tarihlere eş zamanlı olarak arazi üzerinden yersel ölçümler yapılmıştır. Yersel toprak nem ölçümleri, gravimetrik yöntemler kullanılarak her bir örnek nokta için hesaplanmış ve örneklerin alındığı bölütlere ait yerin koordinatları daha sonra GPS cihazı yardımıyla kayıt altına alınmıştır.

İkinci aşamada, Radarsat-2 verilerinin distorsiyonlardan arındırılıp gerçek bir harita koordinat sistemi ile uyumlu hale getirilmesi için çeşitli önişlemler (kalibrasyon, çoklu bakış, benek azatlımı, arazi düzeltme vb.) uygulanmıştır. Önişlemi tamamlanmış bu verilere daha sonra yersel ölçüm noktalarına ait GPS vektörleri aktarılmıştır.

Üçüncü aşamada, Radarsat-2 verilerinden özellik vektörü oluşturmak için bu verilere çoklu frekans SAR tekniği ile birlikte H/A/α ve Freeman Durden polarimetrik ayrıştırma modelleri uygulanmıştır. Daha sonra, her bir örnek noktadan on adet geri saçılma parametresi (σhh, σhv, σvh, σvv, entropi, anizotropi, alfa açısı, hacimsel saçılma, yüzey saçımı ve çift saçılma) hesaplanmıştır.

Sonraki aşamada, her bir ölçüm dönemi için bir veri seti olmak üzere toplamda üç farklı veri seti oluşturulmuş; bu veri setlerinden toprak nem tahmini için makine öğrenme temelli Genelleştirilmiş Regresyon Sinir Ağı (GRNN) modeli kullanılmıştır.

Sonuç olarak, önerilen bu model mimarisi ile tekli C-bandı SAR verileri kullanılarak çalışma bölgesi üzerinde iyi sonuçlar alınmış ve yüzeydeki toprak neminin düşük hatalarla tahmini için radarın uygun bir uzaktan algılama aracı olduğu gözlemlenmiştir.

Gelecekte ise, artan sayıda veri setleriyle önerilen sistemin performansını iyileştirmek için SAR tabanlı farklı veri ve yersel ölçümlerin alınması planlanmaktadır. Ayrıca, farklı özellik çıkarım yöntemlerinin uyumluluğu, toprak nem tahmini modeli için incelenecektir.

Bu çalışmanın devamı olarak, 114E543 numaralı TUBİTAK araştırma projesi ile TARBİL eklem projesi kapsamında elde edilecek hedef çıktılardan biri de tahmin modelinin geliştirilip tarımsal arazilerin iki farklı gruba (Kuru ve Nemli Toprak) ayrılmasına olanak sağlanmasıdır. Böylece, doğal su kaynakları daha verimli bir şekilde kullanılabilecek ve bölgedeki sulama amaçları için otomatik olarak en uygun su miktarı belirlenebilecektir.

6. KAYNAKLAR

Ali, I., Greifeneder, F., Stamenkovic, J., Neumann, M., & Notarnicola, C. 2015. Review of machine learning approaches for biomass and soil moisture retrievals from remote sensing data. ***Remote Sensing***, 7(12), 16398-16421.

Alvarez-Mozos J, Casali J, Gonzalez-Audicana M, Verhoest NEC. 2005. Correlation between ground measured soil moisture and RADARSAT-1 derived backscattering coefficient over an agricultural catchment of Navarre (North of Spain). ***Biosystems Engineering***, 92(1): 119-133.

Anonim, (2005). Sulama ve Sistemleri. Erişim: [http:// yilmaztarim.8m.net/ sulama_ve_sulama_sistemleri.htm]. *Erişim Tarihi: 01.12.2016.*

Anonim, (2016). European Space Agency (ESA). Polarimetric Decompositions Tutorial. Erişim: [https:// earth.esa.int/ documents/ 653194/656796/ Polarimetric_Decompositions.pdf]. *Erişim Tarihi: 13.02.2017.*

Anonim, (2017). Radar Basics. Slant Range Distortion. Erişim: [http:// www.radartutorial.eu/ 20.airborne/ ab07.en.html]. *Erişim Tarihi: 10.01.2017.*

Bai, X., He, B.; Li, X. 2016. Optimum surface roughness to parameterize advanced integral equation model for soil moisture retrieval in prairie area using Radarsat-2 data. ***IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.***, 5, 42437–2449.

