YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE YOL VE TREN YOLU AĞI TESPİTİ

2017
DOKTORA TEZİ
BİLGİSAYAR MÜHENDİSLİĞİ

Şafak ALTAY AÇAR

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE YOL VE TREN YOLU AĞI TESPİTİ

Şafak ALTAY AÇAR

Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında
Doktora Tezi
Olarak Hazırlanmıştır

KARABÜK
Haziran 2017

Şafak ALTAY AÇAR tarafından hazırlanan "YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE YOL VE TREN YOLU AĞI TESPİTİ" başlıklı bu tezin Doktora Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. Şafak BAYIR .....
Tez Danışmanı, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir. 30/06/2017

Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)	İmzası
Başkan : Prof. Dr. Fatih Vehbi ÇELEBİ (AYBÜ)	.....
Üye : Yrd. Doç. Dr. Şafak BAYIR (KBÜ)	.....
Üye : Yrd. Doç. Dr. Baha ŞEN (AYBÜ)	.....
Üye : Yrd. Doç. Dr. İlhami Muharrem ORAK (KBÜ)	.....
Üye : Yrd. Doç. Dr. İlker TÜRKER (KBÜ)	.....

...../...../2017

KBÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Doktora derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Filiz ERSÖZ .....
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdür V.

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

Şafak ALTAY AÇAR

ÖZET

Doktora Tezi

YAPAY AÇIKLIKLI RADAR GÖRÜNTÜLERİNDE YOL VE TREN YOLU AĞI TESPİTİ

Şafak ALTAY AÇAR

Karabük Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Bigisayar Münedisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:
Yrd. Doç. Dr. Şafak BAYIR
Haziran 2017, 65 sayfa

Bu çalışmada, yapay açıklıklı radar görüntüleri üzerindeki otoyol ve tren yolu ağlarını tespit etmeye yönelik bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntem genel olarak yapay açıklıklı radar görüntüsü üzerindeki gürültülerin temizlenmesi, otoyol ve tren yolu segmentlerinin bulunması, tespit edilen segmentlerin birleştirilmesi ve gerçekte bir otoyol veya tren yolu ağının parçası olmayan segmentlerin silinmesi için geliştirilen hat analizi işlemlerinden oluşmaktadır. Gürültülerin temizlenmesi için Gauss filtresi kullanılmıştır. Otoyol ve tren yolu segmentlerinin tespiti için daha önceden önerilen bir yöntem bazı kurallar eklenerek kullanılmıştır. Tespit edilen segmentlerin birleştirilmesi için algısal organizasyondan faydalanılmıştır. Hat analizi işlemi için yolların lineerliğine ve eğriselliğine dayanan yeni bir yöntem sunulmuştur. Görüntülerin üzerindeki otoyol ve tren yolu ağları ayrı ayrı tespit edilmiştir. Önerilen yöntem uygulanırken farklı özelliklerinden dolayı otoyolları ve tren yolları için farklı eşik değerleri ve kurallar kullanılmıştır.

Önerilen yöntem iki farklı yapay açıklıklı radar görüntüsü üzerinde test edilmiştir. Görüntülerden ilki Polatlı, Ankara civarından, diğeri ise Karaman civarından alınmıştır. Bu bölgeler hem otoyol hemde tren yolu barındırdıkları için tercih edilmişlerdir. Elde edilen sonuçları değerlendirmek için tamlık ve doğruluk değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

Anahtar Sözcükler : Yapay açıklıklı radar, otoyol ağı tespiti, tren yolu ağı tespiti.
Bilim Kodu : 924.1.014

ABSTRACT

Ph. D. Thesis

DETECTION OF ROAD AND RAILROAD NETWORKS IN SYNTHETIC APERTURE RADAR IMAGES

Şafak ALTAY AÇAR

Karabük University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Computer Engineering

Thesis Advisor:
Assist. Prof. Dr. Şafak BAYIR
June 2017, 65 pages

In this study, a method which detects road and railroad networks in synthetic aperture radar images is proposed. Proposed method consists of removing noises which are on synthetic aperture radar image, detecting road and railroad segments, connecting detected segments and processing line analysis which is developed to delete segments which are not a real piece of a road or railroad network. Gauss filter is used for noises removal. Some rules are added to an existing method and it is used for road and railroad segments detection. Perceptual organization is used for detected segments connection. A novel method based on linearity and curvilinearity of roads and railroads is proposed for line analysis. Road and railroad networks are detected separately in images. When proposed method is applied, different threshold values and rules are used for roads and railroads because of different features.

Proposed method is tested by utilizing two different synthetic aperture radar images. First image is acquired over Polatlı, Ankara and the other is acquired over Karaman. These regions are prefered because they have both roads and railroads. Completeness and correctness values are calculated and compared to evaluate obtained results.

Key Word : Synthetic aperture radar, road network detection, railroad network detection.

Science Code : 924.1.014

TEŞEKKÜR

Bu tez çalışmasının yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım sayın hocam Yrd. Doç. Dr. Şafak BAYIR'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tez çalışması süresince değerli yorum ve değerlendirmeleri ile desteklerini esirgemeyen sayın hocaların Prof. Dr. Fatih Vehbi ÇELEBİ ve Yrd. Doç. Dr. Baha ŞEN'e teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımı esirgemeden yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu çalışma Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi tarafından Ön Bilimsel Araştırma Projesi olarak 631 proje numarası ile desteklenmiştir.

Bu çalışmada yer alan kısmi nümerik hesaplamalar TÜBİTAK ULAKBİM, Yüksek Başarım ve Grid Hesaplama Merkezi'nde (TRUBA kaynaklarında) gerçekleştirilmiştir.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

KABUL ..... **Hata! Yer işareti tanımlanmamış.**
ÖZET iv
ABSTRACT vi
TEŞEKKÜR viii
İÇİNDEKİLER ix
ŞEKİLLER DİZİNİ xii
ÇİZELGELER DİZİNİ xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ xv

BÖLÜM 1 1
GİRİŞ 1

BÖLÜM 2 4
LİTERATÜR 4

BÖLÜM 3 9
UZAKTAN ALGILAMA 9
3.1. ELEKTROMANYETİK DALGA 10
3.2. ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM 11
3.3. ELEKTROMANYETİK IŞINIMIN ATMOSFER VE YERYÜZÜ CİSİMLERİ İLE ETKİLEŞİMİ 12
3.4. ÇÖZÜNÜRLÜK ÇEŞİTLERİ 13
3.4.1. Mekansal Çözünürlük 13
3.4.2. Spektral Çözünürlük 13
3.4.3. Radyometrik Çözünürlük 13
3.4.4. Zamansal Çözünürlük 14
3.5. RADAR SİSTEMLERİ 14
3.6. GERÇEK AÇIKLIKLI RADAR 16
3.7. YAPAY AÇIKLIKLI RADAR 16

Sayfa

3.7.1. Yapay Anten Uzunluğunun Oluşturulması 16
3.7.2. Görüntü Özellikleri 17
3.7.3. Polarizasyon 17
3.8. YAPAY AÇIKLIKLI RADAR TAŞIYAN UYDULAR 18
3.8.1. TerraSAR-X Ve TanDEM-X Uyduları 18
3.8.2. SENTINEL-1 Uydusu 19
3.8.3. RISAT-1 Ve RISAT-2 Uyduları 20
3.8.4. RADARSAT-2 Uydusu 20
3.8.5. ALOS-2 Uydusu 20

BÖLÜM 4 21
OTOYOL VE TREN YOLU AĞI TESPİTİ 21
4.1. GÜRÜLTÜLERİN TEMİZLENMESİ 22
4.2. OTOYOL VE TREN YOLU SEGMENTLERİNİN TESPİTİ 23
4.3. TESPİT EDİLEN SEGMENTLERİN BİRLEŞTİRİLMESİ 26
4.4. HAT ANALİZİ 29

BÖLÜM 5 32
DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE KARŞILAŞTIRMALAR 32
5.1. VERİ SETİ 32
5.2. REFERANS YOLLAR VE DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ 34
5.3. TASARLANAN ARAYÜZ 35
5.4. KÜÇÜLTÜLMÜŞ BOYUTLARDAKİ GÖRÜNTÜLER İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR 37
5.5. ORİJİNAL BOYUTLARDAKİ GÖRÜNTÜLER İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR 46
5.6. ORİJİNAL BOYUTLARINA GERİ DÖNDÜRÜLEN GÖRÜNTÜLER İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR 52

BÖLÜM 6 56
SONUÇ VE ÖNERİLER 56
KAYNAKLAR 58

Sayfa

ÖZGEÇMİŞ 65

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 3.1. Farklı kaynaklar kullanan uzaktan algılama sistemleri 9
Şekil 3.2. Elektromanyetik dalganın koordinat sistemi 10
Şekil 3.3. Elektromanyetik spektrum 11
Şekil 3.4. Elektromanyetik ışınımın atmosfer ve yeryüzü cisimleri ile etkileşimi ... 12
Şekil 3.5. Temel radar sistemi 14
Şekil 3.6. Radar sisteminin görüntüleme geometrisi 15
Şekil 3.7. Yapay anten uzunluğunun oluşturulması 17
Şekil 3.8. TerraSAR-X görüntüleme modları 18
Şekil 3.9. SENTINEL-1 görüntüleme modları 19
Şekil 4.1. Örnek SAR görüntüleri 21
Şekil 4.2. Geliştirilen yöntemin işlem adımları. 22
Şekil 4.3. Gauss filtresi 22
Şekil 4.4. Gauss filtresinin sonucu. 23
Şekil 4.5. Pikselin çevresindeki üç bölge 23
Şekil 4.6. Temsili yollar 24
Şekil 4.7. Tespit işleminin sonucu 26
Şekil 4.8. İki segmentin yakınlığı 27
Şekil 4.9. İki segmentin sürekliliği (eğriselliği). 27
Şekil 4.10. Otoyol için birleştirme işleminin sonucu 28
Şekil 4.11. Tren yolu için birleştirme işleminin sonucu 28
Şekil 4.12. Hat analizi çerçevesi. 29
Şekil 4.13. Otoyol için hat analizi işleminin sonucu 30
Şekil 4.14. Tren yolu için hat analizi işleminin sonucu 31
Şekil 5.1. Polatlı, Ankara civarı SAR görüntüsü. 33
Şekil 5.2. Karaman civarı SAR görüntüsü. 33
Şekil 5.3. İlk bölge için referans yollar 34
Şekil 5.4. İkinci bölge için referans yollar 34
Şekil 5.5. Tasarlanan ana arayüz. 35
Şekil 5.6. Değerlendirme arayüzü. 36

Sayfa

Şekil 5.7. İlk bölgenin küçültülmüş görüntüsü için örnek sonuç. 42
Şekil 5.8. İlk bölgenin küçültülmüş görüntüsü için örnek sonuç 43
Şekil 5.9. İkinci bölgenin küçültülmüş görüntüsü için örnek sonuç 44
Şekil 5.10. İkinci bölgenin küçültülmüş görüntüsü için örnek sonuç 45
Şekil 5.11. Küçültülmüş görüntüdeki tespit edilen otoyolların ayrıntıları. 46
Şekil 5.12. Küçültülmüş görüntüdeki tespit edilen tren yollarının ayrıntıları. 46
Şekil 5.13. İlk bölgenin orijinal görüntüsü için örnek sonuç 50
Şekil 5.14. İkinci bölgenin orijinal görüntüsü için örnek sonuç. 51
Şekil 5.15. Orijinal görüntüdeki tespit edilen otoyolların ayrıntıları. 52
Şekil 5.16. Orijinal görüntüdeki tespit edilen tren yollarının ayrıntıları. 52
Şekil 5.17. İlk bölgenin orijinal boyutlarına geri döndürülen görüntüsü için örnek sonuç 54
Şekil 5.18. İkinci bölgenin orijinal boyutlarına geri döndürülen görüntüsü için örnek sonuç 55

ÇİZELGELER DİZİNİ

Sayfa

Çizelge 3.1. Radar frekans bantları 15

Çizelge 4.1. Kurallar. 25

Çizelge 4.2. Bölge büyüklükleri. 25

Çizelge 5.1. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ilk bölgenin otoyolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=30). 37

Çizelge 5.2. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ilk bölgenin otoyolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=100). 38

Çizelge 5.3. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ilk bölgenin tren yolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=30). 38

Çizelge 5.4. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ilk bölgenin tren yolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=100). 38

Çizelge 5.5. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ikinci bölgenin otoyolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=30). 38

Çizelge 5.6. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ikinci bölgenin otoyolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=100). 38

Çizelge 5.7. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ikinci bölgenin tren yolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=30). 39

Çizelge 5.8. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ikinci bölgenin tren yolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=100). 39

Çizelge 5.9. Otoyolları için hat analizi işleminden sonraki değişiklikler. 39

Çizelge 5.10. Tren yolları için hat analizi işleminden sonraki değişiklikler. 40

Çizelge 5.11. Otoyolları için temizleme işleminden sonraki değişiklikler. 40

Çizelge 5.12. Tren yolları için temizleme işleminden sonraki değişiklikler. 40

Çizelge 5.13. Orijinal görüntüler kullanılarak ilk bölgenin otoyolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=300). 48

Çizelge 5.14. Orijinal görüntüler kullanılarak ilk bölgenin tren yolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=300). 48

Çizelge 5.15. Orijinal görüntüler kullanılarak ikinci bölgenin otoyolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=300). 48

Çizelge 5.16. Orijinal görüntüler kullanılarak ikinci bölgenin tren yolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=300). 48

Çizelge 5.17. Orijinal boyutlarına geri döndürülen görüntüler kullanılarak elde edilen sonuçlar 53

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

λ : dalga boyu

T : periyot

f : frekans

c : ışık hızı

p_i : pikselin Gauss filtresi uygulanmadan önceki renk değeri

p_n : pikselin Gauss filtresi uygulandıktan sonraki renk değeri

μ : ortalama değer

σ : standart sapma

p_{ij} : dedektörün i ve j bölgeleri için verdiği sonuç

p : dedektörün üç bölge için verdiği genel sonuç

p_{esik} : p için eşik değer

t_{esik} : segmentleri birleştirmek için eşik değer

P : yakınlık değeri

L : kısa olan segmentin uzunluğu

R : iki segment arasındaki minumum uzaklık

C : süreklilik değeri

A : birinci segmentin teğet açısı

B : ikinci segmentin teğet açısı

α : lineerlikten uzaklaşma sabiti

β : iki segment arasındaki boşluğun duyarlılığını kontrol eden sabit

G : iki segment arasındaki boşluk

V : yakınlık ve eğriselliğin toplam değeri

γ : yakınlık değerinin ağırlık faktörü

θ : süreklilik değerinin ağırlık faktörü

e_1 : orta kısımdaki segmentler için eşik değer

e_2 : yan kısımlardaki segmentler için eşik değer

KISALTMALAR

LIDAR : Light Detection and Ranging (Işık Tespit Etme ve Menzil Tayini)

RADAR : Radio Detection and Ranging (Radyo Tespit Etme ve Menzil Tayini)

RAR : Real Aperture Radar (Gerçek Açıklıklı Radar)

SAR : Synthetic Aperture Radar (Yapay Açıklıklı Radar)

HH : Horizontal-Horizontal (Yatay-Yatay)

VV : Vertical-Vertical (Dikey-Dikey)

HV : Horizontal- Vertical (Yatay-Dikey)

VH : Vertical-Horizontal (Dikey-Yatay)

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Uzay teknolojisinde yaşanan gelişmeler sayesinde önceki yıllara kıyasla günümüzde daha gelişmiş uydular üretilmektedir. Ayrıca daha gelişmiş uzaktan algılama ve görüntüleme sistemleri bu uydulara monte edilmektedir. Yapay açıklıklı radarlar da (Synthetic Aperture Radar - SAR) bu sistemlerden biridir. Uydulara ve çeşitli hava araçlarına yerleştirilebilen bu sistemler, gün ışığında yada gece, her türlü hava koşulunda çalışabilirler [1]. Bu özelliklerinden dolayı yapay açıklıklı radar sistemlerinin hem sivil ve hem de askeri alanda kullanımları yaygınlaşmıştır. Bir çok ülke yapay açıklıklı radar sistemine sahip uydu geliştirmektedir. Türkiye de Göktürk-3 adlı, yapay açıklıklı radar sistemine sahip bir uyduyu 2019 yılında fırlatmayı amaçlamaktadır. Dünyada ve ülkemizde gerçekleşen bu gelişmeler yapılan çalışmaların da yapay açıklıklı radarlar üzerine yoğunlaşmasını sağlamıştır.

Otoyolları ve tren yolları ile ilgili bilgi toplamak özellikle ulusal güvenliğin sağlanması gereken durumlarda stratejik bir öneme sahiptir. Deprem ve tsunami gibi doğal afetlerde zarar görmeyen yada su altında kalmayan otoyollarının ve tren yollarının tespiti en hızlı şekilde koordine olabilmek için önemlidir. Otoyol ve tren yollarının koordinatları ve bağlantıları coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılan önemli bilgilerdendir. Ayrıca şehir ve bölge planlamada da bu bilgilerden faydalanılır. Trafikdeki araçların belirlenmesi ve takibi için otoyol tespiti önemli bir başlangıçtır. Bu durumlar otoyol ve tren yolu ağlarının tespit edilmesine yönelik çalışmaların ne kadar önemli olduğunu göstermektedir.

Saha çalışması yaparak otoyolların ve tren yollarının bulundukları yerleri belirleme ve güncelleme işlemleri çok zahmetli olmaktadır. Bu işlemlerin ilgili bölgenin uydudan veya başka bir hava aracından çekilmiş görüntüsü kullanılarak yapılması daha az işlem zamanı ve iş gücü gerektirmektedir. Ayrıca bu işlem için yapay

açıklıklı radar kullanıldığında günün her saatinde ve her türlü hava durumunda istenilen görüntü elde edilebilir.

Bu tez çalışmasında yapay açıklıklı radar görüntülerindeki otoyol ve tren yolu ağlarını tespit etmeye yönelik bir yöntem geliştirilmiştir. Geliştirilen yöntemin ilk adımı olarak öncelikle otoyol ve tren yolu segmentleri tespit edilmiştir. Sonrasında ise tespit edilen segmentler birleştirilerek otoyol ve tren yolu ağları oluşturulmuştur. Son olarak da hat analizi işlemi uygulayarak aslında bir otoyol veya tren yolu ağının parçası olmayan segmentler silinmiştir. Geliştirilen yöntem iki farklı yapay açıklıklı radar görüntüsüne uygulanmıştır. Elde edilen sonuçların tamlık ve doğruluk değerleri gerçek referans otoyolları ve tren yolları kullanılarak hesaplanmıştır. Farklı durumlar için elde edilen değerler birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Tez çalışmasının ikinci bölümünde, literatür de yer alan ulusal ve uluslararası çalışmalar incelenmiştir. Ulusal çalışmalar olarak yapay açıklıklı radar görüntüsü kullanılan çeşitli konulardaki lisansüstü tezler ve optik uydu görüntüleri kullanarak otoyol tespiti yapan lisansüstü tezler incelenmiştir. Uluslararası çalışmalar olarak da yapay açıklıklı radar görüntülerindeki otoyol ve tren yollarını tespit eden çalışmalar incelenmiştir.

Tez çalışmasının üçüncü bölümünde, uzaktan algılama, elektromanyetik enerji, elektromanyetik spektrum, elektromanyetik ışınımın atmosfer ve yeryüzü cisimleri ile etkileşimi, çözünürlük çeşitleri, radar sistemleri, gerçek açıklıklı radar, yapay açıklıklı radar ve yapay açıklıklı radar taşıyan uydular hakkında bilgi verilmektedir.

Tez çalışmasının dördüncü bölümünde, yapay açıklıklı radar görüntüsü üzerindeki gürültülerin temizlenmesi, otoyol ve tren yolu segmentlerinin tespiti, tespit edilen segmentlerin birleştirilmesi ve hat analizi işlemleri detaylı bir şekilde sunulmuştur.

Tez çalışmasının beşinci bölümünde, deneysel çalışmalarda kullanılan veri seti ve değerlendirme kriterleri hakkında bilgi verilmiştir. İki farklı yapay açıklıklı radar görüntüsü için elde edilen sonuçlar ayrıntılı bir şekilde karşılaştırılıp değerlendirilmiştir.

Tez çalışmasının altıncı ve son bölümde, yapılan çalışmanın literatüre katkısı ve çalışmanın geliştirilmesi ile ilgili öneriler sunulmuştur.

BÖLÜM 2

LİTERATÜR

Ülkemizde yapay açıklıklı radar görüntüleri kullanılarak yapılan yüksek lisans ve doktora tez çalışmalarını incelediğimizde, hedef tanıma ve sınıflandırma [2-6], ürün gelişiminin ve toprak özelliklerinin belirlenmesi [7-9], denizlerdeki petrol ve yağ tabakasının tespiti ve izlenmesi [10-11], istenmeyen yankıların ve gürültülerin giderilmesi [12-13], arazi modeli üretilmesi [14], yapay açıklıklı radar görüntüsü oluşturma algoritmalarının karşılaştırılması [15], atmosferik bozuklukların küresel konum belirleme sistemi ile düzeltilmesi [16], uzay-frekans gösterimleri ile yapay açıklıklı radar görüntülerinin işlenmesi [17] ve sınıflandırma [18] gibi çalışmaların yapıldığı belirlenmiştir. Ayrıca, interferometrik yapay açıklıklı radar tekniğini kullanan bir çok çalışma [19-23] bulunmaktadır.

