

**SAR İMGELERİNDE GÖZETİMSİZ SINIFLANDIRMA
YÖNTEMLERİ İLE ARAZİ ÖRTÜSÜ SINIFLANDIRMASI**

**LAND COVER CLASSIFICATION FOR SAR IMAGERY
USING UNSUPERVISED METHODS**

DUYGU YUMUŞ

DR. ÖĞR. ÜYESİ YAKUP ÖZKAZANÇ
Tez Danışmanı

Hacettepe Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim – Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin
Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı İçin Öngördüğü
YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak hazırlanmıştır.

2019

DUYGU YUMUŞ'un hazırladığı "SAR İmgelerinde Denetimsiz Sınıflandırma Yöntemleri ile Arazi Örtüsü Sınıflandırması" adlı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ziya TELATAR

Başkan



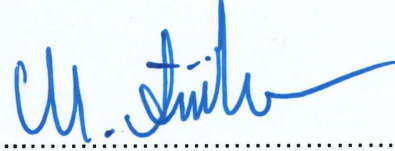
Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÖZKAZANÇ

Danışman



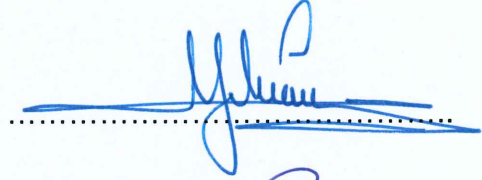
Prof. Dr. Mustafa TÜRKER

Üye



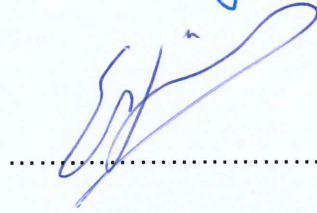
Prof. Dr. Atila YILMAZ

Üye



Doç. Dr. Seniha Esen YÜKSEL ERDEM

Üye



Bu tez Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü tarafından YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak / /..... tarihinde onaylanmıştır.

Prof. Dr. Menemşe GÜMÜŞDERELİOĞLU

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Canım aileme, rahmetli anneanneme ve dedeme...

ETİK

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

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

beyan ederim.

26 / 09 / 2019

Duygu YUMUŞ

YAYINLANMA FİKRİ MÜLKİYET HAKKLARI BEYANI

Enstitü tarafından onaylanan lisansüstü tezimin/raporumun tamamını veya herhangi bir kısmını, basılı (kağıt) ve elektronik formatta arşivleme ve aşağıda verilen koşullarla kullanıma açma iznini Hacettepe üniversitesine verdiğimi bildiririm. Bu izinle Üniversiteye verilen kullanım hakları dışındaki tüm fikri mülkiyet haklarım bende kalacak, tezimin tamamının ya da bir bölümünün gelecekteki çalışmalarda (makale, kitap, lisans ve patent vb.) kullanım hakları bana ait olacaktır.

Tezin kendi orijinal çalışmam olduğunu, başkalarının haklarını ihlal etmediğimi ve tezimin tek yetkili sahibi olduğumu beyan ve taahhüt ederim. Tezimde yer alan telif hakkı bulunan ve sahiplerinden yazılı izin alınarak kullanması zorunlu metinlerin yazılı izin alarak kullandığımı ve istenildiğinde suretlerini Üniversiteye teslim etmeyi taahhüt ederim.

Yükseköğretim Kurulu tarafından yayınlanan "Lisansüstü Tezlerin Elektronik Ortamda Toplanması, Düzenlenmesi ve Erişime Açılmasına İlişkin Yönerge" kapsamında tezim aşağıda belirtilen koşullar haricince YÖK Ulusal Tez Merkezi / H. Ü. Kütüphaneleri Açık Erişim Sisteminde erişime açılır.

- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren 2 yıl ertelenmiştir.
- Enstitü / Fakülte yönetim kurulu gerekçeli kararı ile tezimin erişime açılması mezuniyet tarihimden itibaren ay ertelenmiştir.
- Tezim ile ilgili gizlilik kararı verilmiştir.

26. / 09 / 2019

(İmza)

ÖĞRENCİNİN ADI SOYADI

Dayı Yılmaz
İmza

ÖZET

SAR İMGELERİNDE GÖZETİMSİZ SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİ İLE ARAZİ ÖRTÜSÜ SINIFLANDIRMASI

Duygu YUMUŞ

Yüksek Lisans, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği Bölümü

Tez Danışmanı: Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÖZKAZANÇ

Eylül 2019, 137 sayfa

Arazi örtüsü terimi, yeryüzünün doğal ve insan yapımı fiziksel örtüsünü ifade etmektedir. Aynı zamanda topografya, yüzey suyu ve yeraltı suyu, toprak ve insan yapıları gibi dünya yüzeyinin biyofiziksel hali olarak da tanımlanmaktadır. Arazi örtüsü bilgileri, yeryüzündeki ormanlık alanların yıllara göre değişimi, deniz kirliliğindeki artış ve azalmanın belirlenmesi, yeryüzündeki aykırılık bölgelerinin tespiti, doğal afet sonrası hasar tespiti gibi çevrebilimle ilgili önemli konuların araştırılmasına katkı sağlamaktadır. Şehir planlama ve yönetimi, kaynak tüketimleri, kentsel gelişim, yerleşim alanlarındaki yıldan yıla değişimin belirlenmesi konularında da arazi örtüsü bilgileri temel bilgiler sağlamaktadır.

Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) sistemleri RF dalgaları vasıtası ile yer yüzeyinin görüntülenmesi, arazi örtüsü bilgilerinin elde edilmesinde önemli bilgi kaynaklarıdır. SAR sistemleri RF dalgalarının bir radar verici ünitesi ile yer yüzeyine gönderilmesi ve yüzeyden saçılan dalgaların radar alıcı ünitesi tarafından sezimlenip işlenmesi sureti ile çalışırlar. SAR imgeleri analiz edilerek ve sınıflandırılarak, arazi kullanımı, arazi örtüsü, çeşitli arazi istatistikleri ve göstergeleri de dâhil olmak üzere bir bölgede yer alan araziler hakkında bilgiler edinilebilmektedir. Tez çalışması

kapsamında *SENTINEL-1* uydusuna ait C-Bant Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) imgeleri ve Hava Kuvvetleri Araştırma Labortuarı (Air Force Research Laboratory – AFRL) X-Bant *AFRL* SAR imgeleri kullanılmıştır. Sentetik Açıklıklı Radar, kendi ışınımlarını kendisi üreten aktif bir uzaktan algılama sistemidir. Bu özelliği ile hava olaylarındaki değişimlerden etkilenmeden her türlü hava koşullarında imge sağlayabilmektedir.

Bu tez çalışmasında, SAR görüntülerindeki arazi örtüsü farklı gözetimsiz sınıflandırılma yöntemleri ile ele alınmıştır ve kapsamlı olarak incelenecektir. Moment Tabanlı Yöntemler, Temel Bileşenler Analizi (TBA), Özyüz, Çekirdek TBA ve Oto Kodlayıcı öznitelik çıkarma yöntemleri kullanılarak SAR görüntülerindeki farklı arazi tiplerinin gözetimsiz sınıflandırılması üzerine çalışılmıştır. Algoritmaların bilgisayar benzetimleri gerçekleştirilmiştir ve karşılaştırmalı çalışmalar yapılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Gözetimsiz Sınıflandırma, Sentetik Açıklıklı Radar (SAR), Derin Öğrenme, Öznitelik Çıkarma, Öbekleme, Uzaktan Algılama, Arazi Örtüsü Sınıflandırması, İmge Kıymetlendirme

ABSTRACT

LAND COVER CLASSIFICATION FOR SAR IMAGERY USING UNSUPERVISED METHODS

Duygu YUMUŞ

**Master of Science, Department of Electrical and Electronics
Engineering**

Supervisor: Assist. Prof. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ

September 2019, 137 Page

The land cover term refers to the natural and man-made physical cover of the Earth. It is also defined as the biophysical state of the Earth's surface, such as topography, surface water and groundwater, soil and human structures. Land cover information contributes to the research of important environmental issues such as the change of forested areas on the Earth by years, determination of increase and decrease in marine pollution, detection of contradictions in the Earth, damage assessment after natural disaster. Land cover information provides essential and important information on urban planning and management, resource consumption, urban development, and determination of year-to-year change in residential areas.

Synthetic Aperture Radar (SAR) systems are an important source of information for the coverage of land cover by RF waves. The SAR systems operate by transmitting RF waves to the ground surface by a radar transmitting unit and sensing and

processing the scattered waves from the surface by the radar receiver unit. By analyzing and classifying SAR images, land use information of a region including land use, land cover, various land statistics and indicators can be obtained. C-Band Synthetic Aperture Radar (SAR) images of the *SENTINEL-1* satellite and X-Band *AFRL* SAR images of the *Air Force Research Laboratory (AFRL)* were used in this study. Synthetic Aperture Radar is an active remote sensing system that generates its own radiation. With this feature, it is not affected by changes in weather events and can provide images in all weather conditions.

In this thesis, the land cover of SAR images was with different unsupervised classification methods and examined extensively. Moment Based methods, Principle Component Analysis (PCA), Eigenface, Kernel PCA and Autoencoder feature extraction methods have been studied on unsupervised classification of different terrain types in SAR images. Computer simulations of algorithms were performed and comparative studies were conducted.

Keywords: Unsupervised Classification, Synthetic Aperture Radar (SAR) , Deep Learning, Feature Extraction, Clustering, Remote Sensing, Land Cover Classification, Image Enhancement

TEŞEKKÜR

Tezimin oluŐturulma s¼recindeki katkıları ve anlayıŐı için tez danışmanım Dr. Öğr. Üyesi Yakup ÖZKAZANÇ'a teşekkürlerimi sunuyorum. Her zaman yanımda olan, canım aileme, rahmetli anneannem ve dedeme sonsuz teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	1
ABSTRACT	3
TEŞEKKÜR	5
İÇİNDEKİLER	6
ŞEKİLLER	8
ÇİZELGELER	12
SÖZLÜKÇE	13
KISALTMALAR	15
1. GİRİŞ	17
1.1. Tezin Amacı	18
1.2. Tezin Akışı	19
2. SAR ve ARAZİ ÖRTÜSÜ SINIFLANDIRMASI	20
2.1. Sentetik Açıklıklı Radara Genel Bakış	20
2.2. Arazi Örtüsü Sınıflandırmasına Genel Bakış	25
2.3. SAR İmgeleri	26
2.3.1. C-Bant SENTINEL-1 SAR Verisi	26
2.3.2. X-Bant AFRL SAR Verisi	29
3. GÖZETİMSİZ SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİ	31
3.1. Öbekleme	31
3.1.1. Öbekleme Geçerlilik İndisleri	32
3.1.2. K-Ortalamlar (K-Means) Öbekleme Yöntemi	34
3.2. Öznitelik Çıkarma Yöntemleri	36
3.2.1. Moment Tabanlı Yöntemler	37
3.2.2. Temel Bileşenler Analizi	39
3.2.3. Özyüz (Eigenface)	42
3.2.4. Çekirdek (Kernel) Temel Bileşenler Analizi	44
3.2.5. Oto Kodlayıcı (Autoencoder)	48
4. SAR İMGELERİNİN GÖZETİMSİZ SINIFLANDIRILMASI	56
4.1. Literatür İncelemesi	56
4.2. Algoritma Akışı	58