Baghdadi, N., King, C., Chanzy, A., & Wigneron, J. P. 2002. An empirical calibration of the integral equation model based on SAR data, soil moisture and surface roughness measurement over bare soils. ***International Journal of Remote Sensing***, 23(20), 4325-4340.

Baghdadi, N., Holah, N., Zribi, M. 2006. Soil moisture estimation using multi-incidence and multi-polarizationASAR data. ***Int. J. Remote Sens***., 27, 1907–1920.

Baghdadi, N., Zribi, M. 2006. Evaluation of radar backscatter models IEM, OH and Dubois using experimental observations. ***Int. J. Remote Sens***., 27, 3831–3852.

Baghdadi, N., Chaaya, J. A., & Zribi, M. 2011a. Semiempirical calibration of the integral equation model for SAR data in C-band and cross polarization using radar images and field measurements. ***IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters***, 8(1), 14-18.

Baghdadi, N., Saba, E., Aubert, M., Zribi, M., & Baup, F. 2011b. Evaluation of radar backscattering models IEM, Oh, and Dubois for SAR data in X-band over bare soils. ***IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters***, 8(6), 1160-1164.

Baghdadi, N.,Cresson, R.,Pottier, E., Aubert, M., Zribi, M., Jacome, A., Benabdallah, S.A. 2012a. Potential use for the C-band polarimetric SAR parameters to characterize the soil surface over bare agriculture fields. ***IEEE Trans. Geosci. Remote Sens***., 50, 3844–3858.

Baghdadi, N., Cresson, R., El Hajj, M., Ludwig, R., La Jeunesse, I. 2012b. Estimation of soil parameters over bare agriculture areas from C-band polarimetric SAR data using neural networks. ***Hydrol. Earth Syst. Sci***., 16, 1607–1621.

Bauer, M. (1995). General Regression Neural Network for Technical Use. Master's Thesis, University of Wisconsin-Madison.

Bourgeau-Chavez, L.L., Leblon, B., Charbonneau, F., Buckley, J.R. 2013. Evaluation of polarimetric Radarsat-2SAR data for development of soil moisture retrieval algorithms over a chronosequence of black spruce boreal forests. ***Remote Sens. Environ***., 132, 71–85.

Cameron, A. C., & Windmeijer, F. A. 1997. An R-squared measure of goodness of fit for some common nonlinear regression models. ***Journal of Econometrics***, 77(2), 329-342.

Chen, K. S., Wu, T. D., Tsang, L., Li, Q., Shi, J., & Fung, A. K. 2003. Emission of rough surfaces calculated by the integral equation method with comparison to three-dimensional moment method simulations. ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing***, 41(1), 90-101.

Chuvieco, E. 2016. Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach. CRC press. Sayfa:42, USA.

Cloude, S. R., & Pottier, E. 1996. A review of target decomposition theorems in radar polarimetry. ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing***, 34(2), 498-518.

Cloude, S.R., Pottier, E. 1997. An entropy based classification scheme for land applications of polarimetric SAR. ***IEEE Trans. Geosci. Remote Sens***. 35, 68–78.

Coakley, S. M., Boyd, W. S. ve Line, R. F. 1982. Statistical Models for Prediction of Stripe Rust on Winter Wheat in the Pacific Northwest. ***Phytopathology***, 72: 539-1542.

Cognard, A. L., Loumagne, C., Normand, M., Olivier, P., Ottle, C.,Vidal-Madjar, D. ve ark. 1995. Evaluation of the ERS-1/synthetic aperture radar capacity to estimate surface soil moisture: Two-year results over the Naizin watershed. ***Water Resources Research***, 31(4), 975– 982.