Ülkemizde optik uydu görüntülerini kullanarak otoyolları tespit etme üzerine yapılan yüksek lisans tez çalışmaları bulunmaktadır. Özkaya tarafından yapılan yüksek lisans tezinde “snake” yaklaşımını içeren aktif çevrit modeline dayanan, uydu görüntülerindeki otoyolları tespit eden bir çalışma sunulmuştur. Görüntüdeki yollar; belirgin yollar, belirgin olmayan yollar ve kavşaklar olarak üçe ayrılıp öyle incelenmiştir. Kavşakların bulunması için yeni bir yöntem önerilmiştir. Çalışmada Google Maps görüntüleri kullanılmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir [24]. Dursun tarafından yapılan yüksek lisans tezinde otoyol bulma ile ilgili daha önceden önerilen bir algoritma incelenmiş ve alternatifler sunulmuştur. Çalışmada “mean-shift” bölütleme ve yapısal özellikler kullanılmıştır. Yöntem uydu görüntülerine uygulanmış ve elde edilen sonuçlar değerlendirilmiştir [25]. Çinar tarafından yapılan yüksek lisans tezinde çoklu çözünürlük analizi ve adaptif destekleme tabanlı sınıflandırıcılar kullanılarak otoyol tespiti yapılmıştır. Deneysel çalışmalarda IKONOS-2 uydusunun görüntüleri kullanılmıştır. Önerilen yöntemin yol ağının büyük bir bölümünü tespit edebildiği belirtilmiştir [26]. Şahin tarafından yapılan

yüksek lisans tezinde öz gözetimli sınıflandırma ve algısal gruplama yöntemleri ile otomatik otoyol çıkarımı yapılmıştır. Çalışmada sırayla yollara ait noktalar, sınıflandırma yöntemi ve sınıflandırma için en uygun özellikler belirlenmiştir. Son olarak da yol topolojisi tanımlanmıştır. Önerilen yöntem uydu görüntülerine uygulanmış ve diğer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır [27].

Uluslararası literatür incelendiğinde yapay açıklıklı radar görüntülerindeki otoyolları tespit etme üzerine yapılmış bir çok çalışma bulunmaktadır. Tupin vd. otoyollar gibi lineer yapıları tespit eden bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmalarında iki farklı hat dedektörü kullanmışlardır. Buldukları lineer yapıları Markov rastgele alan tabanlı bir yöntem ile birleştirmişlerdir. Elde ettikleri sonuçları görsel olarak sunmuşlardır [28]. Chanussot vd. otoyol ağlarını tespit etmek için morfolojik bir hat dedektörü önermişlerdir. Yöntemlerinin performansını artırmak için farklı zamanlarda alınan görüntülerin sonuçlarını birleştirmişlerdir. Kullandıkları birleştirme stratejilerini test edip, karşılaştırmışlar [29]. Dell'Acqua ve Gamba şehir içindeki otoyolları tespit etmek için bulanık kümeleme ve Hough dönüşümü kullanan bir yöntem geliştirmişlerdir. Geliştirdikleri yöntemi bir uçak platformuna yerleştirilen yapay açıklıklı radardan elde edilen görüntüler üzerinde test etmişler ve sonuçları değerlendirmişlerdir [30]. Jeon vd. bir otoyol ağı oluşturma yöntemi sunmuşlardır. Otoyol segmentlerini tespit etmek için daha önce önerilen bir yöntemi kullanmışlardır. Tespit edilen segmentleri birleştirmek için de genetik algoritma tabanlı bir yöntem sunmuşlardır. Genetik algoritmanın uygunluk fonksiyonunu tanımlamak için algısal gruplama faktörlerini kullanmışlardır [31]. Gamba vd. daha önceden geliştirilen bir algoritmayı [30], uyarlanabilir yönlü filtreleme ve algısal gruplama kullanarak yerleşim yerlerindeki yolları tespit etmeye yönelik bir çalışma sunmuşlardır. Elde ettikleri sonuçları değerlendirmişlerdir [32]. Borghys vd. yeni bir eğiticili sınıflandırma yöntemi sunmuşlardır. Yapay açıklıklı radar görüntülerinin üstündeki bölgeleri otoyol, su, orman vb. olarak sınıflandırmışlardır. Bu işlem için görüntülerdeki radyometrik, polarimetrik ve interferometrik özelliklerden faydalanmışlardır. Yöntemlerini başka bir sınıflandırma yöntemi ile karşılaştırmışlardır [33]. Guo vd. Hough dönüşümü, genetik algoritma ve "region growing" tabanlı bir otoyol tespit etme yöntemi sunmuşlardır. Yöntemi bir görüntü üzerinde test etmişler ve elde edilen sonucu görsel olarak sunmuşlardır [34].

Chaabouni-Chouayakh ve Datcu yerleşim yerlerindeki yapıları sınıflandıran bir çalışma sunmuşlardır. Yolları, binaları vb. belirlemek için “mean-shift” bölütlemesi, lineer yapı dedektörü ve “contextual” bilgiden faydalanmışlardır. İki tane görüntüden elde ettikleri sonuçları sunmuşlardır [35]. Deng vd. tepe, vadi ve otoyollar gibi yapay açıklıklı radar görüntüsü üzerinde lineer bir şekilde görülen yapıları tespit eden bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmalarında tespit edilen lineer yapılar arasındaki boşlukları dolduran “snake” model tabanlı bir yöntem önermişlerdir [36]. Song vd. otoyol eklentilerini bularak, yeşilliklerle çevrilmiş otoyolları tespit eden bir yöntem sunmuşlardır. Önerilen yöntem ardışık iki işlemden oluşmaktadır. Bunlar otoyol eklentilerinin tespit edilmesi ve geometrik ayırt etmedir. Bu işlemler uygulanırken örnek otoyollardan ve otoyol eklentilerinden elde edilen bilgiler kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar görsel olarak sunulmuştur [37]. Salari ve Zhu “beamlet” dönüşümüne dayanan, otoyol gibi lineer özellikleri bulan bir yöntem önermişlerdir. Önerdikleri yöntem üç adımdan oluşmaktadır. İlk adımda gürültüyü azaltmak ve düşük kontrastlığı düzeltmek için bazı ön işlemler yapılmıştır. İkinci adımda “beamlet” dönüşümü kullanılarak otoyol gibi lineer özellikler tespit edilmiştir. Son olarak da tamamlanmamış bağlantılar analiz edip birleştirilmiştir [38]. Cheng vd. yeni bir otoyol merkez-nokta takip yöntemi sunmuşlardır. Sundukları yöntemde yerel tespit ve geniş çaplı izleme kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçları değerlendirmişlerdir [39]. He vd. dedektör yanıtlarının çok ölçekli geometrik analizinden faydalanarak bir otoyol ağı birleştirme yöntemi önermişlerdir. Önerdikleri yöntemi diğer yöntemler ile karşılaştırmışlardır [40]. Zhang vd. otoyol hasarlarını tespit eden bir çalışma yapmışlardır. Görüntü üzerindeki otoyolları Duda dedektörü ile tespit etmişlerdir. Buradan elde ettikleri bilgileri değişiklik tespitinden elde ettikleri ile birleştirip, otoyolların hasarlı bölümlerini belirlemişlerdir [41]. Jacob ve Ban yaptıkları çalışmada yapay açıklıklı radar görüntüsü üstündeki bölgeleri otoyol, bina, orman, su, çimen, ekin, açık alan ve sera şeklinde sınıflandırmışlardır. Sınıflandırıcı olarak “support vector machine” kullanmışlardır [42]. Rossetti vd. bina, otoyol, meydan ve bitki örtüsünü sınıflandıran bir yöntem sunmuşlardır. Bu yapıların piksel renk değerlerini tanımlayıp bu verilere göre sınıflandırma işlemini yapmışlardır. Elde ettikleri sonuçların başarılı olduğunu belirtmişlerdir [43]. Gorovyi vd. Canny kenar bulma dedektörüne ve görüntü gradyan yönlerinin histogramlarına dayanan bir otoyol bulma algoritması önermişlerdir. Bu yöntemin hareketli hedeflerin hızlarını ve

konumlarını belirlemede yardımcı olabileceğini sunmuşlardır [44]. Saati vd. bulanık algoritma, morfolojik iskeletleştirme ve “snake” modeline dayanan bir otoyol ekseni çıkarma çalışması sunmuşlardır. Önerdikleri yöntemi iki adet yapay açıklıklı radar görüntüsü üzerinde test etmişler ve elde ettikleri sonuçları başka bir yöntem ile karşılaştırmışlardır [45]. Xiao vd. Duda ve yön operatörlerini kullanan bir otoyol bulma yöntemi sunmuşlardır. Duda operatörlerini lineer yapıları tespit etmek için, yön operatörlerinide morfolojik işlemler içinkullanmışlardır. Önerdikleri yöntemi başka bir yöntem ile karşılaştırmışlardır [46]. Mu vd. Otsu metodu, matematiksel morfoloji ve Zernike momentlerine dayanan yeni bir yol bulma yöntemi önermişlerdir. Elde ettikleri sonuçları görsel olarak sunmuşlardır [47]. Cheng vd. Markov rastgele alan metoduna dayanan bir yol bulma yöntemi önermişlerdir. Yöntemlerini hızlandırmak için grafik işleme ünitesini kullanıp, yöntemlerini polarimetrik yapay açıklıklı radar görüntülerine uygulamışlardır [48]. Jiang vd. çok zamanlı interferometrik yapay açıklıklı radar kovaryans matrisi kullanan bir yol bulma yöntemi sunmuşlardır. İlk olarak interferometrik yapay açıklıklı radar parametrelerini tahmin etmişler sonrasında da yolları tespit etmişlerdir [49].

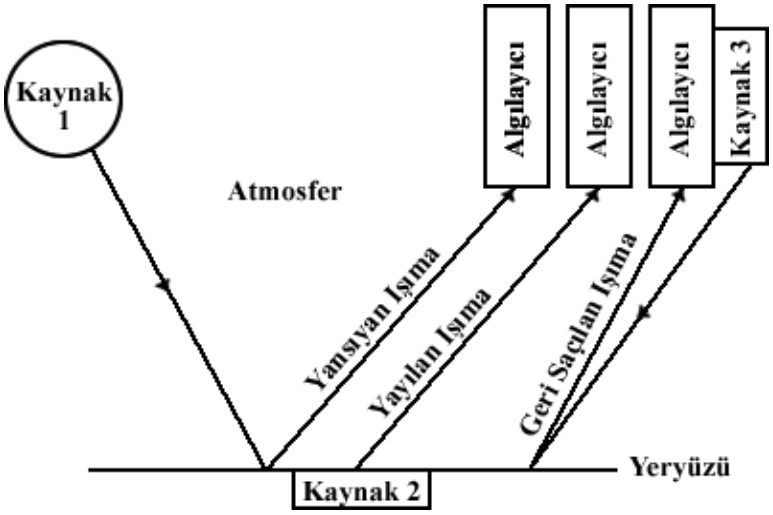
Uluslararası literatürde otoyol tespit etme üzerine yapılmış bir çok çalışma bulunmasına rağmen yapay açıklıklı radar verilerini kullanarak tren yolu tespit etme üzerine yapılmış sayılı çalışma bulunmaktadır. Hellwich ve Streck yapay açıklıklı radar “coherence” verisinde otoyollar, nehirler ve tren yolları gibi lineer yapıların görünürlüğünü araştıran bir çalışma sunmuşlardır. Tren yolları genellikle belirlenememiştir [50]. Franceschetti vd. yapay açıklıklı radar işlenmemiş verisinden özellikler çıkaran bir çalışma sunmuşlardır. Önerdikleri yöntemi tren yollarını tespit etmek için uygulamışlardır [51]. Pigeon vd. otoyolları, tren yollarını, nehirleri ve enerji iletim hatlarını yapay açıklıklı radar görüntülerinde tespit eden bir çalışma sunmuşlardır. Çalışmalarında uzmanlar tarafından geliştirilen kuralları kullanmışlardır. Elde ettikleri sonuçları görsel olarak sunmuşlardır [52]. Okman vd. yapay açıklıklı radar görüntülerindeki gürültüleri temizlemek için bir yöntem sunmuşlardır. Bu yöntemin performansını test etmek için de yarı otomatik bir tren yolu bulma algoritması geliştirmişlerdir. Kendi yöntemlerini diğer gürültü azaltma yöntemleri ile karşılaştırmışlardır [53]. Liu vd. polarimetrik yapay açıklıklı radar görüntülerinde sınıflandırma yapan, hiyerarşik semantik model tabanlı bir çalışma

sunmuşlardır. Çeşitli görüntülerdeki bölgeleri otoyol, tren yolu vb. şeklinde sınıflandırmışlardır [54]. Jin vd. Wilk test istatistiklerine dayanan polarimetrik yapay açıklıklı radar görüntüleri için bir hat bulma dedektörü sunmuşlardır. Geliştirdikleri dedektör görüntülerin üzerindeki otoyol ve tren yolu gibi açık ve koyu renkli lineer yapıları tespit etmeye yöneliktir. Deneysel çalışmada bir şehir içinin görüntüsü kullanılmıştır. Açık renkli yapılar olarak binalar ve koyu renkli yapılar olarak da otoyollar tespit edilmiştir [55].

BÖLÜM 3

UZAKTAN ALGILAMA

Uzaktan algılama, herhangi bir fiziksel temas olmaksızın bir nesne veya yeryüzünün bir bölgesi hakkında bilgi edinmektir. Genellikle uydulara ve hava araçlarına yerleştirilen algılayıcılar ile gerçekleştirilmektedir. Elektromanyetik ışıma kullanan bir uzaktan algılama sistemi temel olarak dört bileşenden oluşmaktadır. Bunlar kaynak, yeryüzü ile etkileşim, atmosferik etkileşim ve algılayıcıdır. Elektromanyetik ışımanın kaynağı güneşden yansıyan ışık veya yeryüzünden yayılan ısı gibi doğal bir kaynak olabilir ya da bir mikrodalga radar gibi insan yapımı da olabilir. Yeryüzünden yayılan veya yansıyan ışımanın miktarı ve özelliği yeryüzündeki objelerin özelliklerine bağlıdır. Elektromanyetik enerji atmosferden geçerken bozulur ve dağılır. Yeryüzü ve atmosfer ile etkileşime geçen elektromanyetik ışıma bir algılayıcı tarafından kaydedilir [56]. Şekil 3.1'de farklı kaynaklar kullanan uzaktan algılama sistemleri gösterilmektedir.

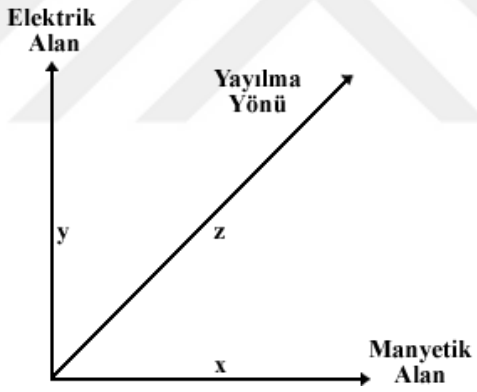


Şekil 3.1. Farklı kaynaklar kullanan uzaktan algılama sistemleri [56].

Güneş ışığı gibi doğal kaynakları kullanan sistemlere pasif algılayıcı sistemler, kendi ürettikleri enerjileri kullanan sistemlere ise aktif algılayıcı sistemler denmektedir. Aktif algılayıcı sistemler güneş enerjisine ihtiyaç duymaksızın, her mevsimde ve günün her saatinde çalışırlar. Pasif mikrodalga radyometresi ve radyometre, pasif algılayıcı sistemlerdir. RADAR (Radio Detection and Ranging) ve LIDAR (Light Detection and Ranging) aktif algılayıcı sistemlerdir [57].

3.1. ELEKTROMANYETİK DALGA

Elektromanyetik dalga, elektrik ve manyetik alanlardan oluşmaktadır. Elektrik alan ve manyetik alan birbirlerine dik konumdadırlar. Işık hızı süratindeki elektromanyetik dalganın uzaydaki yayılma yönü ise hem elektrik alana hemde manyetik alana dik konumdadır [58]. Şekil 3.2'de elektromanyetik dalganın koordinat sistemi gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Elektromanyetik dalganın koordinat sistemi [58].

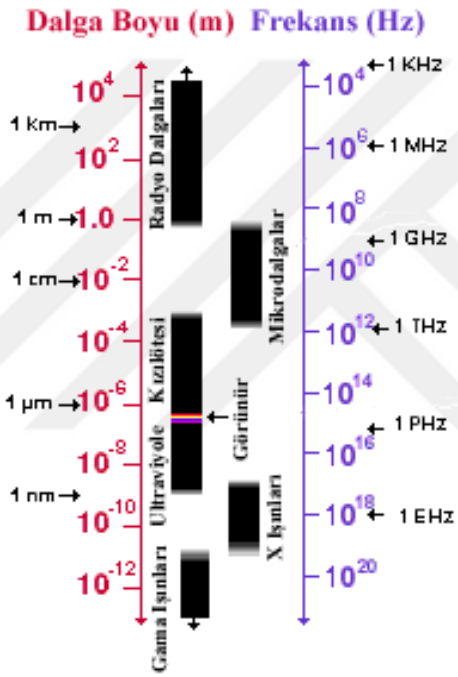
Elektromanyetik dalganın, dalga boyu sinüs eğrisinin tepeden tepeye değerinin uzunluğu kadardır. Periyod, elektromanyetik dalganın bir tam devir yapması için gerekli olan süredir. Frekans ise elektromanyetik dalganın bir saniyede yaptığı devir sayısıdır [58]. Eşitlik 3.1 ve Eşitlik 3.2'de dalga boyunun, periyodun ve frekansın birbirleri ile olan ilişkileri verilmiştir. Eşitliklerdeki λ dalga boyunu, T periyodu, f frekansı ve c ışık hızını belirtmektedir.

$$f = \frac{1}{T} \tag{3.1}$$

$$\lambda f = c \tag{3.2}$$

3.2. ELEKTROMANYETİK SPEKTRUM

Elektromanyetik spektrum, kısa dalga boylarından uzun dalga boylarına doğru bir dağılım sergilemektedir. Dalga boyu uzadıkça frekans değeri azalmaktadır [59]. Şekil 3.3'de elektromanyetik spektrumundaki dalga boyları ve frekanslar arasındaki ilişki gösterilmektedir.



Şekil 3.3. Elektromanyetik spektrum [59].

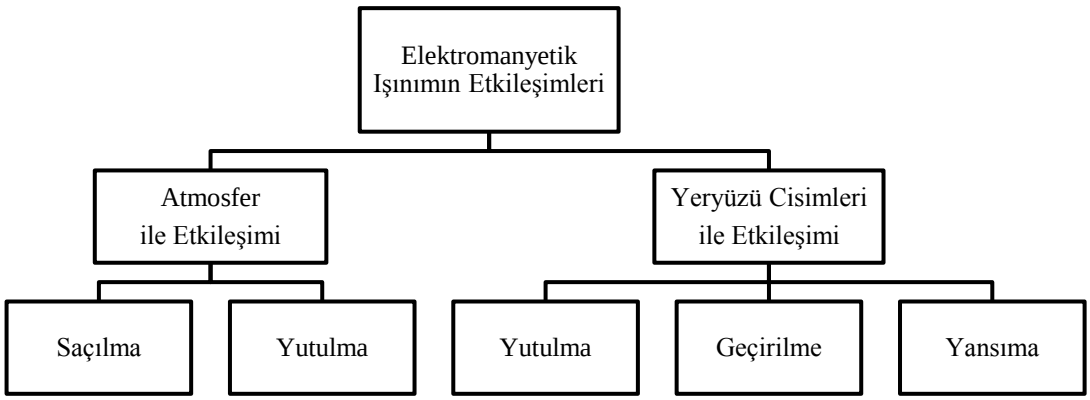
Şekil 3.3'den de anlaşılacağı gibi kısa dalga boylarından uzun dalga boylarına doğru sıraladığımızda elektromanyetik spektrum gama ışınları, x ışınları, ultraviyole, görünür, kızılötesi, mikrodalgalar ve radyo dalgaları bölgelerinden oluşmaktadır [59].

Analog veya sayısal veri aktarımı kanalları olarak kullanılabilen radyo dalgaları, binlerce kilometreden bir milimetreye kadar dalga boylarını kapsamaktadır. Televizyon, cep telefonu ve kablosuz bilgisayar ağları radyo dalgalarını kullanmaktadır. Radyo dalgalarının en kısa dalga boyuna sahip olanları santimetre

mertebesinde ölçülen dalga boylarına sahip olan mikrodalgalardır. Mikrodalgalar Doppler radar sistemlerindeki gibi, radar olarak kullanılmaktadır. Mikrodalga ile görünür ışık arasındaki kızılötesi, gece görüş sistemleri ve kumanda aletlerinde kullanılmaktadır. Elektromanyetik spektrumun sadece çıplak gözle görülebilen kısmına görünür bölge denmektedir. Burada her bir rengin farklı bir dalga boyu bulunmaktadır. Ultraviyole, görünür bölgeden daha kısa dalga boylarına sahiptir. Sterilizasyon için kullanılmaktadır. Kimyasal bağları bozup, çeşitli moleküleriiyonize edebilmektedir. X ışınlarının enerjileri çok fazladır. Medikal görüntüleme ve hava alanı güvenlik sistemlerinde kullanılmaktadırlar. Elektromanyetik spektrumun en fazla enerjiye sahip olduğu bölgesi olan gama ışınları kanserli hücreleri öldürmek için tedavi amaçlı kullanılmaktadır [60].