4.2.1. Algoritma Verileri	60
4.2.2. Öznitelik Çıkarma Aşamaları	66
4.2.3. Öbekleme	71
4.2.4. Öbeklenmiş Verilerin Görselleştirilmesi	71
4.3. Karşılaştırmalı Test Çalışmaları	71
4.3.1. C-Bant SENTINEL-1 SAR Verisi.....	72
4.3.2. X-Bant AFRL SAR Verisi	107
5. SONUÇLAR	130
6. KAYNAKLAR.....	132

ŞEKİLLER

Şekil 2-1 Sentetik Açıklıklı Radar (SAR).....	20	
Şekil 2-2 SAR Çözünürlük [8].....	20	
Şekil 2-3 Sentetik Açıklık Teorisi [8].....	21	
Şekil 2-4 Sentinel-1 SAR [16].....	27	
Şekil 2-5 Sentinel-1 SAR Modları [17].....	28	
Şekil 3-1 Siluet İndisi Gösterimi.....	33	
Şekil 3-2 Çarpıklık Eğrileri.....	38	
Şekil 3-3 Basıklık Örnekleri.....	38	
Şekil 3-4 Çekirdek TBA gösterimi (a) iki boyutlu girdi uzayı, veri noktalarının gösterimi (b) Dönüşüm uygulanmış verilerin iki boyutlu özellik uzayında gösterimi [36].....	45	
Şekil 3-5 Oto Kodlayıcı Yapısı.....	49	
Şekil 3-6 Oto Kodlayıcı Katmanları.....	50	
Şekil 3-7 Oto Kodlayıcı Örneği [38].....	52	
Şekil 3-8 Sigmoid fonksiyonu : $f_x = 11 + e^{-x}$	53	
Şekil 3-9 Tanjant hiperbolik fonksiyonu : $f_x = \tanh x = \frac{1 - e^{-2x}}{1 + e^{-2x}}$	54	
Şekil 3-10 Doğrultucu lineer fonksiyon (RELU).....	54	
Şekil 4-1 Algoritma Aşamaları.....	58	
Şekil 4-2 Algoritma Akışı.....	59	
Şekil 4-3 Sentinel-1 SAR İmgesinin Google Earth Resmi.....	60	
Şekil 4-4 Sentinel-1 DY Polarizasyon SAR İmgesi.....	61	
Şekil 4-5 Sentinel-1 DD Polarizasyon SAR İmgesi.....	61	
Şekil 4-6 Kopernik Açık Erişim Merkezi Arayüzü [47].....	62	
Şekil 4-7 AFRL SAR Verisi Örneği [49].....	63	
Şekil 4-8 AFRL SAR Verisi YY Polarizasyon İmgesi.....	64	
Şekil 4-9 AFRL SAR Verisi YD Polarizasyon İmgesi.....	64	
Şekil 4-10 AFRL SAR Verisi DD Polarizasyon İmgesi.....	64	
Şekil 4-11 Kayan Pencere Yapısı.....	65	
Şekil 4-12 TBA Eğrisi-1.....	Şekil 4-13 TBA Eğrisi-2.....	67
Şekil 4-14 Özyüz Eğrisi-1.....	Şekil 4-15 Özyüz Eğrisi-2.....	68

Şekil 4-16 Sıralı Oto Kodlayıcı Yapısı	69
Şekil 4-17 Birinci Çalışma Google Earth Görüntüsü	72
Şekil 4-18 Sentinel-1 DY SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (k=2).....	77
Şekil 4-19 Sentinel-1 DY SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =3)	78
Şekil 4-20 Sentinel-1 DY SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği = 15)	78
Şekil 4-21 Sentinel-1 DY SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği=27)	79
Şekil 4-22 Sentinel-1 DD SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (k=2)	83
Şekil 4-23 Sentinel-1 DD SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =3)	84
Şekil 4-24 Sentinel-1 DD SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =15).....	85
Şekil 4-25 Sentinel-1 DD SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği = 27).....	85
Şekil 4-26 İkinci Çalışma Google Earth Görüntüsü	86
Şekil 4-27 Sentinel-1 DY SAR Verisi İkinci Çalışma Siluet Değerleri (k=2)	90
Şekil 4-28 Sentinel-1 DY SAR Verisi İkinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği=3).....	91
Şekil 4-29 Sentinel-1 DY SAR Verisi İkinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği=15).....	91
Şekil 4-30 Sentinel-1 DY SAR Verisi İkinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği=27).....	92
Şekil 4-31 Sentinel-1 DD SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (k=2)	96
Şekil 4-32 Sentinel-1 DD SAR Verisi İkinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği=3)	97
Şekil 4-33 Sentinel-1 SAR Verisi DY Polarizasyon İkinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği=15).....	97
Şekil 4-34 Sentinel-1 DY SAR Verisi İkinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği=27).....	98
Şekil 4-35 Sentinel-1 SAR İmgesi.....Şekil 4-36 Google Earth Görüntüsü.....	99
Şekil 4-37 Sentinel-1 DY SAR İmgesi (k=2, pencere genişliği = 3)	100

Şekil 4-38 Sentinel-1 DY SAR İmgesi (k=3, pencere genişliği = 3)	100
Şekil 4-39 Sentinel-1 DY SAR İmgesi (k=4, pencere genişliği = 3)	101
Şekil 4-40 Sentinel-1 DY SAR İmgesi (k=2, pencere genişliği = 15)	102
Şekil 4-41 Sentinel-1DY SAR İmgesi (k=3, pencere genişliği = 15)	102
Şekil 4-42 Sentinel-1 DY SAR İmgesi (k=4, pencere genişliği = 15)	103
Şekil 4-43 Sentinel-1 DD SAR İmgesi (k=2, pencere genişliği = 3)	104
Şekil 4-44 Sentinel-1 DD SAR İmgesi (k=3, pencere genişliği = 3)	104
Şekil 4-45 Sentinel-1 DD SAR İmgesi (k=4, pencere genişliği = 3)	105
Şekil 4-46 Sentinel-1 DD SAR İmgesi (k=2, pencere genişliği = 15)	106
Şekil 4-47 Sentinel-1 DD SAR İmgesi (k=3, pencere genişliği = 15)	106
Şekil 4-48 Sentinel-1 DD SAR İmgesi (k=4, pencere genişliği = 15)	107
Şekil 4-49 X-Bant AFRL DY SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (k=2)..	112
Şekil 4-50 X-Bant AFRL DY SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =3).....	113
Şekil 4-51 X-Bant AFRL DY SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =15).....	113
Şekil 4-52 X-Bant AFRL DY SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =27).....	114
Şekil 4-53 X-Bant AFRL DD SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (k=2) .	118
Şekil 4-54 X-Bant AFRL SAR Verisi DD Polarizasyon Örnek Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =3)	119
Şekil 4-55 X-Bant AFRL DD SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =15).....	119
Şekil 4-56 X-Bant AFRL DD SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =27).....	120
Şekil 4-57 X-Bant AFRL DY+DD SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (k=2)	124
Şekil 4-58 X-Bant AFRL DY+DD SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği = 3).....	125
Şekil 4-59 X-Bant AFRL DY+DD SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =15).....	126
Şekil 4-60 X-Bant AFRL DY+DD SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =27).....	126

Şekil 4-61 X-Bant AFRL SAR İmgesi	127
Şekil 4-62 X-Bant AFRL DY SAR İmgesi (k=2, pencere genişliği = 3, Moment Tabanlı).....	128
Şekil 4-63 X-Bant AFRL DY SAR İmgesi (k=3, pencere genişliği = 3, Oto Kodlayıcı).....	129
Şekil 4-64 X-Bant AFRL DY SAR İmgesi (k=4, pencere genişliği=15, Moment Tabanlı).....	129

ÇİZELGELER

Çizelge 2-1 Frekans Bantları	22
Çizelge 2-2 SAR Sensörleri	22
Çizelge 2-3 Sistem Parametreleri [17]	27
Çizelge 2-4 <i>SENTINEL-1</i> Uygulama Alanları	29
Çizelge 2-5 <i>SENTINEL-1</i> Çözünürlük Değerleri	29
Çizelge 4-1 Simülasyon Veri kümeleri ve Çalışmaları	65
Çizelge 4-2 Sentinel-1 SAR Verisi için Sıralı Oto Kodlayıcı Parametreleri	70
Çizelge 4-3 AFRL SAR Verisi için Sıralı Oto Kodlayıcı Parametreleri	71
Çizelge 4-4 Sentinel-1 SAR Verisi Birinci Çalışma için Siluet Sonuçları (DY Polarizasyon)	73
Çizelge 4-5 Sentinel-1 SAR Verisi Birinci Çalışma için Siluet Sonuçları (DY Polarizasyon)	80
Çizelge 4-6 Sentinel-1 SAR Verisi İkinci Çalışma için Siluet Sonuçları (DY Polarizasyon)	86
Çizelge 4-7 Sentinel-1 SAR Verisi İkinci Çalışma için Siluet Sonuçları (DY Polarizasyon)	93
Çizelge 4-8 AFRL SAR Verisi Örnek Çalışma için Siluet Sonuçları (DY Polarizasyon)	108
Çizelge 4-9 AFRL DD SAR Verisi Örnek Çalışma için Siluet Sonuçları	114
Çizelge 4-10 AFRL SAR Verisi Örnek Çalışma için Siluet Sonuçları (DY+DD Polarizasyon)	121

SÖZLÜKÇE

Ağırlık düzenlileştirme	: Weight regularization
Ağırlık Dengelenmiş K-Ortalamlar	: Weight-Balanced K-Means
Alçalış açısı	: Depression angle
Aşırı uyumlanma (öğrenme)	: Overfitting
Basıklık	: Kurtosis
Bölütleme	: Segmentasyon
Bulanık Gruplama	: Fuzzy Clustering
Çapraz menzil	: Cross range
Çarpıklık	: Skewness
Çekirdek	: Kernel
Dalgacık	: Wavelet
Darboğaz	: Bottleneck
Dörtlü Ayna Filtreleri	: Quadrature Mirror Filters
Düzenleyici	: Regularizer
Eğilim	: Bias
Gauss Markov Rastgele Alanı	: Gaussian Markov Random Field
Gerçek veriler	: Ground truth data
Geri yayılım	: Backpropagation
Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi	: Gray-Level Co-Occurrence Matrix
Hiyerarşik Gruplama	: Hierarchical Clustering
Hızlı Bulanık Gruplama	: Fast Fuzzy Clustering
Iraksama	: Divergence
Izgara üzerinde arama	: Grid search
K-Ortalamlar	: K-Means
Kendi Kendini Düzenleyen Harita	: Self Organizing Map
Kesirli Fourier Dönüşümü	: Fractional Fourier Transform
Kodlayıcı	: Encoder
Kod çözücü	: Decoder
Maksimum devir	: Epoch
Menzil	: Range
Normal Dağılım	: Gaussian Distribution