Deschamps, B. "Evaluation of three semi-empirical soil moisture estimation models with RADARSAT-2 imagery" (2008). (Thesis) Master of Science, Carleton University, Ottawa, Ontario, Canada.

Dubois, P., vanZyl, J., Engman, T. 1995. Corrections to "Measuring soil moisture with imaging radars". ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing***. 33(6):1340.

Engdahl, M., Minchella, A., Marinkovic, P., Veci, L., Lu, J. 2012. Nest: An esa open source toolbox for scientific exploitation of sar data. In Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International S. 5322-5324.

Engman, E. T. Ve Chauhan, N. 1995. Status of microwave soil moisture measurements with remote sensing. ***Remote Sens. Environ***. 51, 189–198.

ESA, 2017. European Space Agency. Available online: https://earth.esa.int (accessed on 13 February 2017).

Freeman, A., Durden, S.L. 1998. A three component scattering model for polarimetric SAR data. ***IEEE Trans. Geosci. Remote Sens***. 36, 963–973.

Fung, A. K., & Chen, K. S. 2004. An update on the IEM surface backscattering model. ***IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters***, 1(2), 75-77.

Glover, D.M., Jenkins, W.J, Doney, S.C. Least Squares and Regression Techniques, Goodness of Fit and Tests, Non-Linear Least Squares Techniques; Woods Hole Oceanographic Institute: Woods Hole, MA, USA, 2008.

Günlü, A., 2009. Yetişme Ortamı Envanterinin Doğrudan, Dolaylı ve Uzaktan Algılama Yöntemleri İle Belirlenmesi ve Karşılaştırılması, Doktora Tezi, K.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

Günlü, A., Başkent, E. Z., ve Karahalil, U. 2010. Yetişme Ortamının Aktif Uydu Görüntüsü (RADARSAT-1) Belirlenmesi Artvin-Merkez Planlama Birimi Örneği. III. Ulusal Karadeniz Ormancılık Kongresi, 20-22 Mayıs 2010, S. 462-470.

Hajnsek, I., Cloude, S.R., Lee, J.S.,Pottier, E. 2000. Inversion of surface parameters from polarimetric SAR data. In Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, 24–28 July 2000, Honolulu, HI, USA. S. 1095–1097.

Hajnsek, I., Jagdhuber, T., Schon, H., Papathanassiou, K.P. 2009. Potential of estimating soil moisture under vegetation cover by means of PolSAR. ***IEEE Trans. Geosci. Remote Sens***. 47, 442–454.

Hanson, B. 2009. Field Estimation of Soil Water Content: A Practical Guide to Methods, Instrumentation and Sensor Technology. ***Vadose Zone Journal***, 8(3), 628-628.

Hassan-Esfahani, L., Torres-Rua, A., Jensen, A., McKee, M. 2015. Assessment of Surface Soil Moisture Using High-Resolution Multi-Spectral Imagery and Artificial Neural Networks. ***Remote Sens***. , *7*, 2627-2646.

He, B.; Xing, M., Bai, X. A. 2014. Synergistic methodology for soil moisture estimation in an alpine prairie using radar and optical satellite data. ***Remote Sens***., 6, 10966–10985.

Hyndman, R. J., Koehler, A. B. (2006). Another look at measures of forecast accuracy. ***International journal of forecasting***, 22(4), 679-688.

Idso, S. B., Jackson, R. D., ve Reginato, R. J. 1975. Detection of soil moisture by remote surveillance. ***Am. Sci.,*** 63, 549–557.

Jagdhuber, T., Hajnsek, I., Bronstert, A., Papathanassiou, K.P. 2013. Soil Moisture Estimation Under low vegetation cover using a multi-angular polarimetric decomposition. ***IEEE Trans. Geosci. Remote Sens***. 51, 2201–2215.

Jagdhuber, T., Hajnsek, I. ve Papathanassiou, K. P. 2014. An iterative, generalized, hybrid decomposition on fully polarimetric SAR data for soil moisture retrieval under vegetation. In Proc. 10th Eur. Conf. Synthetic Aperture Radar, Jun. 2014, Berlin, Germany. S, 818–821.