3.3. ELEKTROMANYETİK IŞINIMIN ATMOSFER VE YERYÜZÜ CİSİMLERİ İLE ETKİLEŞİMİ

Elektromanyetik ışınımın atmosfer ile etkileşimi saçılma ve yutulma, yeryüzü cisimleri ile etkileşimi ise yutulma, geçirilme ve yansıma şeklinde olmaktadır [57]. Elektromanyetik ışınımın atmosfer ve yeryüzü cisimleri ile etkileşimi Şekil 3.4'de sınıflandırılarak gösterilmektedir.



Şekil 3.4. Elektromanyetik ışınımın atmosfer ve yeryüzü cisimleri ile etkileşimi.

Atmosferdeki nitrojen molekülleri, oksijen molekülleri, ufak tanecikler, toz, duman ve su buharı gibi gazlar ve parçacıklar elektromanyetik ışınımın bir kısmının saçılmasına neden olurlar. Saçılım miktarı ışınımın dalga boyuna, gaz ve

parçacıkların yoğunluğuna, ışınımın atmosferde aldığı yol miktarına göre değişmektedir. Atmosferdeki ozon, karbondioksit ve su buharı ise saçılımın tersine elektromanyetik ışınımın bir kısmını yutmaktadır. Bu bileşenler farklı dalga boylarındaki enerjiyi yutmaktadırlar [57].

Atmosferde saçılmadan veya yutulmadan yeryüzüne ulaşan toplam elektromanyetik ışınım yeryüzüneki cisimlerle üç farklı şekilde etkileşimde bulunur. Işınımın bir kısmı yutulur, bir kısmı geçirilir ve bir kısmıda yansıtılır. Uzaktan algılamada cisimlerden yansıyan enerji miktarı cismin renk tonunu etkilemektedir. Bir cisim gelen ışınımın büyük bir kısmını yansıtıyorsa yüksek yansıtabilirlik değerine sahip olacak ve açık renk tonunda gözükecektir [57].

3.4. ÇÖZÜNÜRLÜK ÇEŞİTLERİ

Uzaktan algılama ile elde edilen görüntüler dört farklı çözünürlük değerinden oluşmaktadır. Bunlar mekansal çözünürlük, spektral çözünürlük, radyometrik çözünürlük ve zamansal çözünürlüktür.

3.4.1. Mekansal Çözünürlük

Algılayıcının yer örnekleme aralığına, yani bir pikselin yerde kapsadığı alana mekansal çözünürlük denmektedir. Örneğin mekansal çözünürlüğün 1 metre olduğu bir görüntüde bir piksel, yerde 1x1 metrelik bir alana denk gelmektedir [61].

3.4.2. Spektral Çözünürlük

Spektral çözünürlük algılayıcının elektromanyetik spektrumda kaydedebildiği belirli dalga boyu aralığıdır. Spektral çözünürlük aralık daraldıkça artmaktadır [61].

3.4.3. Radyometrik Çözünürlük

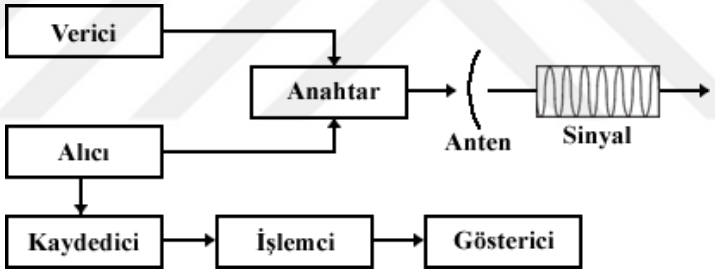
Algılayıcının elektromanyetik enerjinin büyüklüğüne karşı duyarlılığına radyometrik çözünürlük denir. Yani kaydedilen enerjinin bölündüğü bit sayısıdır [61].

3.4.4. Zamansal Çözünürlük

Zamansal çözünürlük hareketli bir uydunun üstündeki algılayıcının bir yerin görüntüsünü almasından itibaren aynı yere ait görüntüyü tekrar alabilecek konuma gelmesi için geçen süreye denmektedir [61].

3.5. RADAR SİSTEMLERİ

Bir radar sistemi verici, anahtar, anten, alıcı ve kaydedici, işlemci ve göstericiden oluşur. Verici elektromanyetik dalga üretir. Anahtar sinyali antene ve dönen yankıyı alıcıya yönlendirir. Anten elektromanyetik sinyali görüntülenmek istenen bölgeye yollar ve geri dönen yankıları toplar. Kaydedici elde edilen verileri saklar. İşlemci gerektiğinde bu verileri işler ve sonuçlar göstericide gösterilir [62]. Şekil 3.5'de temel radar sistemi gösterilmektedir.



Şekil 3.5. Temel radar sistemi [62].

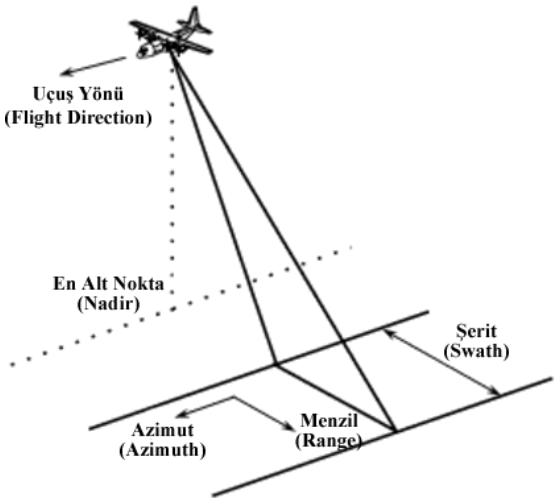
Radarlar elektromanyetik dalgaları kullanarak bir cismin yerini ve şeklini tespit edebilirler. Hava araçlarına yada uydulara yerleştirilebilirler. İlk geliştirildiğinde daha çok askeri amaçlar için kullanılsa da günümüzde radarların sivil amaçlı kullanımı da artmaktadır. Hava trafik kontrolü, uçak seyrüseferi, gemi güvenliği, uzay teknolojisi ve uzaktan algılama gibi alanlarda kullanılmaktadır [63].

Radar sistemlerinde kullanılan frekanslar, karşılık gelen radar bant adları ve uygulama alanları Çizelge 3.1'de gösterilmektedir.

Çizelge 3.1. Radar frekans bantları [64].

Bant	**Frekans (MHz)**	**Uygulamalar**
Yüksek frekans	3-10	Yer yüzeyine işleyen radar, ufuk ötesi radarı, çok uzun mesafe gözlem radarı
Çok yüksek frekans	30-300	Bitki örtüsüne işleyen radar, çok uzun mesafe gözlem radarı
Ultra yüksek frekans	300-1000	Bitki örtüsüne işleyen radar, hava aracı gözlem radarı, uzun mesafe balistik füze savunma radarı
L-bant	1000-2000	Silah konum radarı, hava trafik kontrol radarı, uzun mesafe gözlem radarı
S-bant	2000-4000	Denizcilik yüzey radarı, silah konum radarı, hava radarı
C-bant	4000-8000	Hava radarı
X-bant	8000-12000	Yangın kontrol radarı, hava önleme radarı, yer yüzeyi haritalama radarı, balistik füze takip radarı
Ku-bant	12000-18000	Yapay açıklıklı radar, yüzey hareketli hedef bildirme
K-bant	18000-27000	Yutulmaya bağlı olarak sınırlı
Ka-bant	27000-40000	Füze arayıcı, yakın mesafe yangın kontrol radarı
Milimetre dalga	40000-300000	Yangın kontrol radarı, ototmotiv radarı, havaalanı tarayıcıları, enstrümantasyon radar

Bir radar sisteminin görüntüleme geometrisi Şekil 3.6'da gösterildiği gibidir. Uçuş yönü doğrultusundaki çözünürlüğe azimut (azimuth) çözünürlüğü, buna dik doğrultudaki çözünürlüğe ise menzil (range) çözünürlüğü denir.



Şekil 3.6. Radar sisteminin görüntüleme geometrisi [65].

İki çeşit radar görüntüleme sistemi vardır. Bunlar;

- Gerçek Açıklıklı Radar (Real Aperture Radar- RAR)
- Yapay Açıklıklı Radar (Synthetic Aperture Radar - SAR)

3.6. GERÇEK AÇIKLIKLI RADAR

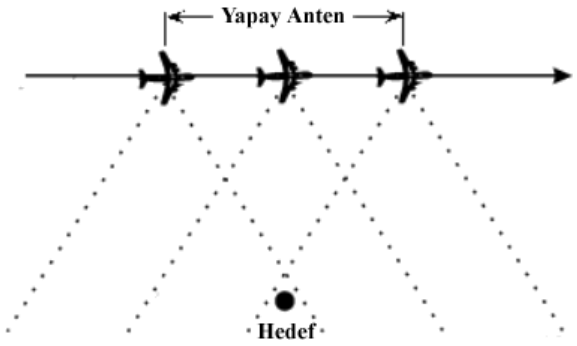
Genelde uçaklara yerleştirilen gerçek açıklıklı radar, anten boyutu ile orantılı bir değerde azimut çözünürlüğüne sahip görüntü üretir. Anten boyunu uzatmak azimut çözünürlüğünü artırır ancak bu işleminde belli bir sınırı vardır. Hava araçlarına yada uydulara ancak taşıyabilecekleri boyutlarda antenler yerleştirilebilir. Gerçek açıklıklı radarın bu kısıtlamasından kurtulabilmek için yapay açıklıklı radar üretilmiştir [14].

3.7. YAPAY AÇIKLIKLI RADAR

Uydulara ve çeşitli hava araçlarına yerleştirilebilen yapay açıklıklı radar gün ışığında yada gece çalışabilmektedir. Özellikle tropikal ülkelerde kullanılmaya çok uygundur. Yolladığı mikrodalga sinyali bulutların, dumanın, yağmurun ve sisin içinden geçebildiği için olumsuz hava koşullarında bile çalışabilmektedir [1,62].

3.7.1. Yapay Anten Uzunluğunun Oluşturulması

Daha iyi bir menzil çözünürlüğü daha kısa bir sinyal uzunluğu ile elde edilebilmektdir. Daha iyi bir azimut çözünürlüğü ise anten boyunu artırarak gerçekleştirilmektedir. Ancak anten boyu hava araçlarının ve uyduların taşıyabilme kapasitesi ile sınırlıdır. Hava araçları maksimum 1-2 metre, uydular ise 10-15 metre uzunluğundaki antenleri taşıyabilmektedirler. Bu sınırlamadan kurtulabilmek için yapay açıklıklı radarın bulunduğu platformun ileri hareketi ile geri saçılan yankıların özel olarak kaydedilmesi ve işlenmesiyle çok uzun bir yapay anten elde edilmiştir [65]. Şekil 3.7'de yapay anten uzunluğunun oluşturulması gösterilmektedir.



Şekil 3.7. Yapay anten uzunluğunun oluşturulması [65].

3.7.2. Görüntü Özellikleri

Yeryüzündeki cisimlerden ve doğal oluşumlardan radara geri yansıyan mikrodalga enerjinin alıcı tarafından algılanmasıyla radar görüntüsü oluşmaktadır. Nem miktarı ve yüzey pürüzlülüğü radar yansıtımını artırmaktadır. Düz yüzeylerden radar alıcısına geri dönen enerji çok düşük olacak ve bu bölge radar görüntüsünde koyu renk tonunda gözükecektir. Yüzey pürüzlülüğü arttıkça geri dönen enerjide artacaktır. Yüzey pürüzlülüğünün fazla olduğu şehir içlerinde radar dalgası köşe yansıtımına sahip olacağından bu bölgeler açık renk tonunda gözükecektir. Ayrıca kullanılan dalga boyunun uzunluğuda önemlidir. Bir dalga boyunda düz olarak algılanan bir yüzey daha kısa bir dalga boyunda pürüzlü bir yüzey olarak algılanabilir [57].

3.7.3. Polarizasyon

Polarizasyon elektromanyetik dalganın elektrik alanının yönünü ifade etmektedir [66]. Dört farklı çeşitte polarizasyon mümkündür;

- HH (Horizontal-Horizontal) - Yatay gönderme yatay alma
- VV (Vertical-Vertical) - Dikey gönderme dikey alma
- HV (Horizontal-Vertical) - Yatay gönderme dikey alma
- VH (Vertical-Horizontal) - Dikey gönderme yatay alma

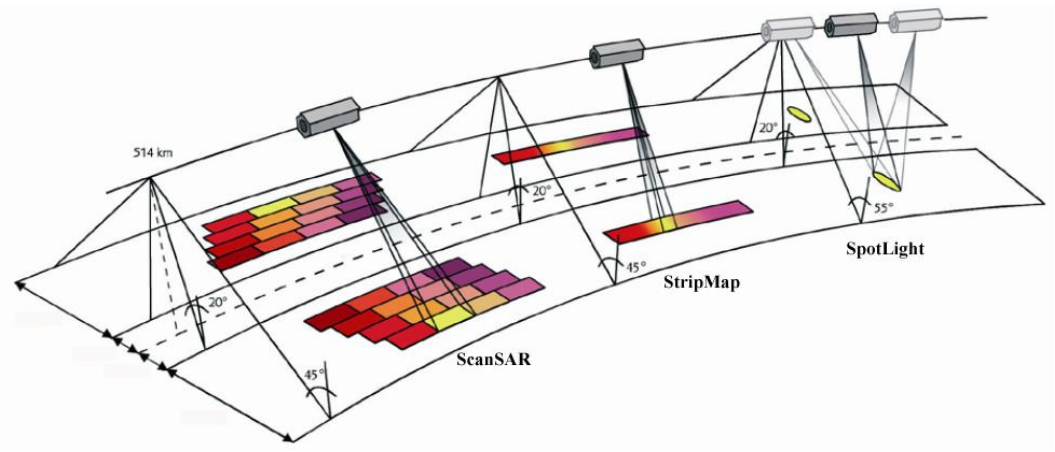
HH ve HV gibi tek polarizasyonlu bir durum olabileceği gibi, HH/VV ve VV/HH gibi çift polarizasyonlu yada HH+VV+HV+VH gibi tam polarizasyonlu bir durumda söz konusu olabilmektedir. Polarizasyon sayısı arttıkça elde edilen bilgilerde artmaktadır [66].

3.8. YAPAY AÇIKLIKLI RADAR TAŞIYAN UYDULAR

Yapay açıklıklı radar taşıyan ve aktif olarak hizmet veren bir çok uydu bulunmaktadır. Almanya'nın TerraSAR-X ve TanDEM-X uyduları, Avrupa Birliği'nin SENTINEL-1 uydusu, Hindistan'nın RISAT-1 ve RISAT-2 uyduları, Kanada'nın RADARSAT-2 uydusu ve Japonya'nın ALOS-2 uydusu bu uydulardandır.

3.8.1. TerraSAR-X Ve TanDEM-X Uyduları

TerraSAR-X ticari amaçlı üretilmiş, yüksek frekanslı x-bant bir yapay açıklıklı radar sensörü taşıyan Alman gözlem uydusudur. 2007 yılında fırlatılmış ve halende faaliyetini sürdürmektedir. Alman Havacılık ve Uzay Merkezi ile Airbus Savunma ve Uzay ortak yapımıdır. Topografik ve çevresel haritalama, yüzey hareketlerini ve değişikliklerini izleme, deniz yüzeyini izleme, yükseklik modelleme ve hedef tespiti gibi alanlarda kullanılabilmektedir. Üç temel görüntüleme modu vardır. Bunlar SpotLight, StripMap ve ScanSar'dır. Şekil 3.8'de bu görüntüleme modları gösterilmektedir [67].



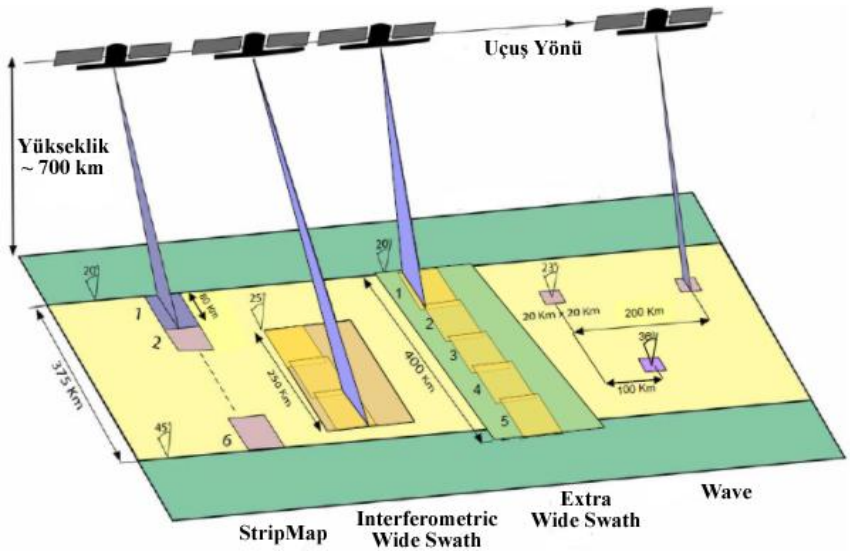
Şekil 3.8. TerraSAR-X görüntüleme modları [67].

SpotLight modunda radar ilgili bölgeye odaklanıp, yollayabileceği maksimum sürede sinyal yollar ve alır. SpripMap modunda radar ilgili bölgeye sinyal yollayarak şerit halinde tarar. ScanSAR modunda radar ilgili bölgeyi bölüm bölüm taramaktadır. Bu görüntüleme türleri birbirlerinden farklı boyutlarda bölgeleri farklı çözünürlüklerde görüntülemektedirler. Kullanıcı bu görüntüleme türlerinden kendi çalışma alanına en uygun olanı seçip kullanmalıdır [67].

TanDEM-X 2010 yılında fırlatılmış, halen faaliyetini sürdüren bir diğer Alman gözlem uydusudur. TerraSAR-X ile aynı özelliklere ve görüntüleme modlarına sahiptir [67].

3.8.2. SENTINEL-1 Uydusu

Birçok katılımcının iştiraki ile geliştirilen SENTINEL-1, c-bant bir yapay açıklıklı radar sensörü taşımaktadır. Sensör kara, kıyı bölgeleri ve buzul gözlemleri için orta ve yüksek çözünürlükte görüntüleme sağlayabilmektedir. Dört farklı görüntüleme modu bulunmaktadır. Bunlar StripMap, Interferometric Wide Swath, Extra Wide Swath ve Wave'dir. Şekil 3.9'da bu görüntüleme modları gösterilmektedir [68].



Şekil 3.9. SENTINEL-1 görüntüleme modları [68].

3.8.3. RISAT-1 Ve RISAT-2 Uyduları

RISAT-1 ve RISAT-2 Hindistan'nın geliştirdiği yapay açıklıklı radar taşıyan uydulardır. RISAT-1 2012 yılında fırlatılmıştır ve c-bant bir radar taşımaktadır. RISAT-2 ise 2009 yılında fırlatılmış ve x-bant bir radar taşımaktadır. RISAT-1'in çeşitli StripMap, ScanSAR ve SpotLight görüntüleme modları bulunmaktadır. RISAT-2'nin SpotLight, Super StripMap, StripMap ve ScanSAR Wide görüntüleme modları mevcuttur [69-70].

3.8.4. RADARSAT-2 Uydusu

Kanada'nın geliştirdiği RADARSAT-2 uydusu 2007 yılında fırlatılmıştır. Deniz ve buzul gözlemini, afet yönetimini, çevresel gözlemi, kaynak yönetimini ve haritalamayı geliştirecek yenilikler getirmesi planlanmıştır. Çeşitli çözünürlüklerde görüntüleme modları bulunmakatdır [71].

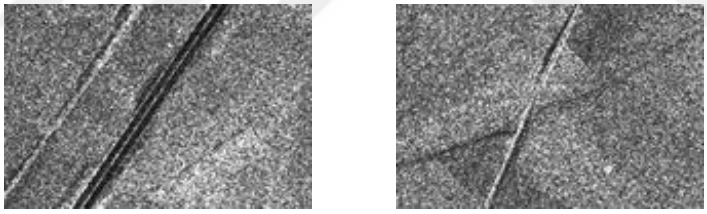
3.8.5. ALOS-2 Uydusu

PALSAR-2 yapay açıklıklı radarını taşıyan ALOS-2 2014 yılında Japonya tarafından fırlatılmıştır. PALSAR-2 yağmur ve buluttan daha az etkilenen l-bant da çalışmaktadır. Ayrıca l-bant yeryüzü ve bitkiler hakkında bilgi toplamaya da elverişlidir. Üç temel görüntüleme modu olarak SpotLight, StripMap ve ScanSar modlarına sahiptir [72].