Ortalama Kayma Gruplaması	: Mean Shift Clustering
Oto Kodlayıcı	: Autoencoder
Öbek	: Cluster
Öbekleme	: Clustering
Önsel	: Apriori
Özyüz	: Eigenface
RF	: Radio Frequency
Seyrek (Aralıklı) Oto Kodlayıcı	: Sparse Autoencoder
Seyrek düzenlilik	: Sparsity regularization
Seyreklik	: Sparsity
Seyreklik oranı	: Sparsity proportion
Sigmoid	: Sigmoid
Şerit	: Strip
Takımyıldız	: Constellation
Tek renkli ışık	: Monokrom
Temel Bileşenler Analizi	: Principle Component Analysis
Uzay Konuşlu	: Spaceborne
Yanca	: Azimuth
Yanca çözünürlük	: Azimuth resolution
Yeniden yapılandırma	: Reconstruction
Doğrultucu Lineer Birimi	: RELU

KISALTMALAR

AFRL	Air Force Research Laboratory
ALOS	Advanced Land Observing Satellite
ASAR	Advanced Synthetic Aperture Radar
ASI	Adjacent Satellite Interference
CONAE	Comision Nacional de Actividades Espaciales
COSMO-SkyMed	Constellation of Small Satellites for Mediterranean basin Observation
CSA	Canadian Space Agency
ÇTBA	Çekirdek Temel Bileşenler Analizi
DD	Dikey-Dikey (polarizasyon)
DLR	German Aerospace Center
ERS	Earth Resources Satellite
ESA	European Space Agency
ENVISAT	Environmental Satellite
EW	Extra Wide Swath
GLCM	Gray-Level Co-Occurrence Matrix
GRD	Ground
HJ-1C	Huan Jing-1: Environmental Protection & Disaster Monitoring Constellation
HR	High Resolution
ICBM	Inter-Continental Ballistic Missile
IW	Interferometric Wide Swath
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency
J-ERS	Japan Earth Resources Satellite
JPL	Jet Propulsion Laboratory
Komposat-5	Korean Multi-purpose Satellite 5
NASA	National Aeronautics and Space Administration
PAZ	Spanish for Peace
PaISAR	Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar
PCA	Principle Component Analysis

RAM	Random Access Memory
RELU	Rectifier Linear Unit
RISAT-1	Radar Imaging Satellite-1
SAR	Sentetik Açıklıklı Radar
SAOCOM	Satellites for Observation and Communications
SEASAT	Seafaring Satellite
SIR-C	Spaceborne Imaging Radar- C (Band)
SM	Stripmap
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
TBA	Temel Bileşenler Analizi
TOPSAR	Terrain Observation with Progressive Scans SAR
WV	Wave
X-SAR	X-Band SAR
YY	Yatay-Yatay (polarizasyon)

1. GİRİŞ

Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) , uçak ya da uydu platformlarında kullanılan, her türlü hava koşullarında gece ve gündüz yüksek çözünürlüğe sahip imgeler elde edebilen bir uzaktan algılama sistemidir. Uzaktan algılama, yeryüzünden belirli uzaklıkta, atmosferde veya uzaydaki platformlara yerleştirilmiş ölçüm aletleri aracılığıyla yeryüzü ile herhangi bir fiziksel bağlantı olmaksızın bir alanın fiziksel özelliklerini tespit etme ve izleme işlemidir [1]. Uzaktan algılama için en temel şey enerjidir ve enerji olmadan algılama yapmak imkânsızdır. Uzaktan algılamanın gerçekleşebilmesi için enerji kaynağı, ışınım, atmosfer, hedef, algılayıcı sensör, sensör tarafından kaydedilen enerji, transmisyon, verilerin işlenmesi ve analizi gerekmektedir. Uzaktan algılama, kullanılan enerji kaynaklarına göre aktif ve pasif algılama sistemleri olarak ikiye ayrılmaktadır [2]. Pasif algılama sistemleri herhangi bir enerji üretmezler ve güneş enerjisini kullanırlar. Aktif algılama sistemleri ise kendi enerjilerini üretirler ve yansıtıkları enerjinin hedeften dönen yansımalarını toplayarak imge elde ederler. Bu sebeple, aktif algılama sistemleri, pasif sistemlerin olumsuz hava koşullarında çalışamama durumunu ortadan kaldırır. Aktif uzaktan algılama sistemine en önemli örnek Sentetik Açıklıklı Radar (SAR)'dır ve tez çalışmasında da SAR imgeleri üzerinde çalışılmıştır.

SAR kavramı, 1951 yılında Carly Wiley tarafından Arizona'daki Goodyear Aircraft şirketinde matematikçi olarak Atlas ICBM programı için bir korelasyon rehberliği sistemi üzerinde çalışırken keşfedilmiştir [3]. Wiley'in çalışmalarından bağımsız olarak da, 1952 yılının başlarında Illinois Üniversitesi Kontrol Sistemleri Laboratuvarı'nda yapılan deneysel denemeler, büyük ölçüde geliştirilmiş açısız çözünürlüğe sahip radar sistemleri için temel olabileceğini göstermiştir. 1960'ların sonundan itibaren ise, SAR çalışmalarına NASA destek vermeye başlamıştır. SAR sistemleri ilk olarak uydu platformlarında kullanılmaya başlamıştır. 1978 yılına gelindiğinde, ilk sivil SAR uydusu olan SEASAT uygulamaya alınmıştır [4]. İlerleyen zamanlarda dijital teknolojiye gelişmelerin hızlanmasıyla beraber SAR çalışmalarındaki gelişim katlanarak artmıştır.

SAR, uydu ve uçak platformlarına takılan, radar sinyallerinin üretilip hedefe gönderildiği ve hedeften yansıyan yankıların alınıp işlendiği bir sensördür. SAR

sensörü aslında bir darbe radarıdır, ancak genel anlamda darbe radarından farkı, tek bir yankıyı işlemek yerine platformun uçuş süresince sentetik açıklık boyunca elde edilen sinyalleri toplayarak işlemesidir. Dolayısıyla SAR hava platformu, istenilen sentetik açıklık boyunca veri toplar. Böylece bu veriler sanki tek bir fiziksel uzunluktaki antenden gelmiş gibi işlenerek yüksek çözünürlüklü imgeler oluşturulabilmektedir [5].

SAR sistemleri ile genlik ve faz bilgisini içeren karmaşık veri türünde tek renkli ışıklı (monokrom) imgeler elde edilmektedir. Sağladıkları yüksek çözünürlüklü imgeler sayesinde oldukça geniş bir kullanım alanına sahiptir. Özellikle her türlü hava koşullarında, gece/gündüz yer tespiti, yer gözetleme ve arazi profiline çıkarılması gibi durumlarda oldukça geniş bir kullanıma sahiptir. Ayrıca ileride oluşabilecek bir probleme karşı önceden önlem alabilmek adına, tarım, orman ve buzul alanlarının gözlemlenmesinde de kullanılmaktadır.

Havadan ve uydudan alınan Sentetik Açıklıklı Radar (SAR) imgelerinin kalitesinin ve sayısının giderek artması sebebiyle, bu imgeleri yorumlama ihtiyacı hızla artmakta, dolayısıyla bu konuda yapılan çalışmalar ve imgelerin kıymetlendirilmesi giderek önem kazanmaktadır. Ancak SAR imgelerinin yorumlanması ve çok sayıda etiketli SAR imgesinin elde edilmesi uzaktan algılama için hâlâ zorlu bir sorundur. Bu nedenle, bu çalışmanın amacı etiketlenmemiş veri gerektiren gözetimsiz sınıflandırma yöntemlerinin SAR imgelerine uygulanması ve performanslarının karşılaştırılmasıdır. Bu sayede SAR imgelerinde, arazi örtüsü sınıflandırması gözetimsiz yöntemlerle gerçekleştirilmeye çalışılmıştır.

1.1. Tezin Amacı

Bu çalışma kapsamında, SAR imgelerinde arazi örtüsü sınıflandırması için gözetimsiz sınıflandırma yöntemlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bunun için çeşitli öznitelik çıkarma yöntemleri etüt edilerek performansları karşılaştırılmıştır. Elde edilen özniteliklerin öbekleme algoritmasında kullanılması ile SAR imgesindeki farklı arazi grupları belirlenmiştir ve SAR imgelerinin arazi örtüleri oluşturulmuştur.

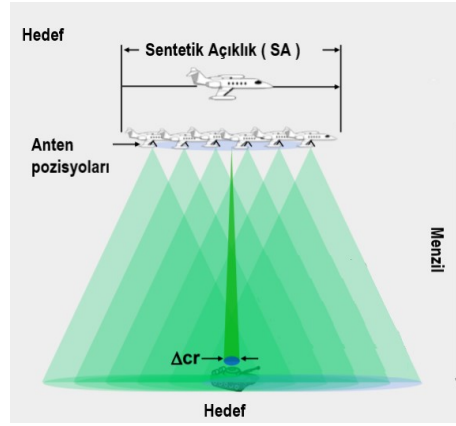
1.2. Tezin Akışı

Bölüm 1’de, SAR sistemlerinin kullanım alanları, tarihsel süreci ve arazi örtüsü sınıflandırmasındaki önemi hakkında genel açıklamalar verilmiştir. Bölüm 2’de, Sentetik Açıklıklı Radar (SAR)’a ait temel kavramlar, çözünürlük tanımı, uzay konulu (spaceborne) SAR sensörlerinin tarihsel sürecine genel bir bakış ve örnek sistemler verilmektedir. Arazi örtüsü kavramının tanımı, arazi örtüsü sınıflandırmasında kullanılan yöntemler ve arazi örtüsü sınıflandırılmasında SAR’ın yeri anlatılmaktadır. Son olarak da, bu çalışmada kullanılan SAR imge kümelerinin açıklaması yapılmaktadır. Bölüm 3’te, gözetimsiz sınıflandırma yöntemleri iki başlık altında ele alınmaktadır: öbikleme ve öznitelik çıkarma yöntemleri. Öbikleme yöntemi olarak K-Ortalamlar algoritması kullanıldığı için, bu yöntemle ait detaylar verilmektedir. Öznitelik çıkarma yöntemleri olarak moment tabanlı öznitelikler, Temel Bileşenler Analizi (TBA), Özyüz (Eigenface), Çekirdek (Kernel) Temel Bileşenler Analizi (ÇTBA) ve bir sinir ağı yöntemi olan Oto Kodlayıcı yöntemleri beş başlık altında anlatılmaktadır. Bölüm 4’te algoritma akışı, simülasyonlarda kullanılan SAR imgeleri ve test çalışmaları anlatılmaktadır. Test çalışmaları kapsamında, farklı polarizasyondaki *SENTINEL-1* SAR imgesine ve X-Bant *AFRL* SAR imgelerinden alınan çeşitli imge kesitlerine Bölüm 4’te anlatılan öznitelik çıkarma yöntemlerinin ve K-Ortalamlar yönteminin uygulanması ve sonuçları verilmektedir. Son olarak Bölüm 5’te, tez kapsamında yapılan çalışmaların genel bir değerlendirilmesi verilmektedir.