Kachanoski, R. G., Gregorich, E. G. ve van Wesenbeeck, I. J. (1988).Estimating spatial variations of soil water content using noncontacting electromagnetic inductive methods.***Canadian Journal of Soil Science***, 68, 715–722.

Kavzoğlu, T. ve Çölkesen, İ., 2011. Uzaktan Algılama Teknolojileri ve Uygulama Alanları. Türkiye'de Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Çalıştayı, 26-27 Mayıs, Okan Üniversitesi, İstanbul.

Kutílek, M., & Nielsen, D. R. (1994). Soil hydrology: texbook for students of soil science, agriculture, forestry, geoecology, hydrology, geomorphology and other related disciplines. Catena Verlag.

Lakhankar, T., Ghedira, H., Temimi, M., Sengupta, M., Khanbilvardi, R., Blake, R. 2009. Non-Parametric methods for soil moisture retrieval from satellite remote sensing data. ***Remote Sens***., 1, 3–21.

Le He´garat-Mascle, S., Zribi, M., Alem, F., & Weisse, A. 2002. Soil moisture estimation from ERS/SAR data: Toward an operational methodology. ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing***, 40(12), 2647–2658.

Le Morvan, A., Zribi, M.,Baghdadi, N., Chanzy, A. 2008. Soil Moisture Profile Effect on Radar Signal Measurement. ***Sensors***, 8, 256–270.

Lee, J.S, Eric, P. 2009. Polarimetric radar imaging: from basics to applications. CRC press, Sayfa:200, USA.

Li, W., Yang, X., Li, H., Su, L. 2017. Hybrid Forecasting Approach Based on GRNN Neural Network and SVR Machine for Electricity Demand Forecasting. ***Energies***, 10(1), 44.

Moran, M .S., Perts-Lidard, C. D., Watts, J. M.ve McElroy, S. (2004). Estimating soil moisture at the watershed scale with satellite based radar and land surface models. ***Canadian Journal of Remote Sensing***, 30(5), 805–826.

Musaoğlu, N., 1999. Elektro-Optik ve Aktif Mikrodalga Algılayıcılardan Elde Edilen Uydu Verilerinden Orman Alanlarında Meşcere Tiplerinin ve Yetişme Ortamı Birimlerinin Belirlenme Olanakları, Doktora Tezi, İ.T.Ü., Fen Bilimleri Enstitüsü,İstanbul.

Notarnicola, C., Angiulli, M., & Posa, F. 2008. Soil moisture retrieval from remotely sensed data: Neural network approach versus Bayesian method. ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing***, 46(2), 547-557.

Oh, Y., Sarabandi, K., and Ulaby, F. (1992). An empirical model and an inversion technique for radar scattering from bare soil surfaces. ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing***, 30(2):370–381.

Oh, Y. (2004). Quantitative retrieval of soil moisture content and surface roughness from multipolarized radar observations of bare soil surfaces. ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,*** 42(3):596–601.

Özerdem, M.S.; Acar, E.; Ekinci, R. Soil Moisture Estimation over Vegetated Agricultural Areas: Tigris Basin, Turkey from Radarsat-2 Data by Polarimetric Decomposition Models and a Generalized Regression Neural Network. ***Remote Sens.*** 2017, *9*, 395.

Paloscia, S., Pampaloni, P., Pettinato, S., & Santi, E. 2008. A comparison of algorithms for retrieving soil moisture from ENVISAT/ASAR images. ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing***, 46(10), 3274-3284.

Pasolli, L., Notarnicola, C., & Bruzzone, L. 2011a. Estimating soil moisture with the support vector regression technique. ***IEEE Geoscience and remote sensing letters***, 8(6), 1080-1084.

Pasolli, L., Notarnicola, C., Bruzzone, L., Bertoldi, G., Della Chiesa, S., Hell, V., ... & Vaglio Laurin, G. 2011b. Estimation of soil moisture in an alpine catchment with RADARSAT- 2 images. ***Applied and Environmental Soil Science***.