BÖLÜM 4

OTOYOL VE TREN YOLU AĞI TESPİTİ

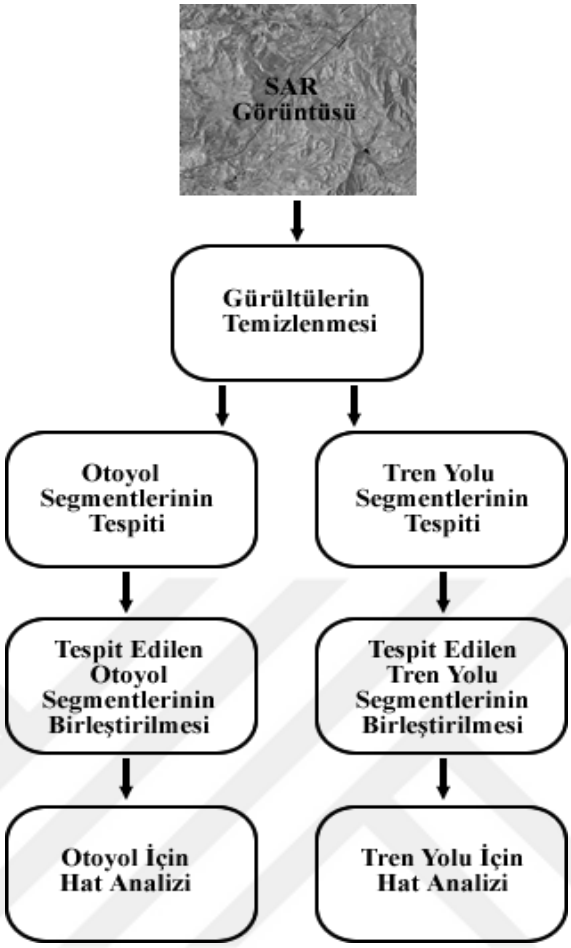
Yapay açıklıklı radar ile görüntülenen otoyollar, oluşan görüntü üzerinde çevresindeki bölgeye göre daha koyu renk de, tren yolları ise daha açık renk de gözükmektedirler. Ayrıca ikiside görüntü üzerinde lineer veya eğrisel yapılar olarak gözükmektedirler. Şekil 4.1'de örnek otoyol ve tren yolu gösterilmektedir. Bu çalışmada gerçekleştirilen otoyol ve tren yolu ağı tespiti işleminin adımları bu özellikler dikkate alınarak geliştirilmiştir. Yöntem, otoyollar ve tren yolları için ayrı ayrı uygulanmıştır. Otoyolların ve tren yollarının bazı özellikleri farklı olduğu için yöntemde kullanılan bazı eşik değerler ve kurallar otoyolları ve tren yolları için farklıdır ama genel olarak aynı yöntem basamakları uygulanmıştır.



(a) (b)

Şekil 4.1. Örnek SAR görüntüleri a) otoyol, b) tren yolu.

Geliştirilen yöntem genel olarak yapay açıklıklı radar görüntüsü üzerindeki gürültülerin temizlenmesi, otoyol ve tren yolu segmentlerinin tespiti, tespit edilen segmentlerin birleştirilmesi ve tespit edilen segmentlerden gerçekte bir otoyol veya tren yolu ağının parçası olmayanların silinmesi için yapılan hat analizi işlemlerinden oluşmaktadır. Şekil 4.2'de geliştirilen yöntemin işlem adımları genel olarak gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Geliştirilen yöntemin işlem adımları.

4.1. GÜRÜLTÜLERİN TEMİZLENMESİ

Otoyol ve tren yolu segmentlerinin tespitinden önce yapay açıklıklı radar görüntüsünün üzerindeki gürültülerin temizlenmesi gerekmektedir. Gürültülerin temizlenmesi için 3x3 piksel boyutlarında bir Gauss filtresi kullanılmıştır. Bu filtrenin yapısı Şekil 4.3'de gösterilmektedir. Bu filtre görüntüyü yumuşatarak görüntü üzerindeki gürültüleri azaltmaktadır.

p_1	p_2	p_3
p_4	p_i	p_5
p_6	p_7	p_8

(a)

1/16	1/8	1/16
1/8	1/4	1/8
1/16	1/8	1/16

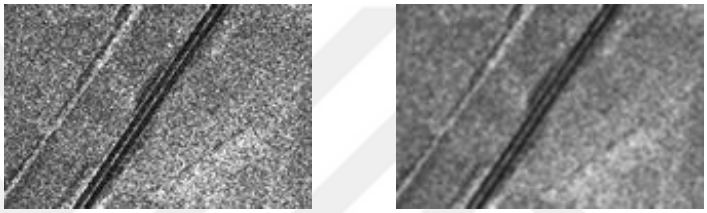
(b)

Şekil 4.3. Gauss filtresi a) Piksellerin komşuluk ilişkisi, b) Filtrenin sayısal değerleri.

Filtre yapay açıklıklı radar görüntüsünün bütün yüzeyine Eşitlik 4.1 kullanılarak uygulanmıştır. Eşitlikdeki p_i filtrenin uygulandığı pikselin renk değerini, p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7 ve p_8 komşu piksellerin renk değerlerini ve p_n pikselin yeni değerini ifade etmektedir.

$$p_n = \frac{p_i}{4} + \frac{(p_2+p_4+p_5+p_7)}{8} + \frac{(p_1+p_3+p_6+p_8)}{16} \tag{4.1}$$

Şekil 4.4'de Orijinal yapay açıklıklı radar görüntüsü ve Gauss filtresi uygulanmış hali gösterilmektedir.

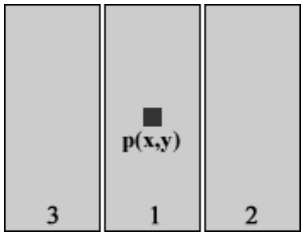


(a) (b)

Şekil 4.4. Gauss filtresinin sonucu a) orijinal SAR görüntüsü, b) Gauss fitresi uygulanmış SAR görüntüsü.

4.2. OTOYOL VE TREN YOLU SEGMENTLERİNİN TESPİTİ

Otoyol ve tren yolu segmentlerinin tespiti için Tupin vd. geliştirdikleri "cross-correlation line detector" adlı dedektörden [28] faydalanılmıştır. Bu dedektör görüntü üzerindeki her bir piksele tek tek uygulanmaktadır. Dedektör, tespit işlemi için ilgili piksel p(x,y)'nin çevresindeki alanı üç bölgeye bölüp, bu bölgelerin ortalama ve standart sapma gibi değerlerini kullanmaktadır. Şekil 4.5'de ilgili pikselin çevresindeki üç bölge gösterilmektedir.



Şekil 4.5. Pikselin çevresindeki üç bölge [28].

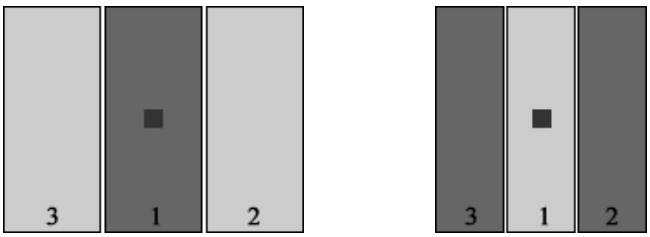
Yan yana iki bölge için dedektörün verdiği sonuçlar (p_{12} ve p_{13}) Eşitlik 4.4 kullanarak hesaplanır. Eşitlik 4.2, 4.3 ve 4.4'deki μ ortalama değeri, σ standart sapma değerini, n ise bölgedeki piksel sayısını belirtmektedir. Dedektörün verdiği sonuç $p=\min(p_{12}, p_{13})$ eşitliği kullanılarak hesaplanır. p değeri önceden belirlenen bir eşik seviyeden (p_{esik}) yüksek ise bu pikselin bir segmente ait olduğu kabul edilir. Bu işlemler görüntü üzerindeki her bir piksel için, farklı yönlerde ve farklı bölge büyüklükleri için uygulanır. Her bir piksel için en iyi sonuçlar p değeri olarak kabul edilir.

$$\bar{c}_{ij} = \frac{\mu_i}{\mu_j} \tag{4.2}$$

$$\gamma_i = \frac{\sigma_i}{\mu_i} \tag{4.3}$$

$$p_{ij}^2 = \frac{1}{1+(n_i+n_j)\frac{n_i\gamma_i^2\bar{c}_{ij}^2+n_j\gamma_j^2}{n_i n_j(\bar{c}_{ij}-1)^2}} \tag{4.4}$$

Şekil 4.6'da temsili olarak gösterildiği gibi yapay açıklıklı radar görüntülerinde otoyollar koyu tonlu, tren yolları ise açık tonlu olarak gözükmektedir. Bu durumdan faydalanabilmek için pikselin çevresindeki üç bölgenin ortalama değerleri ile ilgili değişik kurallar geliştirilmiştir. Otoyollar için geliştirilen kurallar daha önce yapılan bir çalışmada [73] sunulmuştur. Otoyollar ve tren yolları için farklı bölge büyüklükleri kullanılmıştır. Bölge büyüklükleri belirlenirken otoyolların ve tren yollarının görüntü üzerindeki boyutları dikkate alınmıştır. Çizelge 4.1 ve Çizelge 4.2'de geliştirilen kurallar ve kullanılan bölge büyüklükleri verilmektedir.



(a) (b)

Şekil 4.6. Temsili yollar a) otoyol, b) tren yolu.

Çizelge 4.1. Kurallar.

No	Otoyol İçin Kurallar	Tren Yolu İçin Kurallar
1	Pikselin rengi < 150	Pikselin rengi > 100
2	$\mu_1 < 150$	$\mu_1 > 100$
3	$\mu_2 - \mu_1 > 5$	$\mu_1 - \mu_2 > 5$
4	$\mu_3 - \mu_1 > 5$	$\mu_1 - \mu_3 > 5$

Çizelge 4.2. Bölge büyüklükleri.

Özellikler	Otoyol İçin		Tren Yolu İçin	
	1. Büyüklük (piksel)	2. Büyüklük (piksel)	1. Büyüklük (piksel)	2. Büyüklük (piksel)
Yükseklik	11	11	11	11
1. Bölgenin Genişliği	3	5	1	2
2. ve 3. Bölgenin Genişliği	2	4	2	2

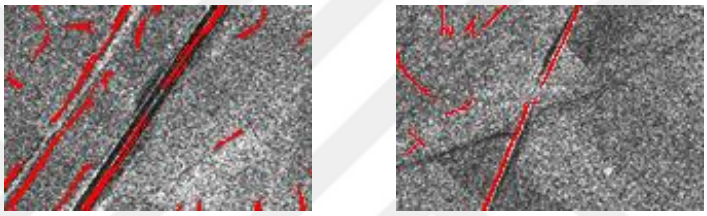
Çizelge 4.2'de de gösterildiği gibi hem otoyollar hem de tren yolları için iki farklı bölge büyüklüğü kullanılmıştır. Bu iki farklı bölge büyüklüğü için dedektör ayrı ayrı uygulanıp, elde edilen bilgiler birleştirilmiştir. Tren yolları için daha dar bölge büyüklüklerinin kullanılma sebebi görüntü üzerinde tren yollarının daha ince görülmesidir. Dedektör 8 farklı yönde uygulanmış ve p_{esik} değeri olarak 0.4 kullanılmıştır.

Otoyolları ve tren yolları segmentlerinin tespitinden sonra toplam büyüklüğü 20 piksel veya daha az olan segmentler silinmiştir çünkü bu segmentler bir otoyolunun yada bir tren yolunun parçası olamayacak kadar küçüktürler. Bu işlem için geliştirilen algoritmanın adımları;

- Tespit edilen bir segmentin parçası olan bütün piksellere bir id numarası verilir. Eğer ilgili pikselin çevresinde daha önceden bir id numarası verilmiş başka bir piksel varsa, ilgili pikselin id numarası onun ki ile eşitlenir.

- Bütün piksellere bir id numarası verildikten sonra komşu segmentlerin id numaralarıda eşitlenir. Böylelikle segmentler arasındaki bütünlük sağlanmış olur.
- Segmentlerin büyüklükleri id numaraları kullanılarak hesaplanır ve büyüklüğü 20 piksel veya daha küçük olanlar bir segment parçası olmaktan çıkarılır.

Şekil 4.7'de otoyol ve tren yolu için yapılan tespit işlemlerinin sonuçları gösterilmektedir. Şekildeki kırmızı çizgiler tespit edilen yolları belirtmektedir. Tespit işleminden sonra büyüklüğü 20 piksel veya daha küçük olan segmentler silinmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.7. Tespit işleminin sonucu a) otoyol, b) tren yolu.

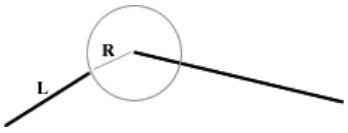
4.3. TESPİT EDİLEN SEGMENTLERİN BİRLEŞTİRİLMESİ

Tespit edilen segmentlerin birleştirilmesi için algısal organizasyondan faydalanılmıştır. Algısal organizasyon, bir görüntüdeki ilgili grupları ve yapıları herhangi bir içerik bilgisi olmadan elde eden, insan görme sisteminin temeline dayanan bir yöntemdir. Bazı temel ilkeleri vardır [74]. Bu ilkeler;

- Yakınlık: Birbirine yakın olan öğeler gruplandırılır.
- Benzerlik: Fiziksel olarak benzer olan öğeler gruplandırılır.
- Süreklilik: Ortak bir hat yada eğri üzerinde olan öğeler gruplandırılır.
- Tamamlama: Eğrilerde tamamlanmaya yönelik bir eğilim vardır böylece kapalı bölgeler oluştururlar.
- Simetri: Birbirine simetrik olan öğeler gruplandırılır

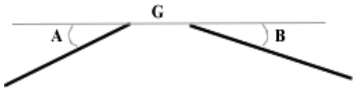
Bu ilkelerden yakınlık ve süreklilik ilkeleri segmentlerin birleştirilmesinde kullanılmıştır. Birleştirme işlemi için, ilk olarak görüntü üzerinde tespit edilen otoyol ve tren yolu segmentlerinin başlangıç ve bitiş noktaları belirlenir. Sonrasında tespit edilen otoyol ve tren yolu segmentlerinin belli bir eşik değerden (t_{esik}) uzun olanları belirlenir. Bu çalışmada t_{esik} değeri olarak 30 ve 100 piksel değerleri kullanılmış ve sonuçlar ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Tespit edilen otoyol ve tren yolu segmentleri, başlangıç ve bitiş noktalarının çevresinde bulunan diğer segmentler arasından en uyumlu olanı ile gruplandırılır.

Gruplama işlemi için kullanılan ilkeler Şekil 4.8 ve 4.9'da gösterilmektedir. Yakınlık ilkesi iki segmentin birbirine yakınlığını, süreklilik ilkesi ise iki segment birleştirildiğinde ne kadar yumuşak geçişli eğrisel bir yapı oluşturduklarını ölçer. Bu ilkeler ile bağlantılı olarak kullanılan eşitlikler ise Eşitlik 4.5 ve Eşitlik 4.6'da gösterilmektedir. Bu eşitlikler, Jeon vd. [31], Guo vd. [34] ve He vd.'nin [40] çalışmalarında kullandıkları eşitliklerdir. Eşitlik 4.5'deki L segmentlerden kısa olanın uzunluğunu ve R iki segment arasındaki minimum uzaklığı ifade etmektedir. Eşitlik 4.6'daki G iki segment arasındaki boşluğun uzunluğunu, A ve B ise teğet açıları ifade etmektedir. Eşitlik 4.6'daki α=10, β=0.1 olarak kabul edilir ve α birleştirilen segmentlerin lineerlikten uzaklaşmalarını, β ise G değerinin duyarlılığını kontrol eder.



Şekil 4.8. İki segmentin yakınlığı [31].

$$P = L^2/2\pi R^2 \tag{4.5}$$



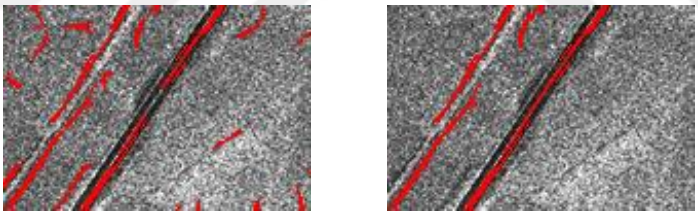
Şekil 4.9. İki segmentin sürekliliği (eğriselliği) [31].

$$C = \frac{1}{(A^2+B^2)+(\alpha+\beta G)} \tag{4.6}$$

İlgili segmentin başlangıç yada bitiş noktasının 41x41 piksel çevresindeki her bir segment için Eşitlik 4.7 hesaplanır. Jeon vd. [31] ve Guo vd. [34] çalışmalarında yaptıkları gibi P ve C değerleri ağırlık faktörleri ile çarpılıp toplanmıştır. İlgili segment en büyük V değerine sahip segment ile birleştirirlir. Eşitlik 4.7'deki γ ve θ ağırlık faktörleridir ve sırasıyla 0.5 ve 10^3 olarak kabul edilir.

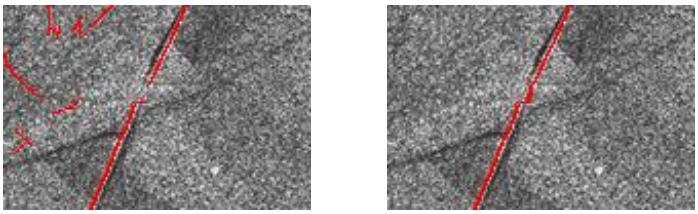
$$V = \gamma P + \theta C \tag{4.7}$$

Tespit edilen otoyol ve tren yolu segmentlerinin birleştirilmesinden sonra belli bir büyüklükten küçük olan segmentler silinmiştir çünkü bu segmentler bir otoyol yada bir tren yolu ağının parçası olamayacak kadar küçüktürler. Şekil 4.10 ve 4.11'de otoyol ve tren yolu için yapılan birleştirme işlemlerinin sonuçları gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde tespit edilen segmentlerin arasındaki boşlukların tamamlandığı görülmektedir. Birleştirme işleminden sonra otoyolları için büyüklüğü 200 piksel, tren yolları için büyüklüğü 100 piksel veya daha küçük olan segmentler silinmiştir.



(a) (b)

Şekil 4.10. Otoyol için birleştirme işleminin sonucu a) tespit edilen segmentler, b) birleştirilmiş segmentler.



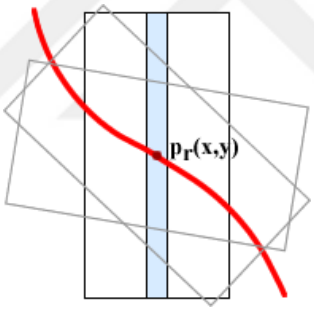
(a) (b)

Şekil 4.11. Tren yolu için birleştirme işleminin sonucu a) tespit edilen yapılar, b) birleştirilmiş yapılar.

4.4. HAT ANALİZİ

Otoyol ve tren yolu segmentlerinin tespiti ve birleştirilmesinden sonra aslında bir otoyol veya tren yolu ağının parçası olmayan gereksiz bölgelerden kurtulmak için "hat analizi" adı verilen bir yöntem geliştirilmiştir. Yöntem temelde, bir segmentin parçası olarak bulunan pikselin komşu piksellerinin hangilerinin bir segment parçası olup olmadığına dayanmaktadır. Eğer ilgili pikselin çevresindeki pikseller bir otoyol veya tren yolu hattını oluşturabiliyorlarsa bu piksel gerçektende bir otoyol veya tren yolu segmentinin parçası olarak kabul edilmiştir. Oluşturamıyorlarsa ilgili piksel segment parçası olmaktan çıkarılmıştır.

Bu işlem için Şekil 4.12'de gösterildiği gibi üç farklı kısımdan oluşan bir çerçeve kullanılmıştır. Şekildeki $p_r(x,y)$ ilgili pikseli, kırmızı çizgi ise ait olduğu segmenti göstermektedir.



Şekil 4.12. Hat analizi çerçevesi.

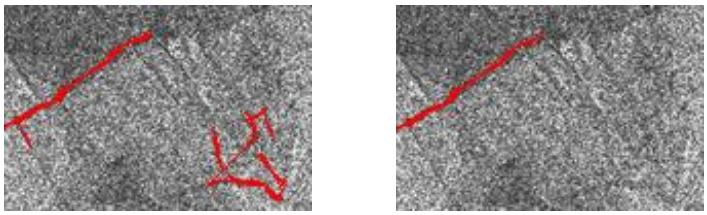
Çerçeve ilgili pikselin $p_r(x,y)$ üstüne 16 farklı açıyla yerleştirilmiş ve orta kısım ile yan kısımlara denk gelen ve bir otoyol veya tren yolu segmentinin parçası olan toplam piksel sayıları hesaplanmıştır. Herhangi bir açıdayken, orta kısımdaki segmentlerin toplam piksel sayısı e_1 eşik değerinden büyük ve yan kısımlardaki segmentlerin toplam piksel sayısı e_2 eşik değerinden küçük ise ilgili piksel segment parçası olarak kalır. Eğer herhangi bir açıda bu şartlar sağlanamadıysa $p_r(x,y)$ segment parçası olmaktan çıkarılır.

Hat analizi işleminin algoritma adımları aşağıda gösterildiği gibidir.

for i=1 **to** toplam $p_r(x,y)$ sayısı
  for j=1 **to** 16
  Çerçevenin orta kısmına denk gelen bir yol segmentine ait olan toplam piksel sayısını (t1) hesapla
  Çerçevenin yan kısımlarına denk gelen bir yol segmentine ait olan toplam piksel sayısını (t2) hesapla
  if ($t1>e_1$ & $t2< e_2$) sonuç=doğru **end if**
  end for
  if (sonuç=doğru) $p_r(x,y)$ segment parçası olarak kalır **else** $p_r(x,y)$ çıkarılır **end if**
end for

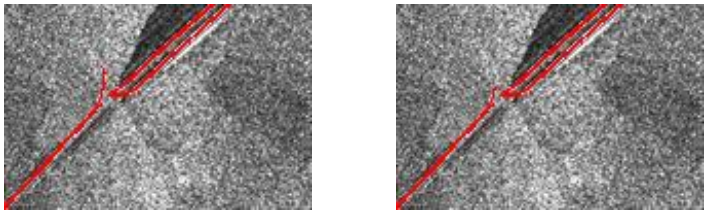
Otoyollar için e_1=80 ve e_2=300 iken, tren yolları için e_1=25 ve e_2=300'dür. Otoyollar için kullanılan çerçevenin yüksekliği 91 piksel, orta bölgesinin genişliği 5 piksel ve yan bölgelerinin genişliği 11 pikseldir. Tren yolları için kullanılan çerçevenin yüksekliği 91 piksel, orta bölgesinin genişliği 2 piksel ve yan bölgelerinin genişliği 11 pikseldir. Orta bölgelerin genişlikleri yol segmentlerinin tespitinde kullanılan dedektörlerin birinci bölgelerinin maksimum genişliğine göre belirlenmiştir.