2. SAR ve ARAZİ ÖRTÜSÜ SINIFLANDIRMASI

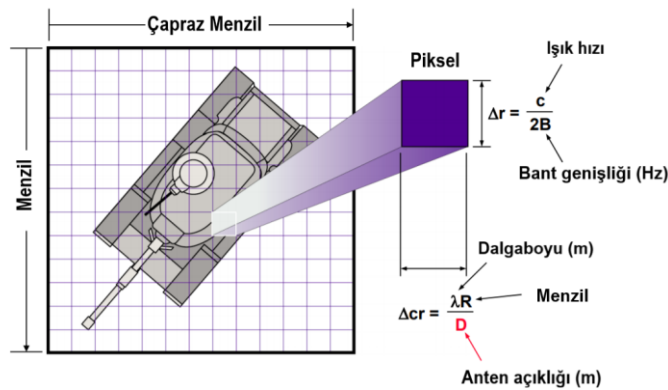
2.1. Sentetik Açıklıklı Radara Genel Bakış

SAR tekniği, platformun uçuş yönünde daha yüksek çözünürlüklü imgelerin elde edilmesini küçük anten uzunluğuyla sağlayan bir imgeleme yöntemidir. Hareketli bir platforma yerleştirilen radar ile belirli zaman aralıklarında ölçüm alındığında ve bu veriler eş zamanlı toplanarak sentetik açıklık oluşturulduğunda, gerçek fiziksel açıklığa eş büyük bir yapay açıklık oluşturulmuş olur [6].



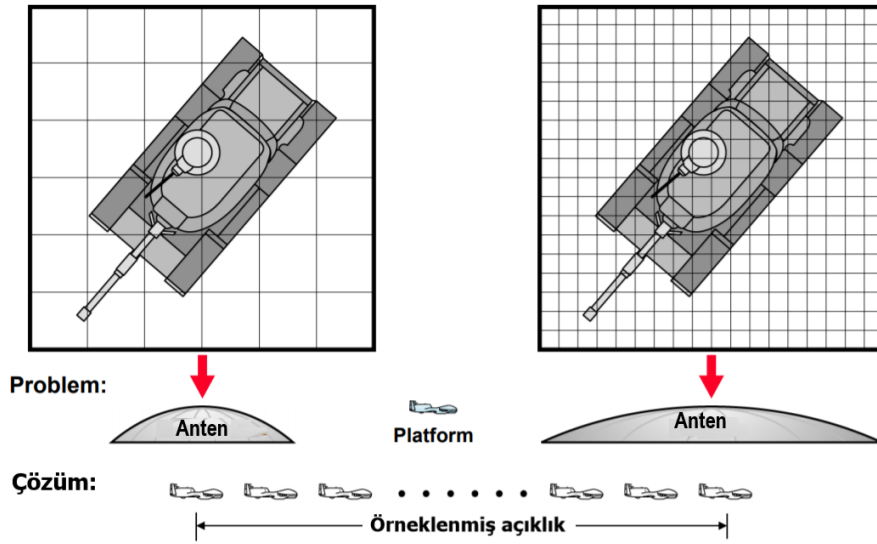
Şekil 2-1 Sentetik Açıklıklı Radar (SAR)

Şekil 2-1'de gösterildiği gibi, platforma yerleştirilen görece küçük bir anten, belirli konumlarda hareket ettirilerek işaretler alınmakta ve işaretlerin genlik ve faz bilgileri kaydedilmektedir. Böylece ölçüm süresince platformun aldığı yola eşdeğer uzunluktaki bir antenin sağlayacağı çözünürlükten çok daha iyi bir çözünürlüğün elde edilebilmesi mümkündür [7]. SAR imgesine ait çözünürlük ifadeleri Şekil 2-2 ile gösterilmiştir.



Şekil 2-2 SAR Çözünürlük [8]

Şekil 2-2'deki Δ_{cr} , platform uçuş yönündeki yanca çözünürlüğü ve Δr ise hedefe olan menzil yönündeki çözünürlükleri ifade etmektedir. Şekil 2-2'de görüldüğü gibi, uzak mesafelerde bulunan nesnelere için Δ_{cr} yüksek çözünürlüklü imgelerin elde edilmesi, çok büyük boyutlu antenlerle mümkündür. Çünkü bakış açısına dik konumda yer alan yansıtıcıların çözünürlükleri, anten boyutları büyüdükçe artmaktadır ve uçuş yönünde yüksek çözünürlük elde etmek için pratikte mümkün olmayan uzunlukta anten kullanmak gerekmektedir. Ancak büyük boyutlu antenlerin gerçekleştirilmesi güç ve problemlidir. Geleneksel radarlardaki bu probleme ilk olarak Carl Wiley 1951 yılında bir çözüm getirmiştir [6]. Bu yaklaşım Şekil 2-3'teki örnekle açıklanmıştır.



Şekil 2-3 Sentetik Açıklık Teorisi [8]

Şekil 2-3'te görüldüğü gibi, şekildeki nesnenin yüksek çözünürlüklü görüntüsünü elde etmek için daha küçük piksel genişliklerinin olması gerekmektedir. Bu durumun sağlanması için yani görüntü çözünürlüğünü artırmak için anten boyutunun artırılması gerekmektedir. Ancak Carl Wiley'in getirdiği çözüm ile anten boyutunu artırmaya gerek kalmaksızın platformun uçuş yönünde belirli aralıklarla yayın yapılarak yansımaların toplanması yeterlidir.

Carl Wiley'in çalışmalarından sonra, teknolojiye gelişmeler ile beraber SAR çalışmaları gün geçtikçe hızlanmıştır. Çizelge 2-2, uzay konuşlu (spaceborne) SAR sensörlerinin tarihsel sürecine genel bir bakış sunmaktadır. Bu çizelgede yer alan YY (Yatay-Yatay) ve DD (Dikey-Dikey) kısaltmalarındaki ilk harf SAR sensörüne ait

verici ünitesinin polarizasyonunu, ikinci harf ise alıcı ünitesinin polarizasyonunu ifade etmektedir. Çizelge 2-1'de ise frekans bantlarının değer aralıkları verilmiştir.

Çizelge 2-1 Frekans Bantları

Frekans Bandı	Frekans Aralığı
L	1-2 GHz
S	2-4 GHz
C	4-8 GHz
X	8-12 GHz
K _u	12-18 GHz
K	18-27 GHz
K _a	27-40 GHz
V	40-75 GHz
W	75-110 GHz
MM (Milimeter)	110-300 GHz

Çizelge 2-2 SAR Sensörleri

Uydu Platformu	Tarih	Frekans Bandı ve Polarizasyon Türü	Açıklama	Kurum/Ülke
SEASAT	1978	L (YY)	İlk sivil SAR uydusu	NASA/JPL, Amerika
ERS-1/2	1991-2000/ 1995-2011	C (DD)	İlk Avrupa SAR uydusu	ESA, Avrupa
J-ERS-1	1992-1998	L (YY)	İlk Japon SAR uydusu	JAXA, Japan
SIR-C/ X-SAR	Nisan 1994 Kasım 1994	L & C (dörtlü) X (DD)	Çoklu frekansların ilk gösterimi	NASA/JPL, USA DLR, Almanya, İtalya
RADARSAT-1	1995-Bugün	C (YY)	İlk Kanada SAR uydusu	CSA, Kanada

Uydu Platformu	Tarih	Frekans Bandı ve Polarizasyon Türü	Açıklama	Kurum/Ülke
SRTM	Şubat 2000	C (YY+DD) ve X (DD)	Uzayda bulunan ilk interferometrik	NASA/JPL, USA DLR, Almanya, İtalya
ENVISAT/ASAR	2000 - 2012	C (çift polarizasyon)	Gönderme / Alma modülü teknolojisine sahip ilk SAR uydusu	ESA, Avrupa
ALOS/PaISAR	2006 - 2011	L (dörtlü polarizasyon)	Gelişmiş Arazi Gözlem Uydusu	JAXA, Japonya
TerraSAR-X/TanDEM-X	2007-bugün 2010-bugün	X (dörtlü polarizasyon)	Uzaydaki ilk iki statik radar	DLR/Astrium, Almanya
RADARSAT-2	2007-bugün	C (dörtlü polarizasyon)	Çözünürlük: 1 m x 3 m (yanca x menzil), Şerit genişliği: 500 km	CSA, Kanada
COSMO-SkyMed-1/4	2007...2010-bugün	X (çift polarizasyon)	Dört uydu takımı yıldızı	ASI /MID, İtalya
RISAT-1	2012-2016	C (dörtlü polarizasyon)	2016 yılında piyasaya sürülen uydu (RISAT-1a), geliştirilmekte olan RISAT-3 (L-band)	ISRO, Hindistan
HJ-1C	2012-2016	S (DD)	Dört uydu takımı yıldızı, ilk uydu 2012'de başlatıldı.	CRESDA /CAST / NRSCC, Çin

Uydu Platformu	Tarih	Frekans Bandı ve Polarizasyon Türü	Açıklama	Kurum/Ülke
KOMPOSAT-5	2013' te başlatılan lansman	X (çift polarizasyon)	Kore Çok Amaçlı Uydu 5, 1 m' ye kadar çözünürlük	KARI, Kore
PAZ	2013' te başlatılan lansman	X (dörtlü polarizasyon)	TerraSAR-X, TanDEM-X ile takımyıldızı	CDTI, İspanya
ALOS-2	2013' te başlatılan lansman	L (dörtlü polarizasyon)	Çözünürlük: 1 m # 3 m (yanca # menzil), şerit genişliği: 490 km	JAXA, Japonya
SENTINEL-1a/1b	2013/2015' te başlatılan lansman	C (dörtlü polarizasyon)	İki uydudan oluşan takımyıldızı, şerit genişliği:400 km'ye	ESA, Avrupa
RADARSAT Takımyıldız-1/2/3	2017' de başlatılan lansman	C (dörtlü polarizasyon)	Üç uydudan oluşan takımyıldızı, şerit genişliği: 500 km	CSA, Kanada
SAOCOM-1/2	2014/2015' te başlatılan lansman	L (dörtlü polarizasyon)	İki uydu takımyıldızı, tamamen polarimetrik	CONAE, Arjantin

SAR sistemleri sağladıkları yüksek çözünürlük sayesinde geniş bir kullanım alanına sahiptir [9]. Bu alanlar:

- Yer tespiti ve yer gözetleme
- Arazi profilinin çıkarılması
- Yer araçlarının tespiti ve takibi
- Ormanların ve buzul alanların gözlemlenmesi
- Topografik haritaların çıkarılması
- Yer altı kaynaklarının incelenmesi

olarak sıralanabilir.

2.2. Arazi Örtüsü Sınıflandırmasına Genel Bakış

Arazi örtüsü terimi, yeryüzünün doğal ve insan yapımı fiziksel örtüsünü ifade etmektedir. Aynı zamanda topografya, yüzey suyu ve yeraltı suyu, toprak ve insan yapıları gibi dünya yüzeyinin biyofiziksel hali olarak da tanımlanmaktadır [10]. Arazi örtüsü, birbirinden farklı dokuya sahip yüzeylerden oluşmaktadır. Genel olarak dokular, karakteristik özelliklere sahip olan nesnelere ve farklı örüntülerden oluşan karmaşık görsel kalıplardır. Dolayısıyla bir yüzeyin dokusu, imgedeki bir öbeğe benzerliği olarak da düşünülebilmektedir [11]. Doku, hemen hemen bütün yüzeylerin, bir tarladaki bitkilerin deseni, bir arazideki toprak yüzeyi, el yapımı yapıların vb. doğal bir özelliğidir. Bunun için benzer dokuya sahip bölgeleri belirleme ve farklı dokuya sahip bölgeleri ayırma işlemi, yüzeyleri ve nesnelere tanımlamak için atılması gereken önemli adımlardan birisidir. Bu sürece ise doku bölütlemesi (segmentasyon) denilmektedir [12]. Her ne kadar insan gözlemcilerinin deneysel terimlerle dokuları tanımlamaları kolay olsa da, dokuların dijital bilgisayar analizleriyle tanımlanması daha zor bir süreci gerektirmektedir. İmgelerin doku özellikleri, yüzey türlerinin ayrılmasında faydalı bilgiler taşıdığından dolayı doku analizi için özelliklerin geliştirilmesi önemlidir [13].