Pasolli, L., Notarnicola, C., Bruzzone, L., Bertoldi, G., Chiesa, S. D., Niedrist, G., ... & Zebisch, M. 2012. Polarimetric RADARSAT-2 imagery for soil moisture retrieval in alpine areas. ***Canadian Journal of Remote Sensing***, 37(5), 535-547.

Panciera, R., Tanase, M. A., Lowell, K., & Walker, J. P. 2014. Evaluation of IEM, Dubois, and Oh radar backscatter models using airborne L-band SAR. ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing***, 52(8), 4966-4979.

Peplinski, N.R., Ulaby, F.T. and Dobson, M.C. 1995. Dielectric Properties of Soils in the 0.3-1.3-GHz Range. ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing***, 33, 803-807.

Pierdicca, N., Castracane, P., Pulvirenti, L. 2008. Inversion of electromagnetic models for bare soil parameter estimation from multifrequency polarimetric SAR data. ***Sensor***s. 8, 8181–8200.

Prasad, R., Kumar, R., & Singh, D. 2009. A radial basis function approach to retrieve soil moisture and crop variables from X-band scatterometer observations. ***Progress In Electromagnetics Research B***, 12, 201-217.

Quesney, A., Le He´garat-Mascle, S., Taconet, O., Vidal-Madjar, D.,Wigneron, J. P., Loumagne, C.ve ark. 2000. Estimation of watershedsoil moisture index from ERS/SAR data. Remote Sensing of Environment. 72(3), 290– 303.

Rees, W. G. 2013. Physical principles of remote sensing. Cambridge University Press.

Romshoo, S. A., Taikan, O., & Katumi, M. 2002. C-band radar for soil moisture estimation under agricultural conditions. In: Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2002. IGARSS'02. IEEE International. IEEE, 2002. S, 2217-2219.

Sakshaug, Stein Erik Høvik. Evaluation of Polarimetric SAR Decomposition methods for tropical forest analysis. MS thesis. University of Tromsø, 2013.

Sanli, F.B., Kurucu, Y., Esetlili, M.T., Abdikan, S., 2008. Soil moisture estimation from RADARSAT -1, ASAR and PALSAR data in agricultural fields of Menemen plane of western Turkey. In: Proceedings of Commission VII ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) Congress, Beijing, China. S, 75–82.

Shang, K. Z., Wang, S. G., Ma, Y. X., Zhou, Z. J., Wang, J. Y., Liu, H. L., & Wang, Y. Q. 2007. A scheme for calculating soil moisture content by using routine weather data. ***Atmospheric Chemistry and Physics***, 7(19), 5197-5206.

Shao, Y., Hu, Q., Guo, H., Lu, Y., Dong, Q., & Han, C. 2003. Effect of dielectric properties of moist salinized soils on backscattering coefficients extracted from RADARSAT image. ***IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensin****g*, 41(8), 1879-1888.

Specht, D. F. 1991. A general regression neural network. ***IEEE transactions on neural networks,*** 2(6), 568-576.

Srivastava, H.S., Patel, P., Sharma, Y., Navalgund, R.R. 2009. Large-area soil moisture estimation using multi-incidence-angle RADARSAT-1 SAR data. ***IEEE Trans. Geosci. Remote Sens***. 47, 2528–2535.

Srivastava, P. K., Han, D., Ramirez, M. R., & Islam, T. 2013. Machine learning techniques for downscaling SMOS satellite soil moisture using MODIS land surface temperature for hydrological application. ***Water resources management***, 27(8), 3127-3144.

Tülün Y., 2005. Toprak su içeriginin ve yarayıslı su düzeylerinin TDR (time domain reflectometry) ile ölçülmesi ve aletin çesitli toprak bünye sınıflarında kalibrasyonu. Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.14.

Ulaby, F. T., Moore, R. K., and Fung, A. K. 1986. Microwave Remote Sensing: Active and Passive, Artech House, Dedham, MA, Sayı. III. 21, 1797–1999.

Van der Velde, R., Su, Z., van Oevelen, P., Wen, J., Ma, Y., & Salama, M. S. 2012. Soil moisture mapping over the central part of the Tibetan Plateau using a series of ASAR WS images. ***Remote Sensing of Environment***, 120, 175-187.