Şekil 4.13 ve 4.14'de otoyol ve tren yolu için yapılan hat analizi işlemlerinin sonuçları gösterilmektedir. Şekiller incelendiğinde lineer özellik göstermeyen segmentlerin ve segment parçalarının silindiği görülmektedir.



(a) (b)

Şekil 4.13. Otoyol için hat analizi işleminin sonucu a) hat analizinden önce, b) hat analizinden sonra.



(a) (b)

Şekil 4.14. Tren yolu için hat analizi işleminin sonucu a) hat analizinden önce, b) hat analizinden sonra.

Hat analizi işleminden sonra belli bir büyüklükten küçük olan yapılar silinmiştir çünkü bu yapılar bir otoyol yada bir tren yolu ağının parçası olamayacak kadar küçüktürler.

BÖLÜM 5

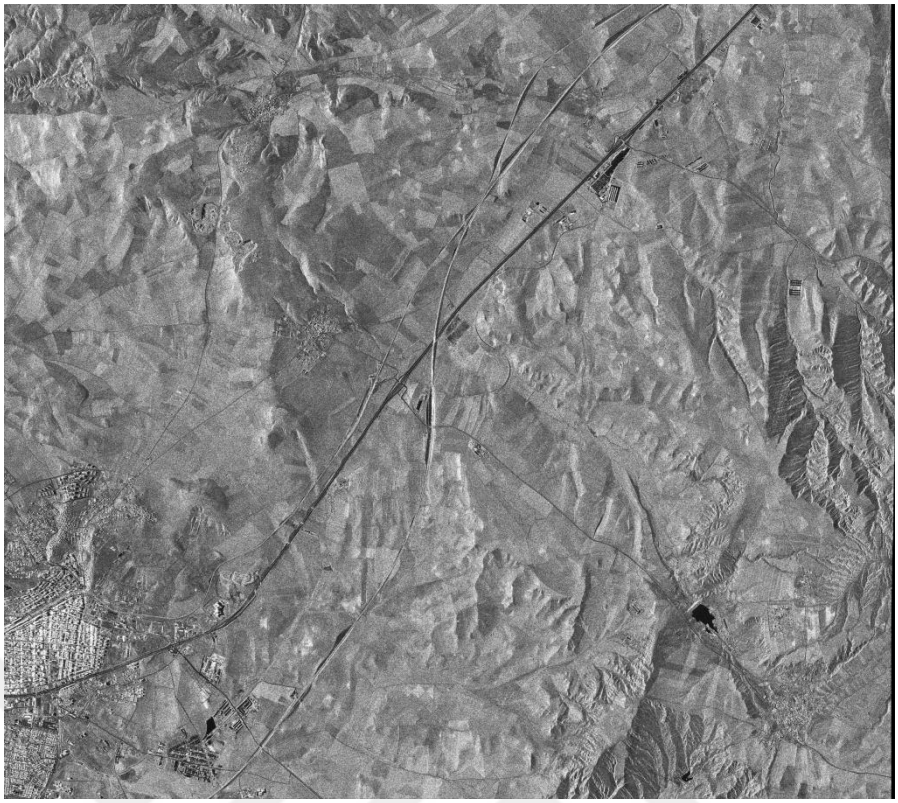
DENEYSEL ÇALIŞMALAR VE KARŞILAŞTIRMALAR

Önerilen yöntem iki farklı SAR görüntüsüne uygulanmıştır. Elde edilen sonuçları değerlendirmek için tamlık ve doğruluk değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır.

5.1. VERİ SETİ

Deneysel çalışmalarda otoyol ve tren yolu içeren iki farklı SAR görüntüsü kullanılmıştır. Bu görüntüler 2014 yılı aralık ayında TerraSAR-X uydusundan elde edilen, SpotLight tip, 10x10 km çerçeve boyutlu, 2 m çözünürlüklü, HH polarizasyonlu, Multi Look Ground Range Detected görüntülerdir. İlk görüntü Polatlı, Ankara civarından alınırken ikinci görüntü Karaman civarını kapsamaktadır. İlk görüntü 15461x13797 piksel, ikinci görüntü ise 15319x13970 piksel büyüklüğündedir. Bu bölgelerin tercih edilmesinin nedeni hem otoyol hem de tren yolu bulundurmalarıdır.

Şekil 5.1'de ilk görüntü olan Polatlı, Ankara bölgesinin SAR görüntüsü gösterilmektedir. Görüntü üzerindeki sol alt bölge Polatlı ilçesinin merkezidir. Şekil 5.2'de ikinci görüntü olan Karaman bölgesinin SAR görüntüsü gösterilmektedir. Görüntü üzerindeki sağ alt bölge Karaman ilinin merkezidir.

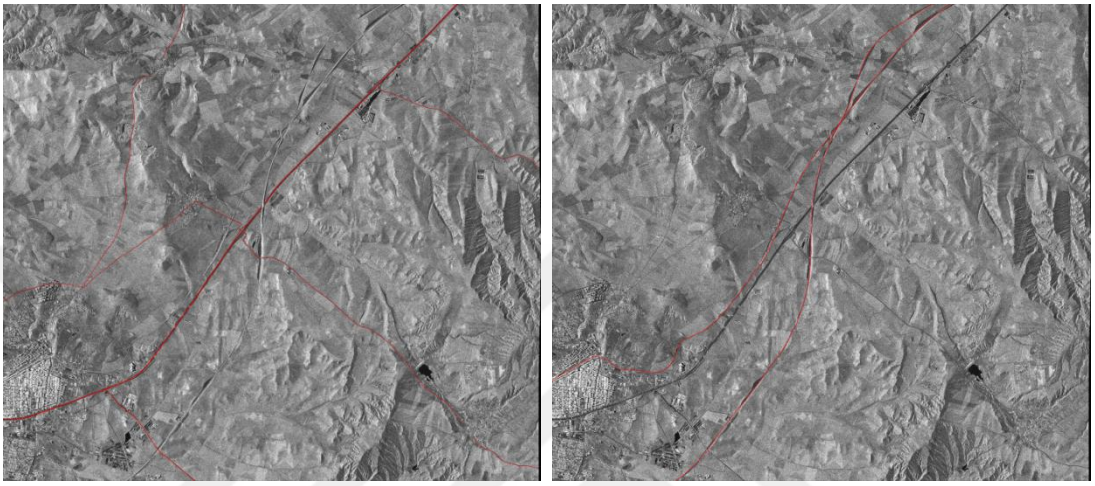


Şekil 5.1. Polatlı, Ankara civarı SAR görüntüsü.

Şekil 5.2. Karaman civarı SAR görüntüsü.

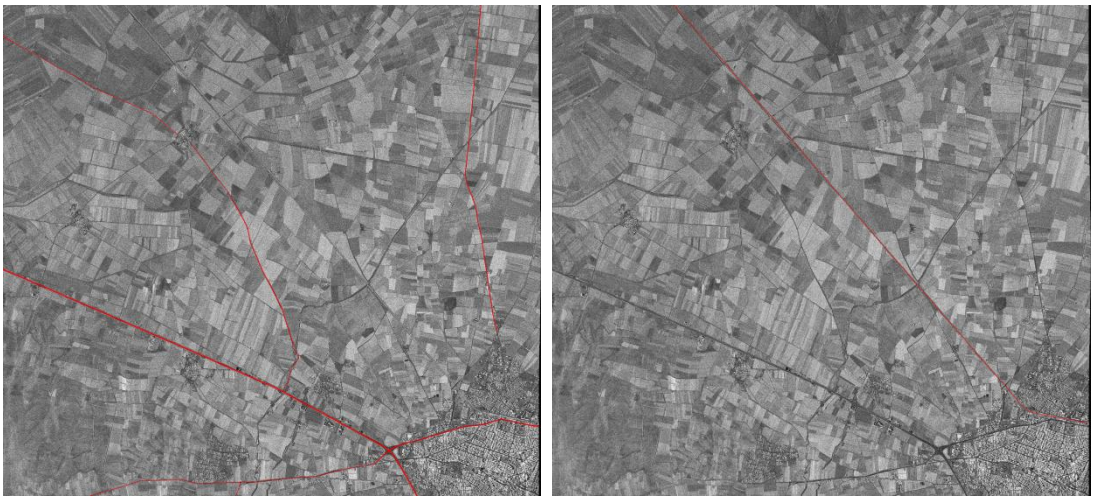
5.2. REFERANS YOLLAR VE DEĞERLENDİRME KRİTERLERİ

Elde edilen sonuçlar manuel olarak belirlenen gerçek referans otoyolları ve tren yolları ile karşılaştırılmıştır. Şekil 5.3 ve Şekil 5.4'de ilk bölge ve ikinci bölge için belirlenen referans yollar kırmızı çizgiler şeklinde gösterilmektedir.



(a) (b)

Şekil 5.3. İlk bölge için referans yollar a) otoyolları, b) tren yolları.



(a) (b)

Şekil 5.4. İkinci bölge için referans yollar a) otoyolları, b) tren yolları.

Deneysel çalışmalar sonunda elde edilen sonuçlar tamlık ve doğruluk değerleri hesaplanarak değerlendirilmiştir. Tamlık ve doğruluk değerleri Eşitlik 5.1 ve Eşitlik

5.2'deki gibi Heipke vd. [75] çalışmasında önerilen yönteme benzer bir şekilde hesaplanmıştır. Farklı olarak uzunluk değerleri yerine piksel sayısı kullanılmıştır. Tampon bölge genişliği olarak da 1 piksel mesafe kullanılmıştır. "Eşleşen referans piksel sayısı" 3x3 çevresinde bir yol parçası bulunmuş gerçekten yol olan piksel sayısını, "eşleşen yol olarak bulunan piksel sayısı" 3x3 çevresinde gerçekten bir yol parçası olan sonuç da yol olarak bulunmuş piksel sayısını belirtmektedir.

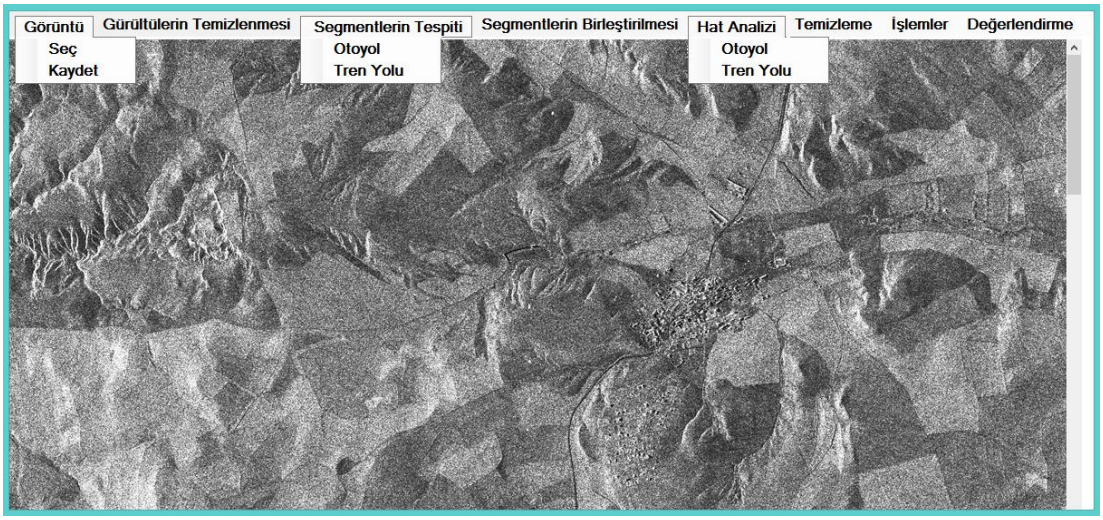
$$\text{tamlık} = \frac{\text{eşleşen referans piksel sayısı x 100}}{\text{toplam referans piksel sayısı}} \tag{5.1}$$

$$\text{doğruluk} = \frac{\text{eşleşen yol olarak bulunan piksel sayısı x 100}}{\text{toplam yol olarak bulunan piksel sayısı}} \tag{5.2}$$

Tamlık değeri yolların yüzde kaçının tespit edildiğini, doğruluk değeri ise yol olarak bulunan piksellerin yüzde kaçının gerçekten yol olduğunu belirtmektedir.

5.3. TASARLANAN ARAYÜZ

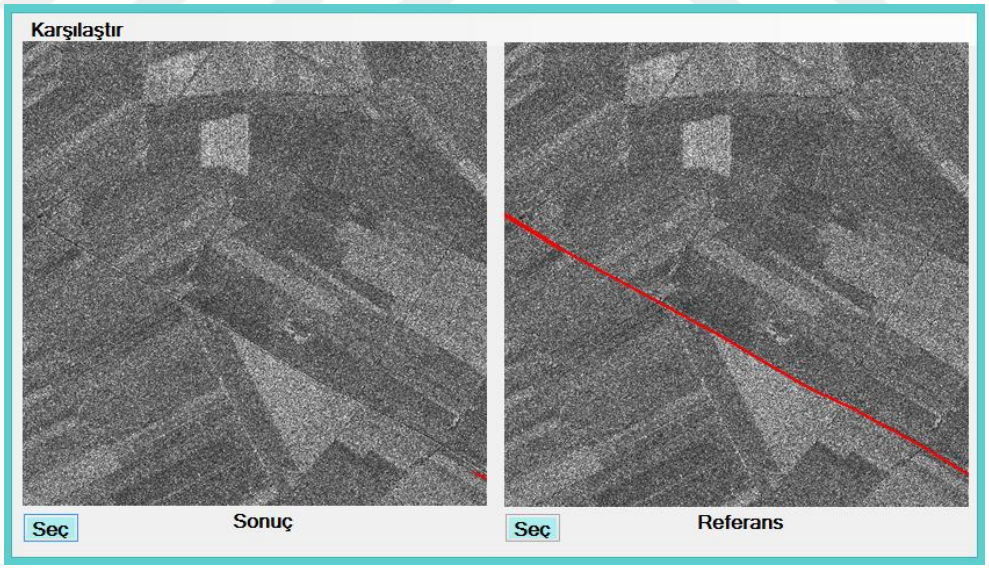
Önerilen yöntemin SAR görüntülerine uygulanması ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımın kolay kullanılabilmesi için de bir arayüz tasarlanmıştır. Şekil 5.5'de tasarlanan ana arayüz gösterilmektedir.



Şekil 5.5. Tasarlanan ana arayüz.

Ana arayüzde bir adet menü ve görüntülerin gösterildiği bir alan bulunmaktadır. Menü görüntü, gürültülerin temizlenmesi, segmentlerin tespiti, segmentlerin birleştirilmesi, hat analizi, temizleme, işlemler ve değerlendirme bölümlerinden oluşmaktadır. Görüntü bölümü kullanılarak istenilen bir SAR görüntüsü uygulama için seçebilmekte veya uygulama sonucu elde edilen görüntü kaydedilebilmektedir. Gürültülerin temizlenmesi bölümü ile görüntülerin üstündeki gürültüler temizlenebilmektedir. Segmentlerin tespiti bölümü ile otoyol veya tren yolu segmentleri tespit edilebilmektedir. Segmentlerin birleştirilmesi bölümü ile tespit edilen segmentler birleştirilebilmektedir. Hat analizi bölümü ile birleştirilen otoyol veya tren yolu segmentlerine hat analizi işlemi uygulanabilmektedir. Temizleme bölümü ile belli bir büyüklükten küçük segmentler silinebilmektedir. İşlemler bölümü ile çeşitli basit işlemler yapılabilmektedir.

Değerlendirme bölümü ile, elde edilen sonuçlar referans yollar ile karşılaştırılabilmektedir. Bu işlem için ana arayüzünden ulaşılabilen başka bir arayüz tasarlanmıştır. Şekil 5.6'da tasarlanan değerlendirme arayüzü gösterilmektedir.



Şekil 5.6. Değerlendirme arayüzü.

Değerlendirme arayüzündeki butonlar ile uygulama sonunda elde edilen sonuç görüntü ve referans yolların olduğu görüntü seçilip karşılaştırılabilmektedir. Sonuç olarak tamlık ve doğruluk değerleri ekranda gösterilmektedir.

5.4. KÜÇÜLTÜLMÜŞ BOYUTLARDAKİ GÖRÜNTÜLER İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Zamandan tasarruf edebilmek için SAR görüntüleri yükseklik ve genişlik değerleri 1/6 oranında küçültülerek kullanılmıştır. Bu küçültme işleminden sonra ilk görüntü 2576 x 2299 piksel, ikinci görüntü ise 2553 x 2328 piksel boyutlarına sahip olmuştur. Önerilen yöntemin bu görüntülere uygulanması, deneysel çalışmaların yapılması ve elde edilen sonuçların değerlendirilmesi için bir yazılım geliştirilmiştir. Bu yazılımın kolay kullanılabilmesi için tasarlanan arayüz önceki bölümde açıklanmıştır. Küçültülmüş boyutlardaki görüntülere önerilen yöntem uygulanırken dördüncü bölümde anlatıldığı gibi ilgili kurallar, çerçeve boyutları ve eşik değerleri kullanılmıştır.

İlk bölge ile ilgili elde edilen sonuçlar Çizelge 5.1, 5.2, 5.3 ve 5.4'de verilmektedir. Çizelge 5.1 ve 5.3'deki sonuçlarda tespit edilen segmentlerin birleştirilmesi evresinde birleştirilecek segmentlerin uzunluğu için eşik değer olarak 30 piksel kullanılmıştır. Çizelge 5.2 ve 5.4'deki sonuçlarda ise eşik değer olarak 100 piksel kullanılmıştır. İkinci bölge ile ilgili elde edilen sonuçlar Çizelge 5.5, 5.6, 5.7 ve 5.8'de verilmektedir. Çizelge 5.5 ve 5.7'deki sonuçlarda tespit edilen segmentlerin birleştirilmesi evresinde birleştirilecek segmentlerin uzunluğu için eşik değer olarak 30 piksel kullanılmıştır. Çizelge 5.6 ve 5.8'deki sonuçlarda ise eşik değer olarak 100 piksel kullanılmıştır. Segmentlerin tespiti ve birleştirilmesinden sonra görüntü üzerindeki gürültülerden kurtulmak için belli bir büyüklükten küçük olanlar silinmiştir. δ değeri bu büyüklüğü piksel olarak belirtmektedir. Hat analizi işleminden sonrada 200 pikselden küçük olan segmentler silinerek temizleme işlemi yapılmaktadır.

Çizelge 5.1. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ilk bölgenin otoyolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=30).

δ	Birleştirmeden Sonra		Hat Analizinden Sonra		Temizlemeden Sonra	
	Tamlık	Doğruluk	Tamlık	Doğruluk	Tamlık	Doğruluk
200	81.54	16.25	79.43	20.72	78.14	26.69
400	73.08	30.98	71.20	36.53	70.74	40.10
600	71.48	43.45	70.22	47.68	70.05	50.42

Çizelge 5.2. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ilk bölgenin otoyolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=100).

δ	Birleştirmeden Sonra		Hat Analizinden Sonra		Temizlemeden Sonra	
	Tamlık	**Doğruluk**	**Tamlık**	**Doğruluk**	**Tamlık**	**Doğruluk**
200	76.01	33.37	74.72	37.15	73.23	41.21
400	66.97	46.33	66.02	49.31	65.64	51.34
600	64.03	57.50	63.53	59.68	63.22	61.08

Çizelge 5.3. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ilk bölgenin tren yolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=30).

δ	Birleştirmeden Sonra		Hat Analizinden Sonra		Temizlemeden Sonra	
	Tamlık	**Doğruluk**	**Tamlık**	**Doğruluk**	**Tamlık**	**Doğruluk**
100	79.79	30.22	79.20	34.32	70.94	72.87
300	69.96	70.89	69.48	72.31	68.26	76.11
500	58.64	73.17	58.11	74.20	55.94	78.16

Çizelge 5.4. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ilk bölgenin tren yolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=100).

δ	Birleştirmeden Sonra		Hat Analizinden Sonra		Temizlemeden Sonra	
	Tamlık	**Doğruluk**	**Tamlık**	**Doğruluk**	**Tamlık**	**Doğruluk**
100	66.92	65.09	66.15	67.12	55.66	91.02
300	59.70	86.62	58.99	87.50	55.66	91.07
500	47.40	85.24	46.82	86.60	46.51	90.67

Çizelge 5.5. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ikinci bölgenin otoyolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=30).

δ	Birleştirmeden Sonra		Hat Analizinden Sonra		Temizlemeden Sonra	
	Tamlık	**Doğruluk**	**Tamlık**	**Doğruluk**	**Tamlık**	**Doğruluk**
200	71.33	11.15	70.33	13.28	65.21	15.07
400	64.96	16.53	63.69	18.69	62.43	19.81
600	51.71	17.99	51.10	20.08	50.67	20.99

Çizelge 5.6. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ikinci bölgenin otoyolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=100).

δ	Birleştirmeden Sonra		Hat Analizinden Sonra		Temizlemeden Sonra	
	Tamlık	**Doğruluk**	**Tamlık**	**Doğruluk**	**Tamlık**	**Doğruluk**
200	62.23	16.59	61.90	18.50	61.47	20.56
400	57.69	22.92	57.31	24.74	56.99	25.30
600	44.10	23.79	43.96	25.62	43.88	26.02

Çizelge 5.7. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ikinci bölgenin tren yolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=30).