Arazi örtüsü bilgileri, yeryüzündeki ormanlık alanların yıllara göre değişimi, deniz kirliliğindeki artış ve azalmanın belirlenmesi, yeryüzündeki aykırılık bölgelerinin tespiti, doğal afet sonrası hasar tespiti gibi çevre bilimiyle ilgili önemli konuların araştırılmasına katkı sağlamaktadır [14]. Şehir planlama ve yönetimi, kaynak

tüketimleri, kentsel gelişim, yerleşim alanlarındaki yıldan yıla değişimin belirlenmesi gibi konularda da arazi örtüsü bilgileri temel oluşturmaktadır.

Günümüzde nüfus artışı ve sanayileşme nedeniyle, araziler kıt bir kaynak haline gelmeye başlamıştır. Bu nedenle, arazilerde meydana gelen değişikliklerin denetlenmesi her geçen gün daha önemli bir hal almaktadır. Bir bölgenin arazi kullanımı ve arazi örtüsü modeli doğal ve sosyo-ekonomik faktörlerin bir sonucudur. Bu nedenle, arazi kullanımı ve arazi örtüsü ile ilgili bilgiler, arazi kullanımının seçimi, planlanması ve temel insan ihtiyaçlarının artan taleplerini karşılama da kullanılabilir. Bu bilgi sayesinde, artan nüfusun değişen taleplerinden kaynaklanan arazi kullanım dinamikleri de izlenilebilir olmaktadır.

Arazi kullanım türlerini geniş alanlarda pratik, ekonomik ve tekrarlanabilir bir şekilde sınıflandırmak, yerleşim alanlarının nasıl geliştiğine dair bir bakış açısı elde etmek için uydu imgeleri ve diğer uzaktan algılama yöntemleri kullanılabilir. Uydu imgeleri analiz edilerek ve sınıflandırılarak, arazi kullanımı, arazi örtüsü, çeşitli arazi istatistikleri ve göstergeleri de dâhil olmak üzere arazi hakkında çok yönlü bilgiler elde edilebilmektedir [15].

Uzaktan algılama teknikleriyle, arazi örtüsü haritalarının doğruluğu ve düzenli aralıklarla arazilerdeki değişikliklerin izlenmesi nispeten daha kolay bir hâle gelmiştir. Ayrıca, erişilemeyen bölgelere ait gerekli verileri elde etmenin yöntemi de bu tekniği uygulamaktan geçmektedir.

2.3. SAR İmgeleri

Tez çalışmasında Avrupa Uzay Ajansı *SENTINEL-1* uydusuna ait C-bant SAR imgeleri ve *Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı (Air Force Research Laboratory – AFRL)* tarafından sağlanan X-bant SAR sensöründen alınan SAR imgeleri kullanılmıştır. Kullanılan SAR imgelerinin özellikleri 2.3.1 ve 2.3.2 alt başlıklarında verilmiştir.

2.3.1. C-Bant SENTINEL-1 SAR Verisi

SENTINEL, Avrupa Uzay Ajansı tarafından yürütülen Kopernik Programının adıdır ve Türkçede “Gözcü” anlamına gelmektedir. *SENTINEL-1*, Kopernik Programının ilk uydu takımıdır ve aynı yörünge düzlemini paylaşan iki uydudan, *SENTINEL-1A* ve

SENTINEL-1B, oluşmaktadır. *SENTINEL-1*, tüm hava koşullarında gece ve gündüz veri toplanmasını sağlayan çift polarizasyonlu C-bantlı sentetik açıklıklı bir radar taşımaktadır [16].



Şekil 2-4 Sentinel-1 SAR [16]

SENTINEL-1'e ait bazı sistem parametreleri Çizelge 2-3'te verilmiştir.

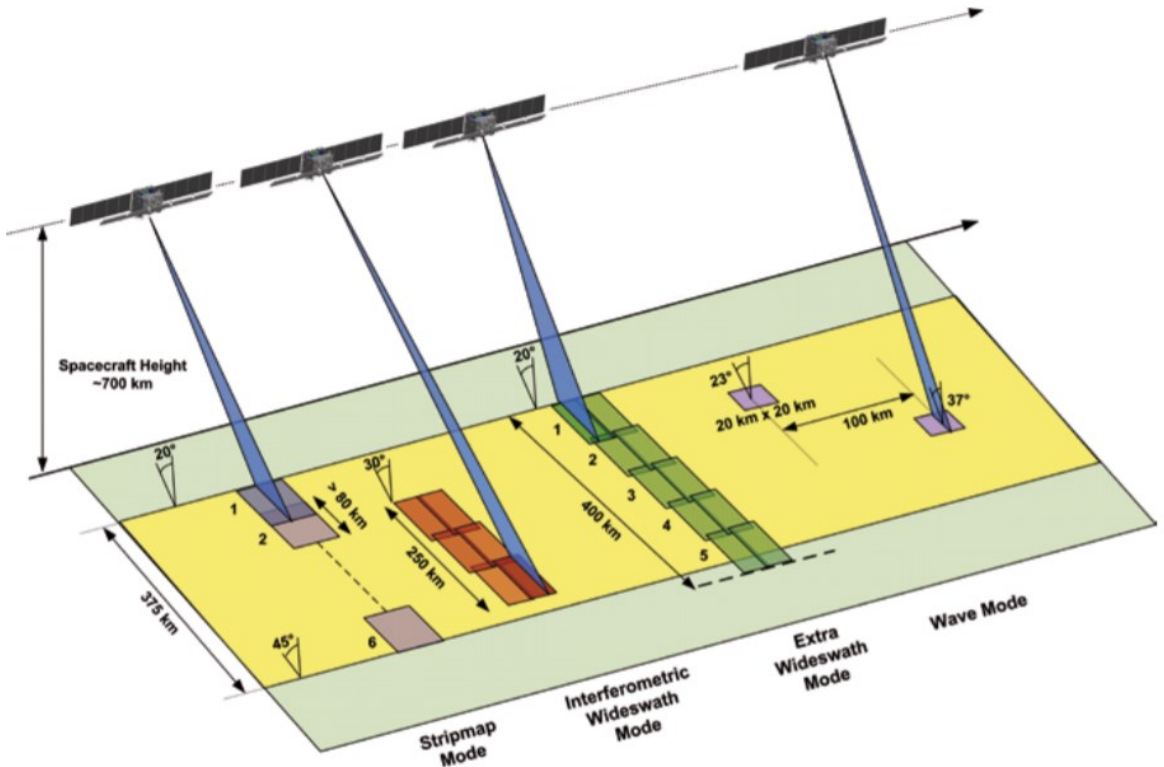
Çizelge 2-3 Sistem Parametreleri [17]

Sistem Parametresi	Değer
Radar Taşıyıcı Frekans	5.405 GHz
RF Tepe Gücü	4.141 kW
Anten Uzunluğu	12.3 m
Darbe Tekrarlama Frekansı	1000 Hz – 3000 Hz
Polarizasyon Türleri	Tek (YY, DD) ve Çift (YY + YD, DD+DY)
Anten Örüntü Genişliği	0.23°
Anten Genişliği	0.82 m
Yükseliş Örüntü Genişliği	3.43°
Yükseliş	[-13.0°, +12.3°]

SENTINEL-1 SAR, 4 farklı modda radar verilerini toplamaktadır. Bu SAR modları:

1. Stripmap (SM): Standart bir SAR Stripmap imgeleme modudur. Yer düzlemi, anten demeti sabit bir yanca ve yükseklik açısına işaret ettiği durumda sürekli bir darbe dizisi ile aydınlatılır.
2. Interferometric Wide Swath (IW): Veriler, TOPSAR imgeleme tekniği ile arazi gözlemciliği kullanılarak üç alanda elde edilir. IW modunda, darbe katarları interferometrik çiftelerin hizalanmasını sağlamak için geçişten geçişe senkronize edilir. IW, *SENTINEL-1*'in karadaki birincil operasyonel şeklidir.
3. Extra Wide Swath (EW): Veriler, TOPSAR imgeleme tekniği kullanılarak beş alandan elde edilir. EW modu, çok geniş bir alanı kapsamaktadır.
4. Wave (WV): Veriler, platformun hareket yönünde 100 km'lik düzenli aralıklarla yerleştirilen küçük stripmap parselleri ile elde edilir. WV modu, *SENTINEL-1*'in açık okyanus üzerinden operasyonel çalışma modudur.

Bu SAR modları için SAR sensörünün zemini tarama biçimleri ve zeminde aydınlattıkları bölgeler Şekil 2-5'te gösterilmiştir.



Şekil 2-5 Sentinel-1 SAR Modları [17]

Şekil 2-5'te verilen farklı modların kullanım alanları Çizelge 2-4'te verilmiştir [18].

Çizelge 2-4 SENTINEL-1 Uygulama Alanları

Uygulama Alanı	Mod			
	SM	IW	EW	WV
Ziraat, tarım		X		
Kentsel deformasyon haritalaması		X		
Deprem analizi	X	X		
Taşkın gözleme	X	X		
Heyelan ve volkan gözleme	X	X		
Ormancılık		X		
Deniz rüzgârları		X	X	X
Petrol kirliliği gözleme		X	X	

Çizelge 2-4 SENTINEL-1 Uygulama Alanları'na göre IW modunun daha fazla uygulama alanında ve arazi gözleme alanlarında kullanıldığı görülmektedir. Bundan dolayı, tez çalışmasında da SENTINEL-1 IW modu GRD'ye ait yüksek çözünürlüklü imge kümesi kullanılmıştır. Bu ürünün (Interferometric Wide Swath GRD HR Product) 3 farklı modu için çözünürlük değerleri Çizelge 2-5'te verilmiştir.

Çizelge 2-5 SENTINEL-1 Çözünürlük Değerleri

Mod	Çözünürlük (menzil x çapraz menzil (yanca))	Piksel Çözünürlüğü (menzil x çapraz menzil (yanca))
SM	23 x 23 m	10 x 10 m
IW	20 x 22 m	10 x 10 m
EW	50 x 50 m	25 x 25 m

2.3.2. X-Bant AFRL SAR Verisi

AFRL (Air Force Research Laboratory), ABD Hava Kuvvetleri Materiel Komutanlığı tarafından işletilen bir Hava Kuvvetleri Araştırma Laboratuvarı'dır. Havacılık ve uzay savaşı teknolojilerinin keşfedilmesine, geliştirilmesine ve entegrasyonuna öncülük

etmeye, Hava Kuvvetleri bilim ve teknoloji programının planlanmasına ve yürütülmesine adanmış bilimsel bir araştırma kuruluşudur. *AFRL*, Amerika Birleşik Devletleri'ne hava, uzay ve siber kuvvetlere savaşla mücadele yetenekleri sağlamaktadır [19].

AFRL tarafından sağlanan ve tez çalışmasında faydalanılan veriler, havadan X-bant SAR sensörü ile alınmış karmaşık SAR imgeleridir. SAR sensörü, 640 MHz bant genişliğinde, 0.25 m eğim mesafesine sahip olup 9.6 GHz merkez frekansında çalışmaktadır. Verilerin elde edilmesinde kullanılan SAR sensörü, imgelenen sahne merkezine 45 derece alçalış açısına sahip olacak şekilde hava platformuna yerleştirilmiştir. İmgelerin elde edildiği sahnede birden fazla bina, araç ve ağaçlık alanlar vardır.