Wang, J., Hsu, A., Shi, J. C., O'Neil, P., Engman, T. 1997. Estimating surface soil moisture from SIR-C measurements over the Little WashitaRiver watershed. ***Remote Sensing of Environment***. 59, 308–320..

Wang, H., Magagi, R., Goita, K., Jagdhuber, T., Hajnsek, I.2016. Evaluation of Simplified Polarimetric Decomposition for Soil Moisture Retrieval over Vegetated Agricultural Fields. ***Remote Sens***., 8, 142.

Weimann, A. Inverting a microwave backscattering model by the use of a neural network for the estimation of soil moisture. In Proceedings of the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Seattle, WA, USA, 6–10 July 1998. S, 1837–1839.

Willmott, C. J., Matsuura, K. 2005. Advantages of the mean absolute error (MAE) over the root mean square error (RMSE) in assessing average model performance. ***Climate research***, 30(1), 79-82.

Xiaodong, H., Jinfei, W., Jiali, S. 2016. Adaptive Two-Component Model-Based Decomposition on Soil Moisture Estimation for C-Band RADARSAT-2 Imagery over Wheat Fields at Early Growing Stages. ***IEEE Geosci. Remote Sens. Lett***. 13, 414–418.

Xie, X.M., Xu, J.W., Zhao, J.F., Liu, S., Wang, P. 2014. Soil moisture inversion using AMSR-E remote sensing data: An artificial neural network approach. ***Appl. Mech. Mater***., 501–504, 2073–2076 .

Xie, Q., Meng, Q.; Zhang, L., Wang, C.; Sun, Y., Sun, Z. 2017. A Soil Moisture Retrieval Method Based on Typical Polarization Decomposition Techniques for a Maize Field from Full-Polarization Radarsat-2 Data. ***Remote Sens***., 9, 168.

Yamaguchi, Y., Moriyama, T., Ishido, M. ve Yamada, H.2005. Four-component scattering model for polarimetric SAR image decomposition. ***IEEE Trans. Geosci. Remote Sens***. 43, 1699–1706.

Yang, H., Shi, J., Li, Z., ve Guo, H. 2006. Temporal and spatial soil moisture change pattern detection in an agricultural area using multi-temporal Radarsat ScanSAR data. ***International journal of remote sensing***, 27(19), 4199-4212.

Yang, J.,Yamaguchi, Y., Lee, J.S., Touzi, R., Boerner, W.M. 2015. Applications of Polarimetric SAR***. J. Sens***., 316391, 1–3.

Yang, G., Yue, J., Li, C., Feng, H., Yang, H., Lan Y. 2016. Estimation of soil moisture in farmland using improved water cloud model and Radarsat-2 data. ***Trans. Chin. Soc. Agric. Eng***., 32,146–153.

Yip, H. L., Fan, H. 2012. A General Regression Neural Network model for construction equipment maintenance costs. In Computing and Convergence Technology (ICCCT), 2012 IEEE 7th International Conference, 3-5 Dec. 2012, Seoul, South Korea. S, 1353-1357.

Yitayew, T. G., Brekke, C., Doulgeris, A. P. 2012. Multisensor data fusion and feature extraction for forestry applications. In Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012 IEEE International, Munich, Germany. S, 4982–4985.

Zribi, M., Taconet, O., Le Hégarat-Mascle, S., Vidal-Madjar, D., Emblanch, C., Loumagne, C., & Normand, M. 1997. Backscattering behavior and simulation comparison over bare soils using SIR-C/X-SAR and ERASME 1994 data over Orgeval. ***Remote sensing of environment***, 59(2), 256–266.

Zribi, M., & Dechambre, M. 2002. A new empirical model to retrieve soil moisture and roughness from radar data. ***Remote Sensing of Environment***,84(1), 42– 52.

Zribi, M., Baghdadi, N., Holah, N., Fafin, O. 2005a. New methodology for soil surface moisture estimation and its application to ENVISAT-ASAR multi-incidence data inversion. ***Remote Sens. Environ***. 96, 485–496.