δ	Birleştirmeden Sonra		Hat Analizinden Sonra		Temizlemeden Sonra	
	Tamlık	**Doğruluk**	**Tamlık**	**Doğruluk**	**Tamlık**	**Doğruluk**
100	94.02	22.24	93.59	25.06	93.59	58.16
300	89.26	61.40	88.84	65.43	88.84	74.07
500	71.35	93.99	71.04	95.13	71.04	97.23

Çizelge 5.8. Küçültülmüş görüntüler kullanılarak ikinci bölgenin tren yolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=100).

δ	Birleştirmeden Sonra		Hat Analizinden Sonra		Temizlemeden Sonra	
	Tamlık	**Doğruluk**	**Tamlık**	**Doğruluk**	**Tamlık**	**Doğruluk**
100	86.07	51.64	85.42	54.53	80.49	80.29
300	80.91	87.72	80.49	88.42	80.49	88.76
500	80.91	97.64	80.49	97.89	80.49	97.89

Elde edilen sonuçları karşılaştırdığımızda;

- İlk bölgede otoyolları için elde edilen tamlık değerleri tren yolları için elde edilenlerden daha yüksektir fakat tren yolları için elde edilen doğruluk değerleride otoyolları için elde edilen doğruluk değerlerinden daha yüksektir. İkinci bölgede ise tren yolları için elde edilen tamlık ve doğruluk değerleri otoyollar için elde edilenlerden daha yüksektir.

- İki bölgede de bütün durumlar için hat analizi işleminden sonra tamlık değeri azalmakta fakat doğruluk değeri artmaktadır. Çoğunlukla da doğruluk değerindeki artış tamlık değerindeki azalıştan fazladır. Çizelge 5.9 ve 5.10'da hat analizi işleminden sonra tamlık ve doğruluk değerlerindeki değişiklikler iki bölgenin ortalama değerleri hesaplanarak verilmektedir.

Çizelge 5.9. Otoyolları için hat analizi işleminden sonraki değişiklikler.

δ	t_{esik}=30		t_{esik}=100	
	Tamlık Azalma	**Doğruluk Artma**	**Tamlık Azalma**	**Doğruluk Artma**
200	1.55	3.3	0.81	2.84
400	1.57	3.85	0.66	2.4
600	0.93	3.16	0.32	2

Çizelge 5.10. Tren yolları için hat analizi işleminden sonraki değişiklikler.

δ	t_{esik}=30		t_{esik}=100	
	Tamlık Azalma	**Doğruluk Artma**	**Tamlık Azalma**	**Doğruluk Artma**
100	0.51	3.46	0.71	2.46
300	0.45	2.72	0.56	0.79
500	0.42	1.03	0.5	0.80

- İki bölgede de bütün durumlar için temizleme işleminden sonra tamlık değeri azalmakta veya aynı kalmaktadır fakat doğruluk değeri artmakta veya aynı kalmaktadır. Çoğunlukla da doğruluk değerindeki artış tamlık değerindeki azalıştan fazladır. Çizelge 5.11 ve 5.12'de hat analizi işleminden sonra tamlık ve doğruluk değerlerindeki değişiklikler iki bölgenin ortalama değerleri hesaplanarak verilmektedir.

Çizelge 5.11. Otoyolları için temizleme işleminden sonraki değişiklikler.

δ	t_{esik}=30		t_{esik}=100	
	Tamlık Azalma	**Doğruluk Artma**	**Tamlık Azalma**	**Doğruluk Artma**
200	3.20	3.88	0.96	3.06
400	0.86	2.34	0.35	1.29
600	0.3	1.82	0.19	0.9

Çizelge 5.12. Tren yolları için temizleme işleminden sonraki değişiklikler.

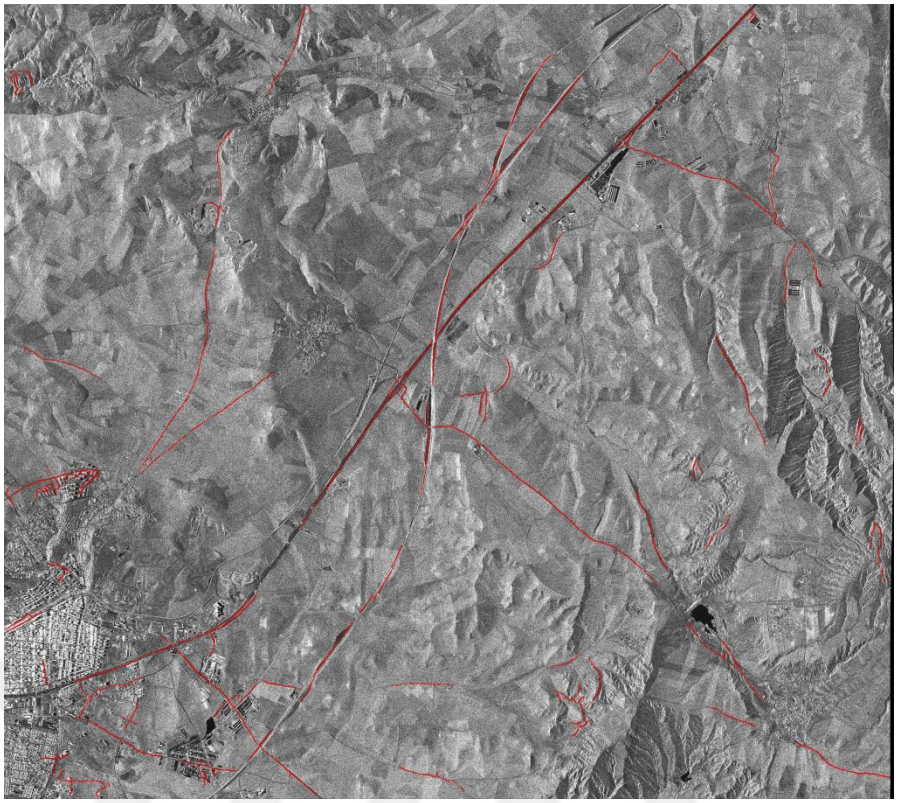
δ	t_{esik}=30		t_{esik}=100	
	Tamlık Azalma	**Doğruluk Artma**	**Tamlık Azalma**	**Doğruluk Artma**
100	4.13	35.82	7.71	24.83
300	0.61	6.22	1.66	1.95
500	1.08	3.03	0.15	2.03

- İki bölge içinde çoğunlukla δ değeri arttıkça tamlık değeri azalmakta fakat doğruluk değeri artmaktadır.

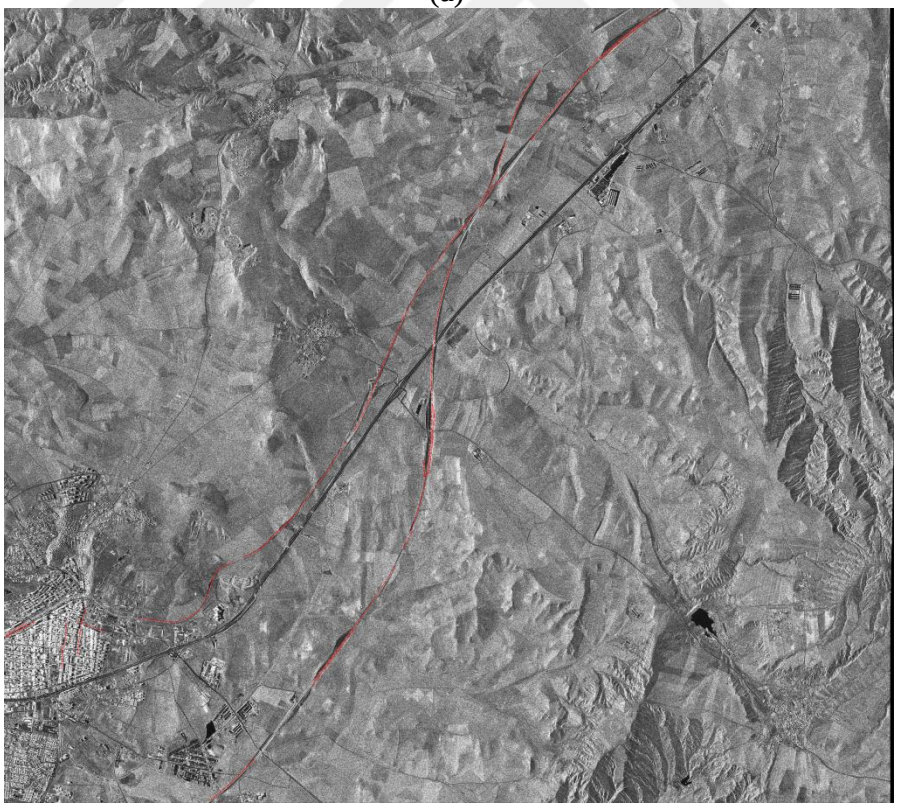
- İlk bölge için bütün durumlarda t_{esik} değeri 30 pikselden 100 piksele çıkarıldığında tamlık değeri azalmakta fakat doğruluk değeri artmaktadır.

İkinci bölge için ise çoğunlukla t_{esik} değeri 30 pikselden 100 piksele çıkarıldığında tamlık değeri azalmakta fakat doğruluk değeri artmaktadır.

İlk bölge ile ilgili örnek sonuçlar Şekil 5.7 ve Şekil 5.8'de gösterilmektedir. İkinci bölge ile ilgili örnek sonuçlar ise Şekil 5.9 ve Şekil 5.10'da gösterilmektedir. Şekil 5.7 ve Şekil 5.9'da t_{esik}=30 piksel, Şekil 5.8 ve Şekik 5.10'da t_{esik}=100 piksel olan sonuçlar gösterilmektedir. Şekiller de tespit edilen otoyolları ve tren yolları kırmızı çizgiler ile gösterilmektedir.

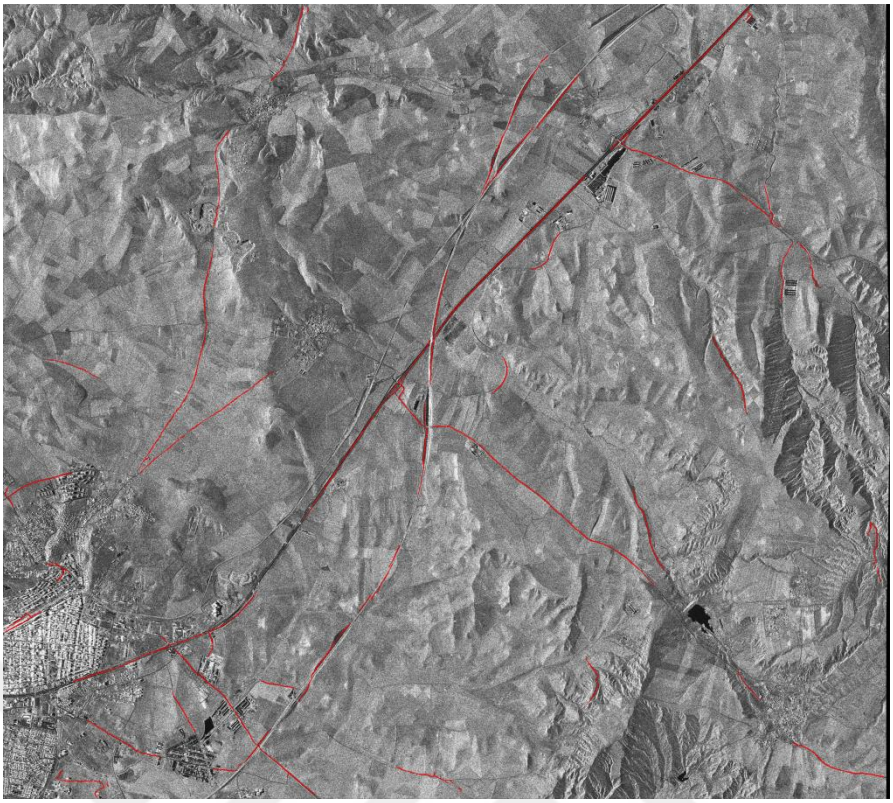


(a)

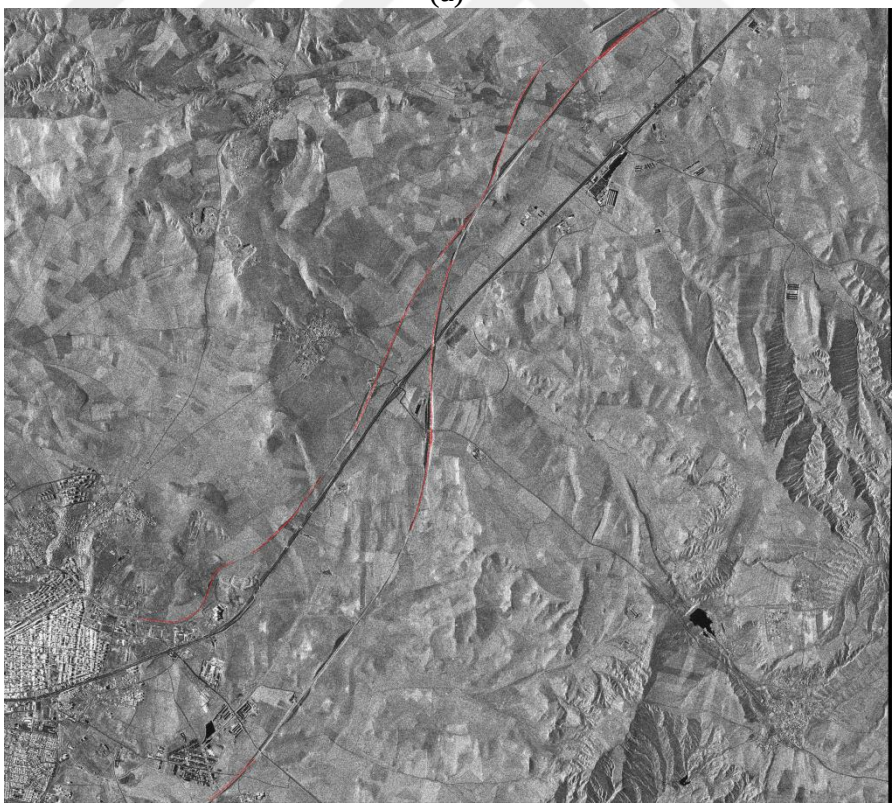


(b)

Şekil 5.7. İlk bölgenin küçültülmüş görüntüsü için örnek sonuç a) tespit edilen oto yolları (tamlık: 70.74 doğruluk: 40.10), b) tespit edilen tren yolları (tamlık: 68.26 doğruluk: 76.11).



(a)



(b)

Şekil 5.8. İlk bölgenin küçültülmüş görüntüsü için örnek sonuç a) tespit edilen oto yolları (tamlık: 65.64 doğruluk: 51.34), b) tespit edilen tren yolları (tamlık: 55.66 doğruluk: 91.07).

(a)

(b)

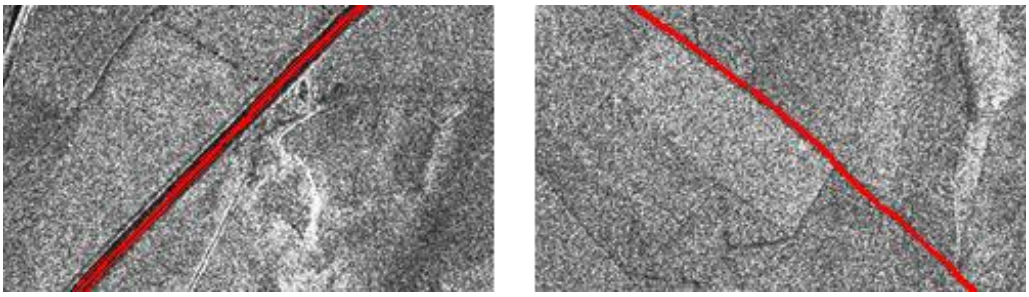
Şekil 5.9. İkinci bölgenin küçültülmüş görüntüsü için örnek sonuç a) tespit edilen yollar (tamlık: 62.43 doğruluk: 19.81), b) tespit edilen tren yolları (tamlık: 88.84 doğruluk: 74.07).

(a)

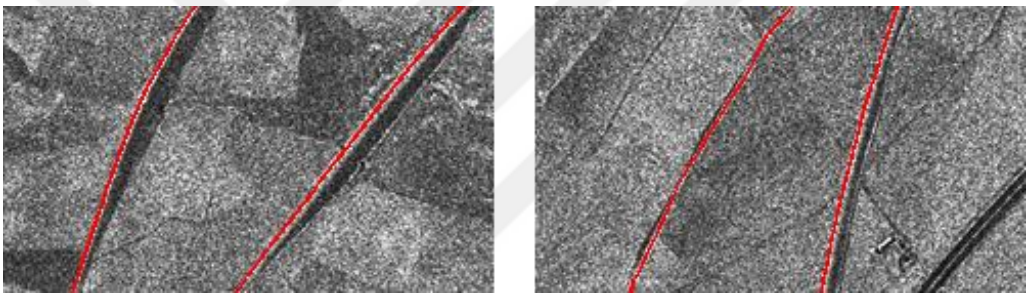
(b)

Şekil 5.10. İkinci bölgenin küçültülmüş görüntüsü için örnek sonuç a) tespit edilen yollar (tamlık: 56.99 doğruluk: 25.30), b) tespit edilen tren yolları (tamlık: 80.49 doğruluk: 88.76).

Küçültülmüş görüntülerdeki tespit edilen otoyolların ve tren yollarının ayrıntıları Şekil 5.11 ve Şekil 5.12'de gösterilmektedir. Şekiller de tespit edilen otoyolları ve tren yolları kırmızı çizgiler ile gösterilmektedir.



Şekil 5.11. Küçültülmüş görüntüdeki tespit edilen otoyolların ayrıntıları.



Şekil 5.12. Küçültülmüş görüntüdeki tespit edilen tren yollarının ayrıntıları.

5.5. ORİJİNAL BOYUTLARDAKİ GÖRÜNTÜLER İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

Önerilen yöntem genel hatları ile orijinal boyutlardaki SAR görüntülerinede uygulanmıştır. Büyük boyutlarından dolayı bu görüntülerin işlem süresi fazla olduğu için yapılan işlemler TÜBİTAK ULAKBİM, Yüksek Başarım ve Grid Hesaplama Merkezi'nde (TRUBA kaynaklarında) gerçekleştirilmiştir. Orijinal görüntüler üzerindeki otoyolları ve tren yolları, küçültülmüş boyutlu görüntülerdekinden daha büyük boyutlara sahip oldukları için önerilen yöntemin bazı işlem adımlarında değişiklikler yapılmıştır. Yapılan değişiklikler;

- Görüntü üzerindeki gürültülerin temizlenmesi için 5x5 boyutlarında bir Gauss filtresi kullanılmıştır.

- Otoyol ve tren yolu segmentlerinin tespiti işleminde p_{esik} değeri olarak 0.2 değeri kullanılmıştır. Bölge büyüklük değerleri olarak da daha büyük değerler kullanılmıştır. Yükseklik değeri olarak 151 piksel kullanılmıştır. Otoyolları için birinci bölgenin genişlikleri 11 ve 31 piksel, ikinci ve üçüncü bölgelerin genişlikleri 10 ve 30 piksel olarak kabul edilmiştir. Tren yolları için birinci bölgenin genişlikleri 11 ve 17 piksel, ikinci ve üçüncü bölgelerin genişlikleri 10 ve 16 piksel olarak kabul edilmiştir.

- Otoyol ve tren yolu segmentlerinin tespiti işleminden sonra çevresinde otoyol ve tren yolu olarak bulunan piksel sayısı fazla olan piksellerde bu otoyol ve tren yollarına dahil edilmiş böylece yollar genişletilmiştir. Genişletme işleminden sonra büyüklüğü 200 piksel veya daha küçük olan segmentler silinmiştir.

- Tespit edilen otoyol ve tren yolu segmentlerinin birleştirilme işleminde t_{esik} değeri olarak 300 piksel değeri kullanılmıştır ve 121x121 piksellik bir bölgede arama yapılmıştır. Birleştirme işleminden sonra büyüklüğü 4000 piksel veya daha küçük olan segmentler silinmiştir.

- Hat analizi işleminde otoyolları için e_1= 3700 ve e_2=11800, tren yolları için e_1= 1650 ve e_2=11800 olarak kabul edilmiştir. Daha büyük bir çerçeve kullanılmıştır. Otoyollar için kullanılan çerçevenin yüksekliği 701 piksel, orta bölgesinin genişliği 31 piksel ve yan bölgelerinin genişliği 60 pikseldir. Tren yolları için kullanılan çerçevenin yüksekliği 701 piksel, orta bölgesinin genişliği 17 piksel ve yan bölgelerinin genişliği 60 pikseldir.

- δ değeri olarak 4000 piksel değeri kullanılmıştır.

- Elde edilen sonuçların karşılaştırılması için orijinal boyutlardaki referans otoyolları ve tren yolları kullanılmıştır

İlk bölge ve ikinci bölge için orijinal boyutlardaki SAR görüntüleri kullanılarak elde edilen sonuçlar Çizelge 5.13, Çizelge 5.14, Çizelge 5.15 ve Çizelge 5.16'da verilmektedir.

Çizelge 5.13. Orijinal görüntüler kullanılarak ilk bölgenin otoyolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=300).

δ	Birleştirmeden Sonra		Hat Analizinden Sonra		Temizlemeden Sonra	
	Tamlık	Doğruluk	Tamlık	Doğruluk	Tamlık	Doğruluk
4000	78.12	9.60	70.45	9.95	66.83	10.43

Çizelge 5.14. Orijinal görüntüler kullanılarak ilk bölgenin tren yolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=300).

δ	Birleştirmeden Sonra		Hat Analizinden Sonra		Temizlemeden Sonra	
	Tamlık	Doğruluk	Tamlık	Doğruluk	Tamlık	Doğruluk
4000	56.46	8.94	55.41	9.94	54.24	11.08

Çizelge 5.15. Orijinal görüntüler kullanılarak ikinci bölgenin otoyolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=300).