Bölüm 3'te tez çalışmasında kullanılan gözetimsiz sınıflandırma yöntemlerinin anlatımı yapılacaktır.

3. GÖZETİMSİZ SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİ

Gözetimsiz sınıflandırma, eğitim veri kümesi olmadan veri içerisinde var olan yapıların ve ilişkilerin öğrenilmesidir.

3.1. Öbekleme

Öbekleme (Clustering), etiketlenmiş eğitim veri kümesi gerektirmeden girdi verilerini otomatik olarak benzer öğelerden oluşan gruplara ayıran gözetimsiz bir makine öğrenme yöntemidir. Benzerliğin tanımı uygulamalar arasında farklılık gösterebilir ancak temel fikir aynıdır ve ilgili nesnelere aynı grupta toplanmasına yöneliktir. Öbekleme ile etiketlenmemiş veri kümesindeki yapı bulunarak benzer yapıya sahip veriler aynı grubun üyesi olmaktadır [20].

Öbekleme; makine öğrenimi, örüntü tanıma, imge analizi, güvenlik, internet araştırması gibi pek çok uygulama alanında kullanılan bir veri madenciliği ve veri analizi aracıdır. Bir veri madenciliği işlevi olarak öbekleme analizi, verilerin dağılımına ilişkin fikir edinilmesinde, her kümenin özelliklerinin gözlemlenmesinde kullanılabilir. Ayrıca, sınıflandırma çalışmaları için de bir ön işleme adımı olarak işlev görmektedir. Çünkü bir grup, grup içinde birbirine benzeyen ve diğer gruplardaki nesnelere benzemeyen bir veri koleksiyonu olduğundan; verilerin örtülü bir sınıfı olarak ele alınabilir.

Öbekleme teknikleri, uzaktan algılama uygulamalarında da sıklıkla kullanılmaktadır [21, 22]. Öbekleme, özellikle uzaktan algılama ile elde edilen imgelerdeki piksellerin sınıflandırılması ve gruplandırılmasında faydalıdır. Çünkü çoğu uzaktan algılama uygulamalarında, piksellerin önsel (apriori) etiketleri mevcut değildir ve bundan dolayı gözlenen yansıma miktarına bağlı olarak pikselleri öbeklemek için öbekleme teknikleri gerekmektedir [23].

Öbekleme analizinin girdisi bir örüntü matrisi ile ifade edilebilmektedir. N adet nesne (veri) kümesindeki her öğe, D adet ölçüm (öznitelik) ile ifade edildiği durumda, her nesne bir örüntü ile ifade edilebilir. Öznitelik değerleri kümesi, bir örüntüdür ve N adet nesne kümesi $N \times D$ boyutlu örüntü matrisi ile ifade edilebilir. Bu matrisin her satırı bir örüntüyü, her sütunu ise bir özniteliği tanımlamaktadır. Örneğin, radar ekoları veya biyolojik sinyaller gibi zamana bağlı fonksiyonlar gruplandırıldığında bu sinyale ait bir öznitelik, sinyalin ortalama değeri gibi, belirli bir zamanda alınan örnek

bir değer olabilir. Bu öznitelik kümesi ise örüntüyü ifade eder. Bütün örüntüler için aynı özniteliklerin ölçülebilir olması gerekmektedir. D adet öznitelik, D boyutlu bir uzayı, örüntü uzayını ifade eder ve N adet örüntünün her biri bu D boyutlu uzaydaki bir noktadır. Bu sebeple, örüntü kelimesi örüntü uzayındaki bir nokta olarak da kullanılabilir.

3.1.1. Öbekleme Geçerlilik İndisleri

Öbekleme Geçerlilik İndisleri (Cluster Validity Indices), öbekleme yöntemlerinin performansının değerlendirilmesinde kullanılan bir ölçüttür. Öbekleme geçerliliğinde kullanılan doğrulama teknikleri, içsel ve dışsal geçerlilik yöntemleri olarak iki gruba ayrılabilir. İçsel geçerlilik, gerçek veriler (ground truth data) mevcut değilse, uygun öbekleme sayısını tahmin etmek için verinin kendisine ait içsel bilgileri kullanır [24]. Dışsal geçerlilik ise, öbekleme işleminin sonuçlarını temel gerçek verilerle yani referans verilerle karşılaştırır [25] .

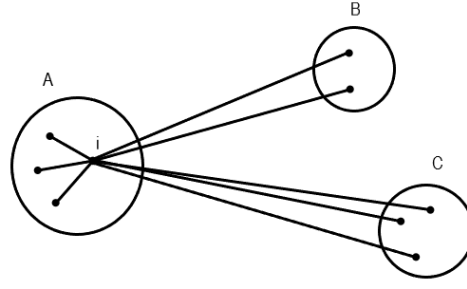
Tez çalışmasında, gerçek veriler olmaksızın gözetimsiz sınıflandırma yöntemleri incelendiği için, performans ölçütü olarak içsel geçerlilik kullanılmıştır. Literatürde pek çok içsel geçerlilik indisleri bulunmakla beraber, bu çalışmada içsel geçerlilik hesabı için Siluet İndisi kullanılmıştır. Çünkü Siluet İndisinin performansı diğer içsel geçerlilik yöntemlerine göre daha tutarlı sonuçlar verebilmektedir [24].

3.1.1.1. Siluet İndisi

Siluet değerlerini hesaplamak için 3 girdiye ihtiyaç vardır: öbekleme işleminin girdisi olan örüntü matrisi, nesnelere grup indislerinin olduğu grup indisleri vektörü ve uzaklık hesaplamasında kullanılacak olan fonksiyonun türü.

Örüntü matrisindeki her bir veri noktası için Siluet değeri hesaplanmalıdır ve Siluet hesabı Şekil 3-1 üzerinden açıklanacaktır [26].

Şekil 3-1'de A,B ve C olmak üzere 3 grup bulunmaktadır ve i değişkeni i. veri noktasını ifade etmektedir.



Şekil 3-1 Siluet İndisi Gösterimi

Şekil 3-1'deki i. nesneye ait Siluet değeri $s(i)$ denklem (1) ile hesaplanabilmektedir.

$$s(i) = \begin{cases} 1 - \frac{a(i)}{b(i)}, & a(i) < b(i) \\ 0, & a(i) = b(i) \\ \frac{b(i)}{a(i)} - 1, & a(i) > b(i) \end{cases} \quad (1)$$

$a(i)$: i. nesnenin, A grubundaki diğer nesnelere olan ortalama benzersizlik değeri

$d(i, C)$: i. nesnenin, C grubundaki diğer nesnelere olan ortalama benzersizlik değeri

$d(i, C)$, i. veri noktasından C grubundaki tüm noktalara olan uzaklıkların ortalama uzunluğunu ifade etmektedir.

$$b(i) = \text{minimum } d(i, C), \quad (C \neq A \text{ iken }) \quad (2)$$

Denklem (1) , tek formül ile de denklem (3) teki gibi ifade edilebilir.

$$s(i) = \frac{b(i) - a(i)}{\max\{a(i), b(i)\}} \quad (3)$$

Denklemden de anlaşılacağı üzere Siluet değeri $s(i)$ -1 ile 1 arasında değerler alabilmektedir.

$$-1 \leq s(i) \leq 1 \quad (4)$$

$a(i) < b(i)$ olduğunda yani i. nesnenin grup A'daki noktalara olan uzaklığı (benzersizliği) diğer gruplardaki noktalara olan mesafeden küçük olduğunda, Siluet değeri 1'e yakınsayacaktır. Bu durum ise i. noktanın grup A'ya ait olduğunun bir

göstergesidir. Grup A, sadece bir nesne içerdiği durumda, $a(i)$ 'nin nasıl hesaplanacağı açık olmadığı için $s(i)$ değeri sıfır alınmaktadır. $a(i) > b(i)$ olduğunda ise $s(i)$ değeri -1'e yakınsayacaktır. Bu sonuç i. nesnenin öbikleme doğruluğunun kötü olduğunun bir göstergesidir.

3.1.2. K-Ortalamlar (K-Means) Öbikleme Yöntemi

K-Ortalamlar, verilerin uzaklık bilgisini kullanarak öbikleme yapan en popüler öbikleme yöntemlerinden birisidir. Veri içerisinde rastgele seçilen K adet noktaya olası küme merkezi gözüyle bakılmaktadır ve tüm veri noktaları, küme merkezlerine uzaklıklarına göre öbiklenmektedir. N adet gözlemden oluşan ve her gözlemin de D boyutlu bir vektör olduğu $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ veri kümesine, K-Ortalamlar uygulanarak veri kümesi K adet gruba ayrılır. Veri kümesindeki noktaların ilgili gruplara atanabilmesi için veri kümesindeki noktaların grup merkezlerine olan uzaklıklarının karelerinin toplamını minimum yapan grup indisi bulunur. Bunun için denklem (5)'te verilen maliyet fonksiyonunu minimum yapan a_{nk} ve μ_k değerlerinin yinelemeli bir prosedürle bulunması gerekmektedir.

$$J = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K a_{nk} \|x_n - \mu_k\|^2 \quad (5)$$

N, toplam veri sayısını, K grup sayısını ve μ_k ise k. grubun merkezini ifade etmektedir.

$$a_{nk} = \begin{cases} 1, & x_n \in C_k \\ 0, & \end{cases} \quad (6)$$

Denklem (5)'te verilen maliyet fonksiyonu J'yi minimum yapan a_{nk} ve μ_k değerlerinin hesaplanması için aşağıdaki ardışık iki adımın gerçekleştirilmesi gerekmektedir:

1. μ_k sabit tutularak, J a_{nk} 'ya göre minimize edilmelidir.

Denklem (5)'teki maliyet fonksiyonu J, a_{nk} 'nın lineer bir fonksiyonudur ve farklı n değerleri için bağımsızdır. Bundan dolayı her n için $\|x_n - \mu_k\|^2$ 'yi minimum yapan k değerindeki $a_{nk} = 1$ olacak şekilde optimize edilir.

$$a_{nk} = \begin{cases} 1, & k = \min_j \|x_n - \mu_j\|^2 \\ 0, & \end{cases} \quad (7)$$

2. a_{nk} sabit tutularak, J μ_k ' ya göre minimize edilmelidir. J fonksiyonu, μ_k nın ikinci dereceden bir fonkiyonudur ve μ_k 'ya göre türevi alınıp sıfıra eşitlendiğinde denklem (8) elde edilir.

$$2 \sum_{n=1}^N a_{nk} (x_n - \mu_k) = 0 \quad (8)$$

$$\mu_k = \frac{\sum_n a_{nk} x_n}{\sum_n a_{nk}} \quad (9)$$

Denklem (9)'daki payda, k. gruba atanan nokta sayısına eşittir. Bundan dolayı bu sonuç göstermektedir ki, μ_k k. gruba atanan x_n noktalarının ortalamasına eşittir. Bunun için bu yöntem K-Ortalamlar algoritması olarak bilinmektedir.

Bu iki aşama, J değeri yakınsayana kadar tekrar edilir.