Zribi, M., Baghdadi, N., Holah, N., Fafin, O., Guérin, C. 2005b. Evaluation of a rough soil surface description with ASAR-ENVISAT Radar Data. ***Remote Sens. Environ***., 95, 67–76.

Zhang, X., Chen, B., Fan, H., Huang, J., & Zhao, H. 2016. The Potential Use of Multi-Band SAR Data for Soil Moisture Retrieval over Bare Agricultural Areas: Hebei, China. ***Remote Sensing***, 8(1), 7.

ÖZGEÇMİŞ

Adı ve Soyadı: Emrullah ACAR
Doğum Yeri: Midyat
Doğum Tarihi: 01.02.1987
Medeni Hali: Bekar
Yabancı Dili: İngilizce, İsveççe, Arapça (Temel)

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lisans: Çukurova Üniversitesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği (İng.), Adana, 2004-2009

Lisans: Linköping University , Electrical Engineering, Linköping (Sweden), 2007-2008
Yüksek Lisans: İstanbul Teknik Üniversitesi, Biyomedikal Mühendisliği A.B.D. İstanbul, 2010
Yüksek Lisans: Dicle Üniversitesi (Yatay Geçiş), Elektrik-Elektronik Mühendisliği A.B.D. Diyarbakır, 2010-2012
Doktora: Gaziantep Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği A.B.D./ Gaziantep, 2012-.
Doktora: Dicle Üniversitesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği A.B.D./ Diyarbakır, 2013-2017.

Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl:

Batman Üniversitesi

Araştırma Görevlisi (2010-Halen), Batman

Yayınları (SCI)

1- Özerdem, M.S.; Acar, E.; Ekinci, R. Soil Moisture Estimation over Vegetated Agricultural Areas: Tigris Basin, Turkey from Radarsat-2 Data by Polarimetric Decomposition Models and a Generalized Regression Neural Network. *Remote Sens.* **2017**, *9*, 395.

Yayın Sayısı (Diğer Hakemli Dergiler): 8 adet.

Yayın Sayısı (Kongre ve Sempozyum Bildirileri): 7 adet.

T.C.
DİCLE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
DOKTORA TEZ ÇALIŞMASI İNTİHAL RAPORU FORMU

ÖĞRENCİ BİLGİLERİ	
ADI VE SOYADI	EMRULLAH ACAR
ÖĞRENCİ NO	13805503
EĞİTİM – ÖĞRETİM YILI	2016-2017
YARIYIL	☐ Güz ☒ Bahar
ANABİLİM DALI	ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ
PROGRAM	DOKTORA
TEZ KONUSU	Dicle Nehri Havzasında Toprak Nem Ölçümleri ile SAR İmgeleri Arasındaki İlişkiyi Saptama ve Bu İlişkiye Dayalı Toprak Neminin Tahmini
İNTİHAL RAPORU BİLGİLERİ	
RAPOR TÜRÜ	Tez Savunma Sınavı Sonrası
SAYFA SAYISI	119
BENZERLİK ORANI	%15
RAPORLAMA TARİHİ	01/06/2017

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın kapak sayfası, giriş, ana bölümler, sonuç ve tartışma kısımlarından oluşan toplam 119 sayfalık kısmına ilişkin, 01/06/2017 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan intihal raporuna göre, tezimin benzerlik oranı %15 'tür.

Uygulanan filtrelemeler:

☐ Kabul/Onay sayfaları hariç,
☐ Kaynakça hariç
☐ Alıntılar hariç/dâhil
☐ Diğer

Dicle Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Lisansüstü Programlarda Tez Çalışması İntihal Raporu Uygulama Esaslarını inceledim ve bu Uygulama Esaslarında belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edilmesi durumunda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

(İmza)
Emrullah ACAR

(İmza) 01/06/2017 Doç.Dr. Mehmet Siraç ÖZERDEM **Tez Danışmanı**	(İmza) 01/06/2017 Prof.Dr. İbrahim KAYA **Anabilim Dalı Başkanı**