δ	Birleştirmeden Sonra		Hat Analizinden Sonra		Temizlemeden Sonra	
	Tamlık	Doğruluk	Tamlık	Doğruluk	Tamlık	Doğruluk
4000	76.12	9.33	69.87	9.76	67.77	10.33

Çizelge 5.16. Orijinal görüntüler kullanılarak ikinci bölgenin tren yolları için elde edilen sonuçları (t_{esik}=300).

δ	Birleştirmeden Sonra		Hat Analizinden Sonra		Temizlemeden Sonra	
	Tamlık	Doğruluk	Tamlık	Doğruluk	Tamlık	Doğruluk
4000	65.35	10.11	62.36	12.22	62.22	15.71

Elde edilen sonuçları karşılaştırdığımızda;

- İki bölge için elde edilen sonuçları küçültülmüş boyutlardaki görüntüler kullanılarak elde edilen sonuçlar ile karşılaştırdığımızda, küçültülmüş boyutlardaki görüntüler kullanılarak elde edilen sonuçların doğruluk

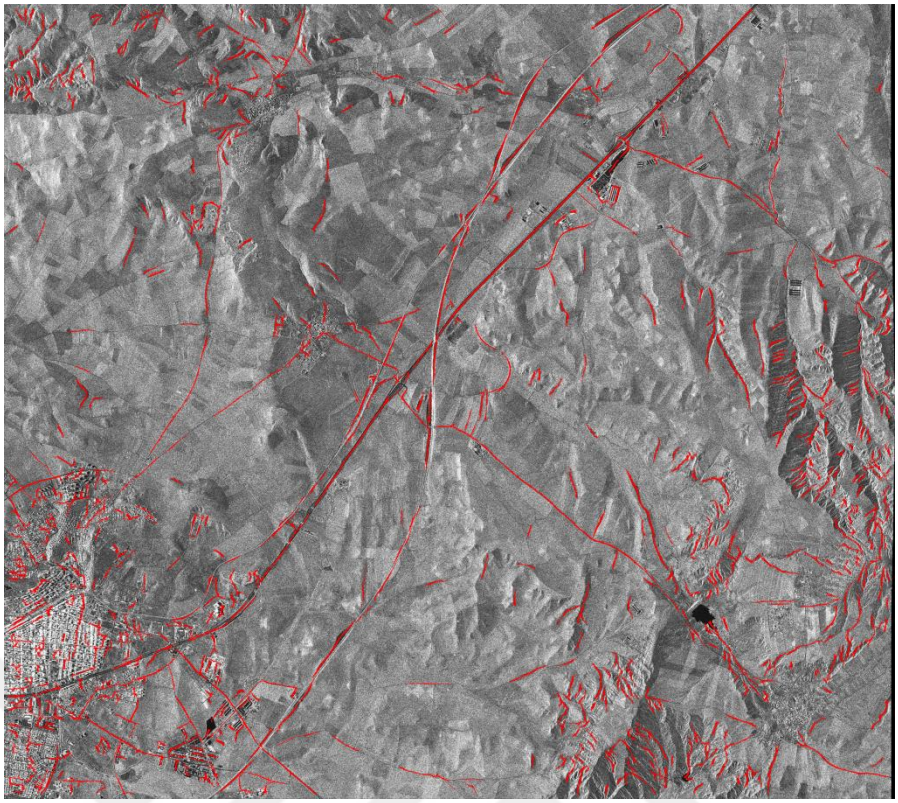
değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. Tamlık değerlerinin de genel olarak daha yüksek olduğu görülmektedir.

- İlk bölgede otoyolları için elde edilen tamlık değerleri tren yolları için elde edilenlerden daha yüksektir. Otoyolları için elde edilen doğruluk değerlerinden de temizlemeden önceki değerler tren yolları için elde edilenlerden daha yüksektir.

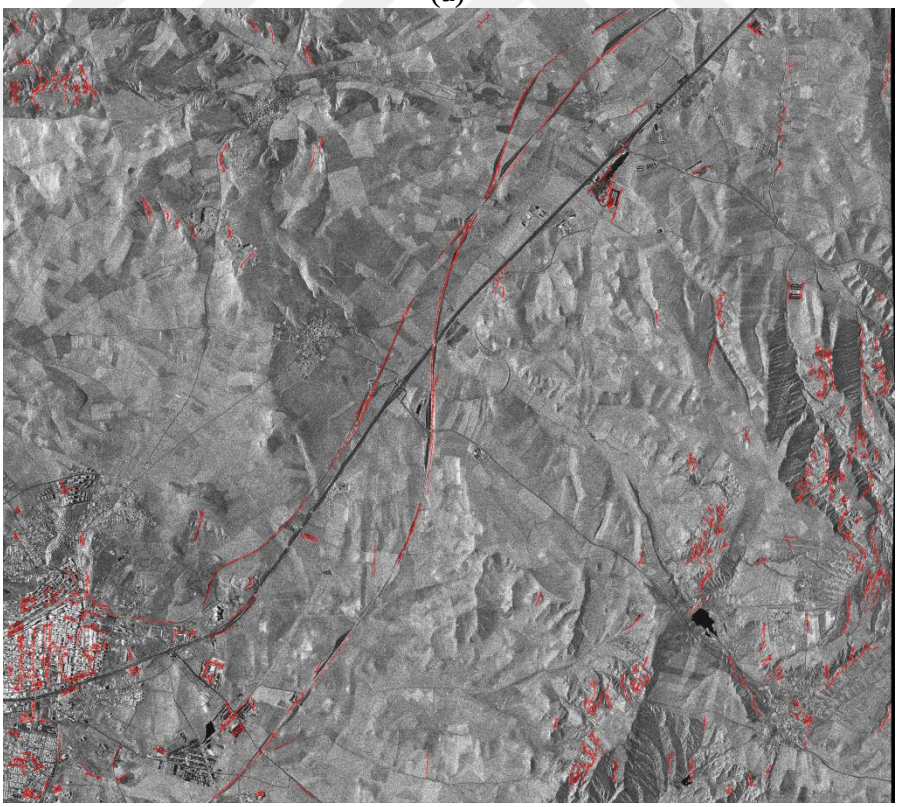
- İkinci bölgede otoyolları için elde edilen tamlık değerleri tren yolları için elde edilenlerden daha yüksektir ancak doğruluk değerleri daha düşüktür.

- İki bölgede de hat analizi ve temizleme işlemlerinden sonra tamlık değeri azalmakta fakat doğruluk değeri artmaktadır.

İlk bölge ve ikinci bölge ile ilgili örnek sonuçlar Şekil 5.13 ve Şekil 5.14'de gösterilmektedir. Şekillerde tespit edilen otoyolları ve tren yolları kırmızı çizgiler ile gösterilmektedir.

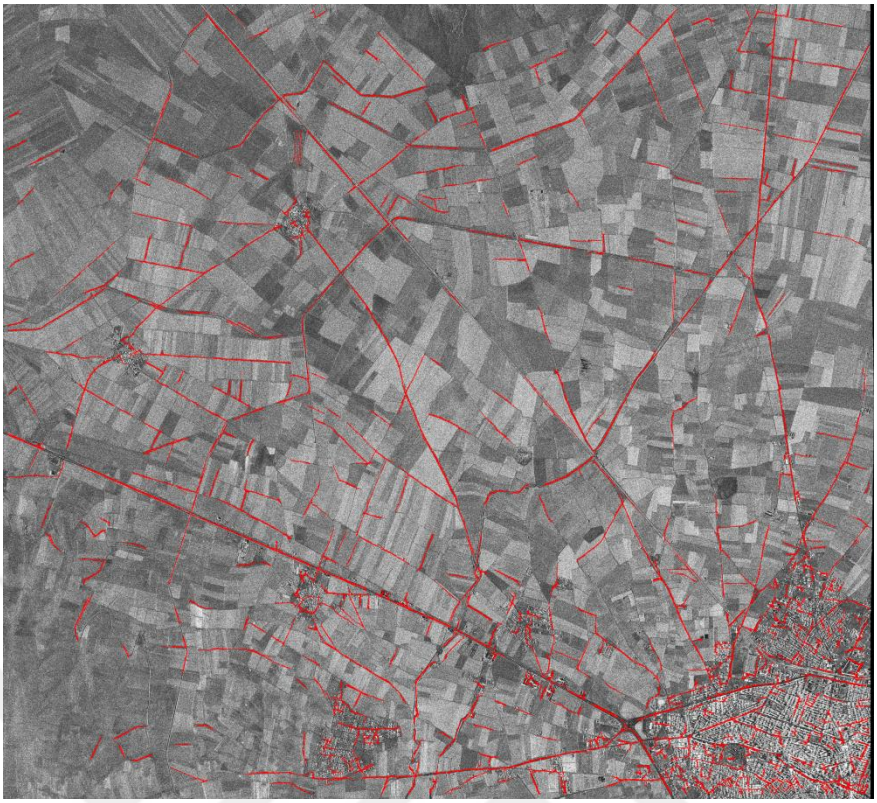


(a)

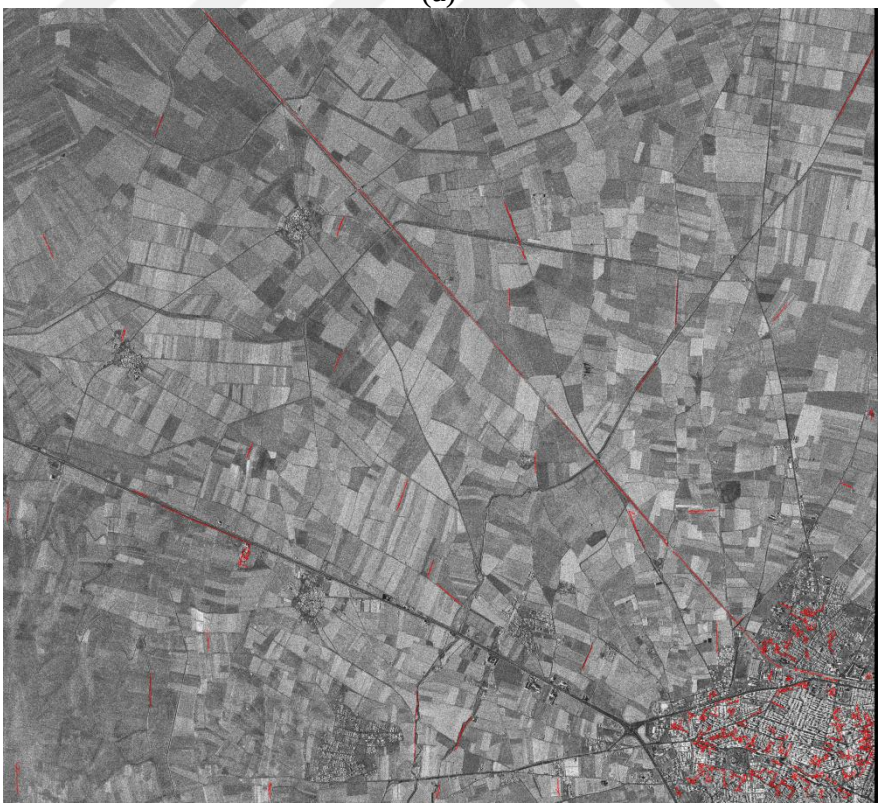


(b)

Şekil 5.13. İlk bölgenin orijinal görüntüsü için örnek sonuç a) tespit edilen oto yolları (tamlık: 66.83 doğruluk: 10.43), b) tespit edilen tren yolları (tamlık: 54.24 doğruluk: 11.08).



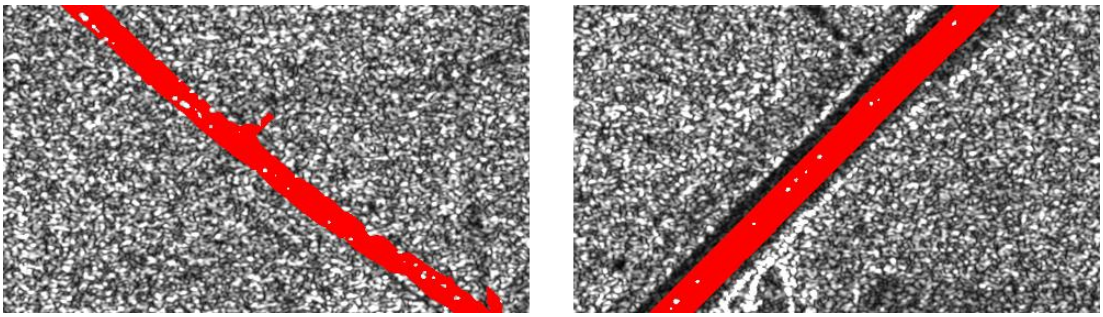
(a)



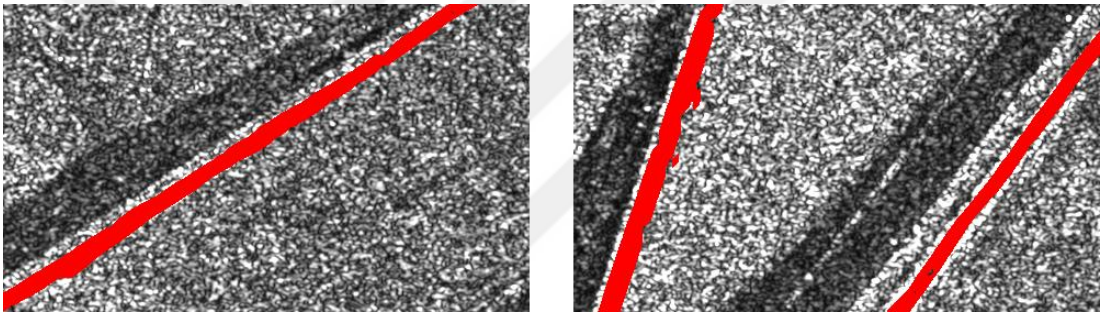
(b)

Şekil 5.14. İkinci bölgenin orijinal görüntüsü için örnek sonuç a) tespit edilen oto yolları (tamlık: 67.77 doğruluk: 10.33), b) tespit edilen tren yolları (tamlık: 62.22 doğruluk: 15.71).

Orijinal görüntülerdeki tespit edilen otoyolların ve tren yollarının ayrıntıları Şekil 5.15 ve Şekil 5.16'da gösterilmektedir. Şekiller de tespit edilen otoyolları ve tren yolları kırmızı çizgiler ile gösterilmektedir.



Şekil 5.15. Orijinal görüntüdeki tespit edilen otoyolların ayrıntıları.



Şekil 5.16. Orijinal görüntüdeki tespit edilen tren yollarının ayrıntıları.

5.6. ORİJİNAL BOYUTLARINA GERİ DÖNDÜRÜLEN GÖRÜNTÜLER İLE ELDE EDİLEN SONUÇLAR

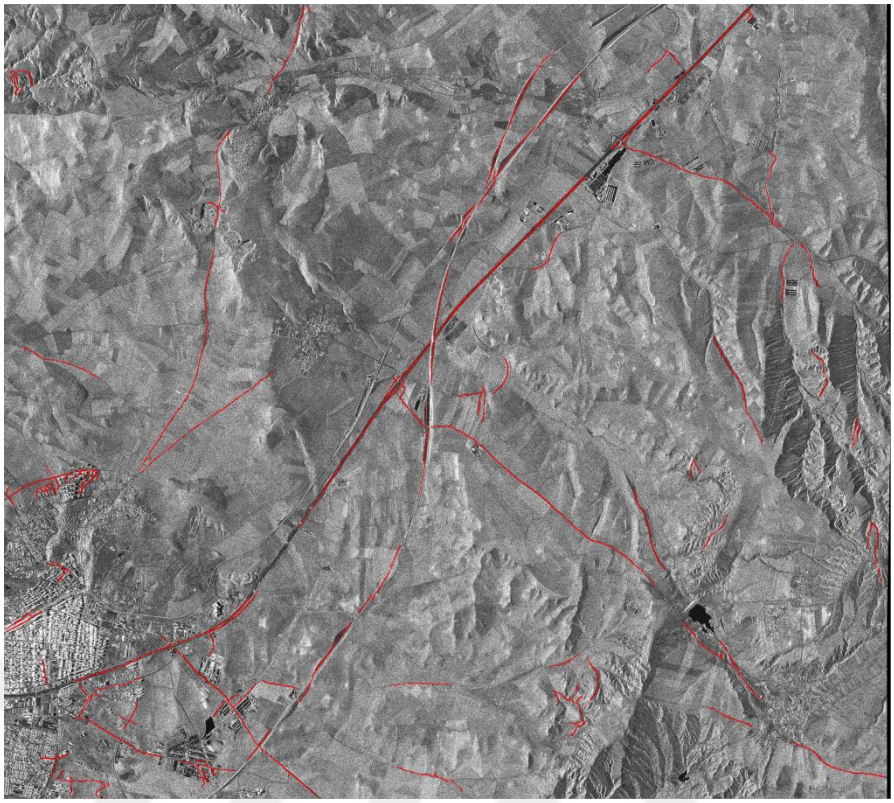
Küçültülmüş SAR görüntüleri ile elde edilen sonuçlar tekrar orijinal boyutlarına geri döndürülüp, yolların arasındaki boşluklar doldurulduktan sonra, orijinal boyutlardaki referans otoyolları ve tren yolları ile karşılaştırılmıştır. Yolların arasındaki boşlukları doldurmak için çevresinde otoyol ve tren yolu olarak bulunan piksel sayısı fazla olan piksellerde bu otoyol ve tren yollarına dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar Çizelge 5.17'de verilmektedir. Otoyolları için t_{esik}=30, δ=400 piksel olan sonuçlar, tren yolları için t_{esik}=30, δ=300 olan sonuçlar orijinal boyutlarına geri döndürülüp karşılaştırılmıştır.

Çizelge 5.17. Orijinal boyutlarına geri döndürülen görüntüler kullanılarak elde edilen sonuçlar.

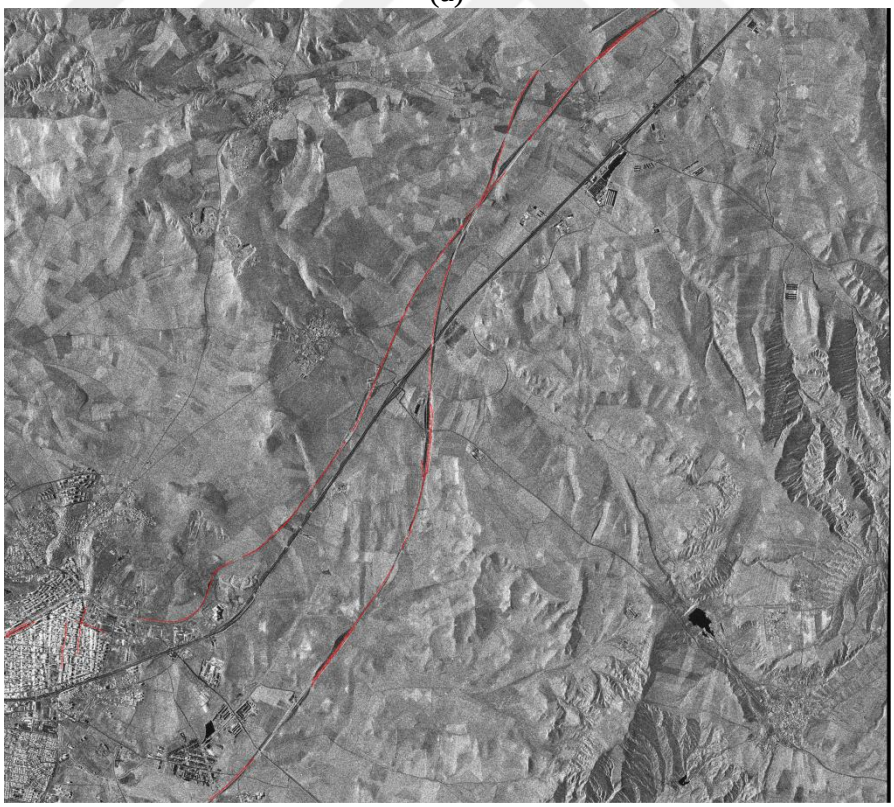
Görüntü	Yol Türü	Tamlık	Doğruluk
1	Otoyol	57.04	32.70
1	Tren Yolu	49.79	57.04
2	Otoyol	51.60	16.58
2	Tren Yolu	67.13	71.81

Elde edilen sonuçlar incelendiğinde, orijinal boyutlarına geri döndürülen görüntüler ile elde edilen sonuçların küçültülmüş boyutlardaki görüntüler ile elde edilen sonuçlardan daha düşük tamlık ve doğruluk değerlerine sahip olduğu görülmektedir.

İlk bölge ve ikinci bölge ile ilgili örnek sonuçlar Şekil 5.17 ve Şekil 5.18'de gösterilmektedir. Şekiller de tespit edilen otoyolları ve tren yolları kırmızı çizgiler ile gösterilmektedir.