K-Ortalamlar algoritmasının aşamaları sırasıyla aşağıda özetlenmiştir:

1. Rastgele K adet grup merkezi belirlenir.
2. Veri kümesindeki noktalar, kendisine en yakın küme merkezine göre bir gruba atanır.
3. Her gruba atanan veri noktalarının kendi içinde ortalaması alınarak grup merkezleri güncellenir.
4. Gruba ait veri noktalarında değişim olmayana kadar 2. adıma gidilerek işlemler tekrarlanır.

K-Ortalamlar algoritması basit, hızlı ve uygulaması kolay bir yöntem olması açısından tercih edilmektedir [26]. Ayrıca gerçek dünyadaki birçok kullanımda yeterince iyi performans gösterdiği durumlar mevcuttur [27]. Ancak algoritma rastgele noktalar ile başlatıldığından elde edilen her sonuç kararlı olmayabilir ve bu durumda en uygun grubun bulunma garantisi yoktur. K-Ortalamlar algoritmasının girdi olarak grup sayısını alması da verilerde doğal olarak kaç tane küme bulunduğu dair makul bir tahmin gerektirir. Bu durum bazı uygulamalar için dezavantaj olabilmektedir.

3.2. Öznitelik Çıkarma Yöntemleri

Makine öğrenimi ve örüntü tanıma alanlarında sıklıkla kullanılan öznitelik çıkarma, veri kümesi girdisini kullanarak özniteliklerin türetilme işlemidir [28]. Öznitelik çıkarma, girdi verilerini bir dizi özniteliğe dönüştürme süreci olarak da tanımlanabilir. Makine öğrenmesi yöntemlerinde sınıflandırma algoritmaları kadar veri kümesinden elde edilen özniteliklerin kalitesi de sınıflandırıcının performansına ve başarı oranına etki eden önemli bir faktördür. Sınıflandırıcının eğitimi esnasında sınıflandırma performansını olumsuz yönde etkileyen gereksiz bilgi ve gürültü içeren öznitelikleri elemek amacıyla veri kümeleri üzerinde çeşitli boyut düşürme, öznitelik çıkarma ve öznitelik seçim yöntemleri sıkça kullanılmaktadır. Öznitelikler genelde renk, şekil, doku veya içeriğe bağlı bilgiler içerir. Bir imgenin ham verileri, imgelerdeki detayın anlaşılabilmesi ve imgeye dair bir iç görü elde edilebilmesi için analiz edilmelidir. Girdi verileri işlenemeyecek kadar büyükse ve fazlalık bilgi taşıdığından şüpheleniliyorsa veriler azaltılmış bir öznitelik gösterim kümesine dönüştürülür. Bu sebeple öznitelik çıkarma, özel bir boyut indirgeme biçimi olarak da düşünülebilmektedir. Böylece öznitelik çıkarımı ile büyük bir veri kümesini açıklamak için gereken değişken sayısı azaltılabilmekte ve veri içindeki en güçlü örüntü bulunmaktadır. Bir sınıflandırma çalışmasında gözlem verileri doğrudan girdi olarak sisteme beslenebilir ve ideal olarak öznitelik çıkarımı veya seçimi ayrı bir işlem olarak ele alınmayabilir. Ancak veri boyutu indirgemesinin ayrı bir ön işleme aşaması olarak ele alınması aşağıda verilen sebeplerden dolayı faydalıdır [29]:

- Bir sınıflandırma algoritmasının çalışma hızı ve karmaşıklığı, algoritmanın girdisi olan veri kümesindeki örnek sayısı ve öznitelik sayısı ile doğrudan ilişkilidir. Bu sebeple, daha az bellek alanı ve işlemci gücü için veri boyutunun indirgenmesi önem arz etmektedir.
- Basit sınıflandırıcılar küçük veri kümeleri üzerinde çalıştırıldığında daha güvenilir sonuçlar verebilmektedir.
- Bir veri kümesi az sayıda öznitelik ile bilgi kaybı olmaksızın açıklanabildiğinde veri yapısı hakkında daha kolay bir fikir elde edilebilmektedir. Çünkü çoğunlukla verinin sahip olduğu çeşitlilik, indirgenen küçük bir boyut setiyle de yakalanabilmektedir. Verideki gürültüler, örüntülerden daha güçsüz olduklarından boyut indirgeme sonrasında bu gürültüler temizlenebilmektedir.

- Veri yapısının oluşumuna ve verideki değişime katkısı az olan özneliklerin boyut indirgeme ile çıkarılması sayesinde, veriye ait öznelikler arasındaki ilişkinin yorumlanabilmesi ve veri yapısının görsel analizi daha anlaşılır olabilmektedir.

Boyut indirgeme işlemi için iki ana yöntem bulunmaktadır: öznelik seçimi ve öznelik çıkarımı. Öznelik seçiminde, d boyutlu veriden, yani d adet özneliğe sahip veriden, veri karakteristiğine en çok katkısı olan k adet öznelik seçilmekte ve kalan (d-k) adet öznelik göz ardı edilmektedir. Öznelik çıkarımında ise veriye ait d adet boyutun farklı birleşimlerinden k adet (k<d) boyut oluşturularak yeni öznelikler elde edilmektedir. Öznelik seçiminde var olan öznelikler arasından bir alt küme öznelikleri seçilmekte, ancak öznelik çıkarımında var olan öznelikler kullanılarak yeni öznelikler oluşturulmaktadır. Yeni özneliklerin elde edilmesinde gözetimsiz ve gözetimli sınıflandırma yöntemleri mevcuttur. Bu tez çalışmasında öznelik çıkarma aşaması için gözetimsiz sınıflandırma yöntemleri kullanılmıştır.

3.2.1. Moment Tabanlı Yöntemler

Dokuya ait özneliklerin seçiminde gri seviye imgelerin histogram özellikleri kullanılmıştır. Histogram özellikleri olarak en yaygın kullanıma sahip istatistiksel momentler olan ortalama, varyans, çarpıklık ve kurtosis seçilmiştir.

Ortalama Değer

N adet verinin (x_n) ortalaması denklem (10) ile hesaplanmaktadır.

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \quad (10)$$

Varyans

Varyans, verilerin ortalamadan sapma miktarının karelerinin toplamıdır ve denklem (11) ile hesaplanmaktadır.

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2 \quad (11)$$

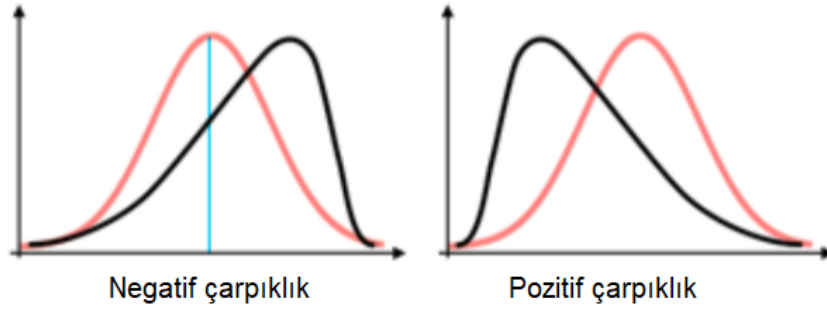
Çarpıklık (Skewness)

İstatistik alanında çarpıklık rastgele bir değişkenin ortalamaya göre olasılık dağılımının asimetrisinin bir ölçüsüdür.

$$\text{çarpıklık katsayısı} = \frac{\frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^3}{\left(\frac{1}{N-1} * \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2\right)^{3/2}} = \frac{\frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^3}{\sigma^3} \quad (12)$$

Başka bir deyişle, çarpıklık, yatay simetriden ayrılmayı yani çarpıklığın miktarını ve yönünü gösterir

Çarpıklık (skewness) katsayısı normal dağılımda sıfırdır. Negatif çarpıklık katsayısı, sağa çarpık dağılıma; pozitif çarpıklık katsayısı ise sola çarpık dağılıma işaret eder.



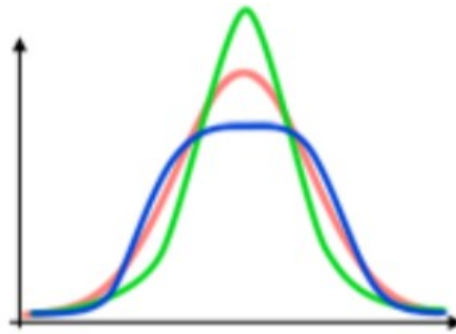
Şekil 3-2 Çarpıklık Eğrileri

Basıklık (Kurtosis)

Kurtosis standart bir çan eğrisine göre merkezi tepe noktasının yüksekliğini ve netliğini gösterir.

$$\text{basıklık katsayısı} = \frac{\frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^4}{\left(\frac{1}{N-1} * \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^2\right)^2} - 3 = \frac{\frac{1}{N} * \sum_{n=1}^N (x_n - \bar{x})^4}{\sigma^4} - 3 \quad (13)$$

Basıklık (kurtosis) katsayısı normal dağılımda sıfırdır. Negatif basıklık katsayısı, basık bir dağılımı; pozitif basıklık katsayısı ise sivri bir dağılımı işaret eder.



Şekil 3-3 Basıklık Örnekleri

Denklem (13) sonundaki -3 değeri, genellikle Normal (Gaussian) Dağılımın basıklık katsayısını sifıra eşit yapmak için bir düzeltme olarak açıklanır. Çünkü basıklık katsayısı normal bir dağılım için 3'tür. Dağılımın Normal Dağılımdan anlamlı düzeyde farklılaşmıyor olması için çarpıklık ve basıklık katsayı değerlerinin (-1,+1) aralığında kalması beklenir.

3.2.2. Temel Bileşenler Analizi

Temel Bileşenler Analizi (TBA), gözetimsiz sınıflandırmada sıklıkla kullanılan istatistiksel bir boyut indirgeme ve öznitelik çıkarma yöntemidir. 1901 yılında Karl Pearson tarafından geliştirilen TBA, literatürde Karhunen-Loeve dönüşümü olarak da bilinmektedir [30]. TBA, aralarında ilinti bulunan bir veri kümesinin aralarında ilinti bulunmayan bir dizi doğrusal bileşenlere dönüştürülmesini ve uzayın daha az boyutlu temel bileşenler ile ifade edilmesini sağlamaktadır. Böylece d boyutlu bir uzayda yer alan veriler minimum bilgi kaybıyla daha az boyutlu ($k < d$) bir uzay ile gösterilebilirler.

Temel Bileşenler Analizi, verideki gürültünün azaltılması ve imge boyutunun indirgenmesi amacıyla imge işleme uygulamalarında [31] ve yüz tanıma sistemlerinde [32] sıklıkla kullanılan bir yöntemdir.

3.2.2.1. Temel Bileşenler Analizinin Teorik Hesaplamaları

TBA, verinin daha düşük boyutlu ($M < D$) lineer bir uzaya dik izdüşümü ile hesaplanmaktadır. Veri örnekleri ve izdüşümleri arasındaki ortalama kare mesafesini minimum yapan maksimum varyansa sahip lineer izdüşümleri bulunmaktadır [33].

Temel bileşenlerin bulunması için veri matrisindeki maksimum değişimin hesaplanması gerekmektedir. Bunun için veri matrisinin kovaryansı hesaplanarak kovaryans matrisinin öz değerleri ve öz vektörleri bulunmalıdır. Bulunan öz vektörler veriden elde edilen temel bileşenlerdir. Maksimum varyans değerine, yani öz değerine, karşılık gelen öz vektör birinci temel bileşendir. Birinci temel bileşenin hesaplanması aşağıda açıklanmaktadır ve aynı mantık diğer bileşenlerin bulunması için de geçerlidir [33].