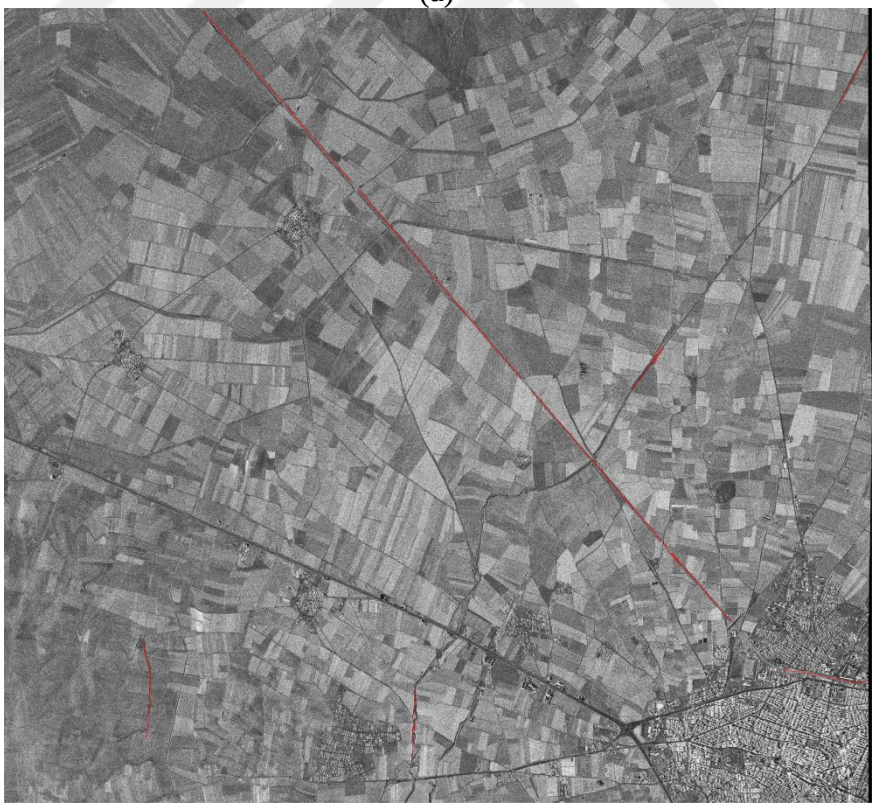
(a)



(b)

Şekil 5.17. İlk bölgenin orijinal boyutlarına geri döndürülen görüntüsü için örnek sonuç a) tespit edilen oto yolları (tamlık: 57.04 doğruluk: 32.70), b) tespit edilen tren yolları (tamlık: 49.79 doğruluk: 57.04).

(a)



(b)

Şekil 5.18. İkinci bölgenin orijinal boyutlarına geri döndürülen görüntüsü için örnek sonuç a) tespit edilen oto yolları (tamlık: 51.60 doğruluk: 16.58), b) tespit edilen tren yolları (tamlık: 67.13 doğruluk: 71.81).

BÖLÜM 6

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, yapay açıklıklı radar görüntüleri üzerindeki otoyol ve tren yolu ağlarını tespit etmeye yönelik bir yöntem önerilmektedir. Önerilen yöntem genel olarak yapay açıklıklı radar görüntüsü üzerindeki gürültülerin temizlenmesi, otoyol ve tren yolu segmentlerinin bulunması, tespit edilen segmentlerin birleştirilmesi ve gerçekte bir otoyol veya tren yolu ağının parçası olmayan segmentlerin silinmesi için geliştirilen hat analizi işlemlerinden oluşmaktadır. Gürültülerin temizlenmesi için Gauss filtresi kullanılmıştır. Otoyol ve tren yolu segmentlerinin tespiti için daha önceden önerilen bir yöntem bazı kurallar eklenerek kullanılmıştır. Tespit edilen segmentlerin birleştirilmesi için algısal organizasyon faydalanılmıştır. Hat analizi işlemi için yolların lineerliğine ve eğriselliğine dayanan yeni bir yöntem sunulmuştur. Görüntülerin üzerindeki otoyol ve tren yolu ağları ayrı ayrı tespit edilmiştir. Önerilen yöntem uygulanırken farklı özelliklerinden dolayı otoyolları ve tren yolları için farklı eşik değerleri ve kurallar kullanılmıştır. Önerilen yöntem iki farklı yapay açıklıklı radar görüntüsü üzerinde test edilmiştir. Elde edilen sonuçları değerlendirmek için tamlık ve doğruluk değerleri hesaplanmış ve karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmaların değerlendirmeleri beşinci bölümde ayrıntılı bir şekilde verilmiştir.

Tez kapsamında aşağıda belirtilen akademik çalışmalar gerçekleştirilmiştir;

- Proje: “Çeşitli Yöntemler Kullanarak Yapay Açıklıklı Radar Görüntülerinde Yol ve Tren Yolu Ağı Tespiti”, Ankara Yıldırım Beyazıt Üniversitesi Ön Bilimsel Araştırma Projesi, Araştırmacı, Proje No: 631, (Şubat 2014-Ağustos 2015).

- Uluslararası Makale: “Road detection using classification algorithms”, Journal of Computers, 10 (3): 147-154 (2015).

- Uluslararası Makale: “Effect of threshold values used for road segments detection in SAR images on road network generation”, International Journal of Advanced Computer Science and Applications, 8 (5): 287-291 (2017).

Literatürde SAR görüntülerindeki otoyolları tespit etmeye yönelik yapılmış bir çok çalışma bulunmasına rağmen tren yollarını tespit etmeye yönelik yapılmış az sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmanın, özellikle SAR görüntülerindeki tren yollarını tespit etmek için geliştirilen otomatik bir yöntem sunduğu için sonraki çalışmalara ışık tutacağı düşünülmektedir.

Önerilen yöntem genel olarak lineer ve eğrisel yapıları bulma üzerine geliştirildiğinden, otoyol ve tren yolu dışındaki diğer lineer veya eğrisel yapıların, oluşumların, nesnelerin vb. tespitine de uyarlanabilir. Bu açıdan farklı çalışmalar için de bir kaynak oluşturacaktır.

Ayrıca çalışmadaki SAR görüntülerinin yanında ek olarak optik görüntüler de kullanılırsa daha başarılı sonuçlar elde edileceği düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

1. Moreira, A., Prats-Iraola, P., Younis, M., Krieger, G., Hajnsek, I. and Papathanassiou, K. P., "A tutorial on synthetic aperture radar", ***IEEE Geosci. Remote Sensing Mag.***, 1 (1): 6-43 (2013).

2. Serbest, K., "Yüksek çözünürlüklü radarlar ile hedef tanıma", Yüksek Lisans Tezi, ***Deniz Harp Okulu Deniz Bilimleri ve Mühendisliği Enstitüsü***, İstanbul, (2007).

3. Eryıldırım, A., "Methods for automatic target classification in RADAR", Yüksek Lisans Tezi, ***Bilkent Üniversitesi Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, (2009).

4. Yusufoğlu, M. H., "Yapay açıklıklı radar görüntülerinde hareketli hedef tespiti", Yüksek Lisans Tezi***, İstanbul Teknik Üniversitesi Bilişim Enstitüsü***, İstanbul, (2013).

5. Demirhan, M. E., "Sentetik açıklıklı radar görüntülerinde otomatik hedef tanıma", Yüksek Lisans Tezi, ***Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, (2016).

6. Bozkurt, H., "Kenar koruyan görüntü ayrışım yöntemleri ile SAR görüntülerinde otomatik hedef sınıflama performansının arttırılması", Yüksek Lisans Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, (2016).

7. Özküralpli, İ., "Trakya Meriç havzasındaki çeltik ekili alanlarda ürün gelişiminin çok zamanlı radar uydu görüntü verileri yardımıyla izlenmesi", Yüksek Lisans Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, (2006).

8. Esetlili, M. T., "Sentetik açıklıklı radar (mikrodalga) uydu görüntüleri kullanılarak toprak özelliklerinin belirlenebilirliği üzerine bir araştırma", Doktora Tezi, ***Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İzmir, (2008).

9. Yılmaz, M., "Active microwave remote sensing of soil moisture: a case study in Kurukavak basin", Doktora Tezi, ***ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, (2008).

10. Akar, S., "Offshore oil slick detection with remote sensing techniques", Yüksek Lisans Tezi, ***ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, (2007).

11. Akkartal, A. F., "Denizlerdeki yağ tabakasının izlenmesinde radar uydu görüntülerinin kullanımı", Yüksek Lisans Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, (2007).

12. Demirci, Ş., “Yapay açıklıklı radar (sar) görüntülerinde istenmeyen yankıların giderilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Mersin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Mersin, (2005).

13. Özcan, C., “Yerel olmayan ortalama filtre ile karma normlar kullanılarak sar görüntü gürültüsü azaltma”, Doktora Tezi, ***Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Karabük (2015).

14. Köse, M. H., “Uydu radar görüntülerinden üç boyutlu sayısal arazi modelin üretilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, ***Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Konya, (2006).

15. Şahin, H. İ., “Comparative evaluation of SAR image formation algorithms”, Yüksek Lisans Tezi, ***ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, (2010).

16. Altın, M. U., “Yapay açıklıklı radar görüntülerindeki atmosferik bozuklukların küresel konum belirleme sistemi ile düzeltilmesi”, Doktora Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, (2013).

17. Uslu, E., “Uzay-frekans gösterimleri ile sentetik açıklık radar görüntülerinin işlenmesi”, Doktora Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul, (2013).

18. Arısoy, S., “Uzaktan algılama görüntülerinin süperpiksel tabanlı sınıflandırılması”, Yüksek Lisans Tezi, ***Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Gebze, (2016).

19. Babayiğit, S., “Muradiye (Van) ovasındaki yüzey deformasyonlarının sar interferometrisi yöntemiyle araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, ***Yüzüncü Yıl Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Van (2011).

20. Köksal, E., “Yüzey deformasyonlarının diferansiyel insar tekniği ile belirlenmesi:İsmetpaşa örneği”, Doktora Tezi, ***Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, Zonguldak (2011).

21. Abdikan, S., “Monitoring of land surface subsidence in Zonguldak coal mining field in the northern turkey using multi temporal sar interferometry”, Doktora Tezi, ***Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul (2012).

22. Yılmaztürk, S., “Sbas-insar yöntemiyle düşey yönlü yüzey deformasyonlarının belirlenmesi Bursa-Orhaneli linyit madeni örneği”, Yüksek Lisans Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul (2015).

23. Çetin, E., “Analysis and modeling of crustal deformation using insar time series along selected active faults wıithin the africa-eurasia convergence zone”, Doktora Tezi, ***İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü***, İstanbul (2015).

24. Özkaya, M., “Road extraction from high-resolution satellite images”, Yüksek Lisans Tezi, ***ODTÜ Enformatik Enstitüsü***, Ankara, (2009).

25. Dursun, M., “Road detection by mean shift segmentation and structural analysis”, Yüksek Lisans Tezi, ***ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, (2012).

26. Çinar, U., “Road extraction from high resolution satellite images using adaptive boosting with multi-resolution analysis”, Yüksek Lisans Tezi, ***ODTÜ Enformatik Enstitüsü***, Ankara, (2012).

27. Şahin, E., “Road extraction from satellite images by self-supervised classification and perceptual grouping”, Yüksek Lisans Tezi, ***ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü***, Ankara, (2013).

28. Tupin, F., Maitre, H., Mangin, J. F., Nicolas, J. M. and Pechersky, E., “Detection of linear features in SAR images: application to road network extraction”, ***IEEE Trans. on Geosci. Remote Sens.***, 36 (2): 434-453 (1998).

29. Chanussot, J., Mauris, G. and Lambert, P., “Fuzzy fusion techniques for linear features detection in multitemporal SAR images”, ***IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.***, 37 (3): 1292-1305 (1999).

30. Dell’Acqua, F. and Gamba, P., “Detection of urban structures in SAR images by robust fuzzy clustering algorithms: the example of street tracking”, ***IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.***, 39 (10): 2287-2297 (2001).

31. Jeon, B., Jang, J. and Hong, K., “Road detection in spaceborne SAR images using a genetic algorithm”, ***IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.***, 40 (1): 22-29 (2002).

32. Gamba, P., Dell’Acqua, F. and Lisini, G., “Improving urban road extraction in high-resolution images exploiting directional filtering, perceptual grouping, and simple topological concepts”, ***IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.***, 3 (3): 387-391 (2006).

33. Borghys, D., Yvinec, Y., Perneel, C., Pizurica, A. and Philips, W., “Supervised feature-based classification of multi-channel SAR images”, ***Pattern Recognition Lett.***, 27 (4): 252-258 (2006).

34. Guo, Y., Bai, Z., Li, Y. and Liu Y., “Genetic algorithm and region growing based road detection in SAR images”, ***Third Int. Conference on Natural Computation***, Haikou, 330-334 (2007).

35. Chaabouni-Chouayakh, H. and Datcu, M., “Coarse-to-fine approach for urban area interpretation using TerraSAR-X data”, ***IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.***, 7(1): 78-82 (2010).

36. Deng, X., He, C. and Sun H., “An improved GVF snake model and its application to linear feature extraction from SAR images”, ***IEEE 10th Int. Conference on Signal Processing***, Beijing, China, 2063-2066 (2010).

37. Song, Q., Wang, Y., Shi, Y. and Jin, T., “A new road extraction approach for low-frequency sar images based on road appurtenance detection”, ***IEEE Int. Geosci. and Remote Sens. Symposium***, Vancouver, Canada, 2389-2392 (2011).

38. Salari, E. and Zhu, Y., “A road extraction method using beamlet transform”, ***IEEE Int. Conference on Electro/Information Technology***, Indianapolis, USA, 1-4 (2012).

39. Cheng, J., Ding, W., Ku, X. and Sun, J., “Road extraction from high-resolution SAR images via automatic local detecting and human-guided global tracking”, ***Int. Journal of Antennas and Propagation***, (2012).

40. He, C., Liao, Z., Yang, F., Deng, X. and Liao, M., “Road extraction from SAR imagery based on multiscale geometric analysis of detector responses”, ***IEEE J. Sel. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens.***, 5 (5): 1373-1382 (2012).

41. Zhang, X., Chen, Y., Jia, M., Tong, L., Lu, Y. and Cao, Y., “The study of road damage detection based on high-resolution sar image”, ***IEEE Int. Geosci. and Remote Sens. Symposium***, Melbourne, Australia, 2633-2636 (2013).

42. Jacob, A. and Ban, Y., “Urban land cover mapping with terrasar-x using an edge-aware region-growing and merging algorithm”, ***IEEE Int. Geosci. and Remote Sens. Symposium***, Quebec City, Canada, 4836-4839 (2014).

43. Rossetti, G., Prati, C. and Rucci, A., “Monitoring the urban environment with multitemporal sar data”, ***IEEE Radar Conference***, Arlington, USA, 622-627 (2015).

44. Gorovyi, I., Bezvesilniy, O. and Vavriv, D., “Multi-look sar processing with road location and moving target parameters estimation”, ***16th Int. Radar Symposium***, Dresden, Germany, 581-586 (2015)

45. Saati, M., Amini, J. and Maboudi, M., “A method for automatic road extraction of high resolution SAR imagery”, ***Journal of the Indian Society of Remote Sensing***, 43 (4): 697-707 (2015).

46. Xiao, F., Chen, Y., Tong, L., He, L., Tan, L. and Wu, B., “Road detection in high-resolution SAR images using Duda and path operators”, ***IEEE Int. Geosci. and Remote Sens. Symposium***, Beijing, China, 1266-1269 (2016).

47. Mu, H., Zhang, Y., Li, H., Guo, Y. and Zhuang, Y., “Road extraction based on ZERNIKE algorithm on SAR images”, ***IEEE Int. Geosci. and Remote Sens. Symposium***, Beijing, China, 1274-1277 (2016).

48. Cheng, J., Ding, W., Zhu, X. and Gao, G., "GPU-accelerated main road extraction in polarimetric SAR images based on MRF", ***42nd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society***, Florence, Italy, 928-932 (2016).

49. Jiang, M., Miao, Z., Gamba, P. and Yong, B., "Application of multitemporal inSAR coveriance and information fusion to robust road extraction", ***IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.***, 55 (6): 3611-3622 (2017).

50. Hellwich, O. and Streck, C., "Linear structures in SAR coherence data", ***Int. Geosci. and Remote Sens. Symposium***, Lincoln, USA, 1: 330-332 (1996).

51. Franceschettia, G., Iodice, A. and Tesauroa, M., "From image processing to feature processing", ***Signal Processing***, 60 (1): 51-63 (1997).

52. Pigeon, L., Solaiman, B., Thomson, K. P. B., Moulin, B. and Toutin, T., "Human-experts rules modeling for linear planimetric features extraction in a remotely sensed images data fusion context", ***IEEE Int. Geosci. and Remote Sens. Symposium***, Hamburg, Germany, 5: 2369-2371 (1999).

53. Okman, O. E., Nar F. and Demirkesen, C., "Feature preserving sar despeckling and its parallel implementation with application to railway detection", ***9th European Conference on Synthetic Aperture Radar***, Nuremberg, Germany, 151-154 (2012).

54. Liu, F., Shia, J., Jiao, L., Liu, H., Yang, S., Wu, J., Hao, H. and Yuan, J., "Hierarchical semantic model and scattering mechanism based PolSAR image classification", ***Pattern Recognition***, 59: 325-342 (2016).

55. Jin, R., Zhou, W., Yin, J. and Yang, J., "CFAR line detector for polarimetric SAR images using Wilks' test statistic", ***IEEE Geosci. Remote Sens. Lett***., 13 (5): 711-715 (2016).

56. Curran, P. J., "Principles of Remote Sensing", ***Longman Scientific & Technical***, Hong Kong, 8-9 (1986).

57. Sunar, F., Özkan, C. ve Osmanoğlu, B., "Uzaktan Algılama", ***Anadolu Üniversitesi***, Eskişehir, 6,11-13, 84-85 (2016).

58. Richards, M. A., Scheer, J. A. and Holm, W. A., "Principles of Modern Radar: Basic Principles", ***Scitech Publishing***, USA, 5-7 (2010).

59. İnternet: Natural Resources Canada, "The Electromagnetic Spectrum", **http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/14623** (2017).

60. Çakır, G., "Elektromanyetik Dalga Teorisi Ders Notları", ***Kocaeli Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği Bölümü***, Kocaeli (2017).

61. İnternet: Türk Hava Kuvvetleri, "Çözünürlük Değerleri", **https://www.hvkk.tsk.tr/tr-tr/Havacılık_Köşesi/Özel_Siteler/Keşif_Uydu_Komutanlığı/Genel_Bilgiler/Çözünürlük_Değeri** (2017).

62. Chan, Y. K. and Koo, V. C., "An introduction to synthetic aperture radar", ***Progress In Electromagnetics Research B***, 2: 27-60 (2008).

63. Skolnik, M. I., "Introduction to Radar Systems", ***McGraw-Hill***, Signapore, 12-13 (1980).

64. Melvin, W. L. and Scheer, J. A., "Principles of Modern Radar: Radar Applications", ***Scitech Publishing***, USA, 7 (2014).

65. İnternet: Natural Resources Canada, "Viewing Geometry and Spatial Resolution", **http://www.nrcan.gc.ca/earth-sciences/geomatics/satellite-imagery-air-photos/satellite-imagery-products/educational-resources/9341** (2017).

66. Abdikan, S., "Uzaktan Algılama Ders Notları", ***Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü***, Zonguldak (2017).

67. İnternet: Airbus Defence and Space, "TerraSAR-X Image Product Guide", **http://www.intelligence-airbusds.com/files/pmedia/public/r459_9_201408_tsxx-itd-ma-0009_tsx-productguide_i2.00.pdf** (2017).

68. İnternet: Europen Space Agency, "Sentinel-1 SAR Technical Guide", **https://sentinel.esa.int/web/sentinel/technical-guides/sentinel-1-sar** (2017).

69. İnternet: National Remote Sensing Centre Indian Space Research Organisation, "RISAT-1", **https://www.nrsc.gov.in/Remote_Sensing_Data_Policy?q=RISAT-1** (2017).

70. İnternet: National Remote Sensing Centre Indian Space Research Organisation, "RISAT-2", **https://www.nrsc.gov.in/Remote_Sensing_Data_Policy?q=RISAT-2** (2017).

71. İnternet: Canadian Space Agency, "RADARSAT-2", **http://www.asc-csa.gc.ca/eng/satellites/radarsat2** (2017).

72. İnternet: Japan Aerospace Exploration Agency Earth Observation Research Center, "ALOS-2 Project / PALSAR-2", **http://www.eorc.jaxa.jp/ALOS-2/en/about/palsar2.htm** (2017).

73. Altay Açar, Ş. and Bayır Ş., "Effect of threshold values used for road segments detection in SAR images on road network generation", ***Int. Journal of Advanced Computer Science and Applications***, 8 (5): 287-291 (2017).

74. Lowe, D. G., "Perceptual organization and visual recognition", Doctor of Philosophy Thesis, ***Stanford University***, Stanford, 4, 22 (1984).

75. Heipke, C., Mayer, H., Wiedemann, C. and Jamet, O., " Evaluation of automatic road extraction", ***Int. Archives of Photogrammetry and Remote Sens.***, 32: 47-56 (1997).

ÖZGEÇMİŞ

Şafak ALTAY AÇAR 1986 yılında Erzurum'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Zonguldak'ın Devrek ilçesinde tamamladı. 2004 yılında Süleyman Demirel Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü Bilgisayar Sistemleri Öğretmenliği Programı'nda lisans öğrenimine başladı. 2008 yılında mezun oldu. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Anabilim Dalı'nda yaptığı yüksek lisansını bitirerek mezun oldu. 2009 ve 2017 yılları arasında Karabük Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik ve Bilgisayar Eğitimi Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalıştı. 2017 yılından itibaren de aynı üniversitenin Teknoloji Fakültesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü'nde araştırma görevlisi olarak çalışmaya devam etmektedir. 2011 yılında Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı'nda başladığı doktora öğrenimi 2017 yılında tamamladı.

ADRES BİLGİLERİ

Adres : Karabük Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi
Mekatronik Mühendisliği Bölümü
Demir Çelik Kampüsü / KARABÜK
Tel : (554) 617 4183
E-posta : safakaltay@karabuk.edu.tr