Denklem (14)'te verilen X matrisi, girdi olan veri matrisini ifade etmektedir. X matrisi, D boyutlu N adet gözlemden oluşan $D \times N$ boyutlu bir veri matrisidir.

X matrisinin elemanları, x_{ij} , j. veri örneğinin i. boyutunu (özniteliğini) ifade etmektedir.

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \dots & x_{1N} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{D1} & \dots & x_{DN} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} | & | & | \\ x_1 & \dots & x_N \\ | & | & | \end{bmatrix} \quad (14)$$

u_D , D boyutlu uzayın yönlerini tanımlamak için D adet birim vektörü ifade etmektedir. N adet veri örneği birinci boyuta, u_1 , iz düşürülerek ortalaması hesaplanmalıdır.

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \quad (15)$$

İzdüşürülen verinin varyansı denklem (16)'da verilmektedir.

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (u_1^T x_n - u_1^T \mu)^2 = u_1^T S u_1 \quad (16)$$

Denklem (16)'da verilen S , kovaryans matrisini ifade etmektedir ve açılımı denklem (17)'de verilmektedir.

$$S = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (x_n - \mu)(x_n - \mu)^T \quad (17)$$

u_1 birim vektörü yönündeki varyansın, $u_1^T S u_1$, maksimum olduğu değeri bulmak için denklem (18)'de verilen Lagrange çarpanı kullanılmıştır.

$$u_1^T S u_1 + \lambda_1(1 - u_1^T u_1) = 0 \quad (18)$$

Denklem (18)'in u_1 'e göre türevinin sıfıra eşik olduğu nokta denklem (19)'da verilmektedir.

$$S u_1 = \lambda_1 u_1 \quad (19)$$

Denklem (19), u_1 vektörünün S matrisinin öz vektörü olduğunu göstermektedir. Denklem (19)'un her iki tarafı da u_1^T ile çarpılırsa, $u_1^T u_1 = 1$ olduğu için denklem (20) elde edilmektedir.

$$\mathbf{u}_1^T \mathbf{S} \mathbf{u}_1 = \lambda_1 \quad (20)$$

Denklem (20) göstermektedir ki, \mathbf{u}_1 vektörü en büyük öz değere, λ_1 , sahip özvektör olduğu zaman varyans maksimum olacaktır. Varyansı maksimum yapan öz vektör ise birinci temel bileşeni ifade edecektir.

Temel bileşenler analizinin kovaryans matrisi ile hesaplanma aşamaları aşağıda özetlenmiştir:

1. Veriye (\mathbf{X} matrisi) ait ortalama değer hesaplanır ve kendisinden çıkartılarak verinin ortalama değeri (\bar{X}) sıfırlanır.

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N x_n \quad (21)$$

x_n , n. veri örneğine ait $D \times 1$ boyutunda bir sütun vektörünü ifade etmektedir.

$$\Phi = \mathbf{X} - \bar{X} \quad (22)$$

Ortalaması sıfırlanmış veri matrisinin (Φ) kovaryans matrisi denklem (23) ile hesaplanır.

$$\mathbf{S} = \frac{1}{N-1} \Phi \Phi^T \quad (23)$$

2. Kovaryans matrisinin öz değerleri $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_D$ bulunur.
3. Hesaplanan öz değerlerden en büyük ilk k tanesi öz değer olarak seçilir ve bu değerlere karşılık gelen v_i öz vektörleri veriye ait k adet temel bileşeni ifade etmektedir.
4. Bulunan v_i öz vektörleri ile ortalamaları çıkartılmış yeni $\Phi = [\Phi_1 \dots \Phi_M]$ değerleri çarpılarak boyutları indirgenmiş yeni izdüşümü vektörleri denklem (24) ile elde edilir.

$$\omega_{ik} = v_k^T \Phi_i = v_k^T (\mathbf{X}_i - \bar{X}), \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (24)$$

Boyutları indirgenmiş vektörler kümesi denklem (25)'te verilmektedir.

$$\mathbf{\Omega} = [\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_M] \quad (25)$$

Temel Bileşenler Analizinde öz değer sayısının belirlenmesi önemlidir. Öz değerler büyükten küçüğe sıralandıktan sonra bu öz değerlere karşılık gelen öz vektörler seçilir. Öz değer büyük olması seçilen öz vektörün veri kümesi hakkında daha çok bilgi içerdiğini göstermektedir. Öz değer sayısının seçimi için kesin ve standart bir görüş bulunmamasıyla beraber problem türüne, kullanıcının tercihine ve ihtiyaca göre farklılık gösterebilmektedir. Öz değer sayısı seçimi için TBA'nın sağlamlığı denklem (26) ile hesaplanabilmektedir [34] ve genel yaklaşım olarak öz değerler toplamının %95'ini sağladığı durumdaki öz vektörlerin seçilebileceği değerlendirilmektedir. Yani denklem (26)'da TBA sağlamlığının %95 olmasını sağlayan M değeri öz değer sayısı olarak belirlenebilmektedir [35].

$$TBA \text{ sağlamlığı} = \frac{\sum_{i=1}^M \lambda_i}{\sum_{i=1}^D \lambda_i} \quad (26)$$

3.2.3. Özyüz (Eigenface)

Özyüz (Eigenface), Temel Bileşenler Analizinin iki boyutlu veri kümelerine uygulandığı bir boyut indirgeme ve öznitelik çıkarma yöntemidir. 1991 yılında M.Turk ve A.Petland tarafından geliştirilen yöntem, imge tanıma ve sınıflandırma uygulamaları için önemli bir adım olmuştur [32]. Özyüz yöntemi, bilgisayarlarla yüz tanıma sistemleri, güvenlik sistemleri, imge ve film işleme gibi çeşitli uygulamalarda kullanılmaktadır. Örneğin, bu sayede belirli bir yüze ait imge sistemde depolanmış büyük veri kümesi içerisinde ayırt edilebilmektedir ve bu durum suçluların tespit edilmesi gibi çeşitli güvenlik işlemlerinde de kullanılabilir. Özyüz terimi, yüz imgelerinin karakteristik özelliklerini belirlemek için imgelere ait öz vektörleri ifade etmektedir. Bu öz vektörlerle yüz imgeleri arasındaki değişim karakterize edilmektedir. Her bir yüz özyüzlerin lineer birleşimi olarak ifade edilebilmektedir.

3.2.3.1. Özyüz (Eigenface) Teorik Hesaplamaları

X matrisi $N \times N$ boyutunda bir imge olduğu durumda Özyüz yöntemine ait algoritma adımları sırasıyla aşağıda verilmektedir [32].

- X girdi imgesi $N^2 \times 1$ boyutunda bir vektör (Γ_i) haline getirilir. Γ_i , i. imge vektörünü ifade etmektedir.
- Elde edilen imge vektörleri kullanılarak ortalama yüz vektörü elde edilir.

$$\Psi = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Gamma_n \quad (27)$$

Denklem (27)'deki M , veri kümesindeki imge sayısını ifade etmektedir.

- Ortalama yüz vektörü girdi imgelerinden çıkarılarak ortalaması sıfırlanmış imge vektörleri (Φ_i) elde edilir.

$$\Phi_i = \Gamma_i - \Psi, \quad i = 1, \dots, M \quad (28)$$

- Φ_i vektörlerinin temel bileşenlerinin bulunması için kovaryans matrisi hesaplanır.

$$C = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \Phi_i \Phi_i^T = AA^T \quad (29)$$

Denklem (29)'da verilen A değişkeni, ortalaması sıfır imge vektörlerinden (Φ_i) oluşan $N^2 \times M$ boyutunda bir matristir.

$$A = [\Phi_1 \ \Phi_2 \ \dots \ \Phi_M] \quad (30)$$

Denklem (30)'da verilen C kovaryans matrisi $N^2 \times N^2$ boyutundadır ve N^2 adet öz vektörünün hesaplanması gerekmektedir. Bu durum yüksek bir hesaplama maliyetine sebep olmaktadır. M.Turk ve A.Petland tarafından bulunan Özyüz yöntemi tam da bu noktada önemli bir adımın atılmasını sağlamıştır. [32]'de, özdeğer ve öz vektörlerinin hesabı CC^T yerine C^TC ile yapılarak işlem yükü azaltılmıştır. [32]'de belirtildiği gibi imge uzayındaki imge noktalarının sayısı (M), imge uzayının boyutundan çok küçük ise ($M < N^2$), burada yalnızca ($M - 1$) adet öz vektör anlamlıdır ve N^2 adet öz vektörün hesaplanmasına gerek yoktur. Çünkü kalan öz vektörlere ait öz değerler sıfır değerini alacaktır. Bu durumun ispatı aşağıda verilmektedir.

$C = AA^T$ kovaryans matrisinin öz vektörlerini (v_i) ele alırsak, denklem (29) ile ifade edebiliriz.

$$AA^T v_i = \lambda_i v_i \quad (31)$$

Denklem (31) eşitliğinin her iki tarafı A matrisi ile çarpıldığında denklem (32) elde edilir ve $C = AA^T$ matrisinin öz vektörleri $A v_i$ olmaktadır. Bu durum M adet v_i öz vektörü ile C matrisinin kovaryansının bulunacağını göstermektedir.

$$(AA^T)A v_i = \mu_i A v_i \quad (32)$$

$M \times M$ boyutundaki $L = A^T A$ ($L_{mn} = \Phi_m^T \Phi_n$) matrisinin M adet öz vektörünün lineer birleşimi ile elde edilen özyüzler, denklem (33)'te gösterildiği gibi elde edilmektedir.

$$u_l = \sum_{k=1}^M v_{lk} \Phi_k \quad (33)$$

Bu analiz ile hesaplama maliyeti, imgedeki pixel sayısından (N^2) imge sayısına (M) kadar azaltılabilmektedir. Özetle, $C = AA^T$ matrisinin öz vektörlerinin hesaplanması yerine $C = A^T A$ matrisinin öz vektörleri bulunur.

Bu işlemler sonucunda $M \times M$ boyutunda bir matris elde edilir ve M adet öz nitelik bulunmuş olur. Bulunan öz niteliklerden kaç tanesinin öz nitelik olarak seçileceği konusunda herhangi bir ölçüt bulunmamaktadır. Büyük öz değerlere sahip öz vektörlerin veriye ait daha fazla karakteristik bilgi taşıdığı düşünülerek bir karar verilmesi gerekmektedir. Bu seçim sonrasında $M \times M$ boyuttan daha düşük boyutta bir öz nitelik uzayı elde edilmekte ve böylece büyük boyutlu imgeler daha düşük boyutlarla ifade edilebilmektedir.

3.2.4. Çekirdek (Kernel) Temel Bileşenler Analizi

Çekirdek (Kernel) Temel Bileşenler Analizi (ÇTBA), doğrusal dağılıma sahip olmayan verilere doğrusal olmayan bir dönüşüm uygulayarak verilerin doğrusal bileşenler ile ifade edilmesini sağlayan gözetimsiz bir öz nitelik çıkarma yöntemidir. Bu işlemin gerçekleştirilmesi için veri kümeleri daha yüksek bir boyuta taşınır ve o veri kümesi doğrusal olarak ayrılabilir duruma getirilir.

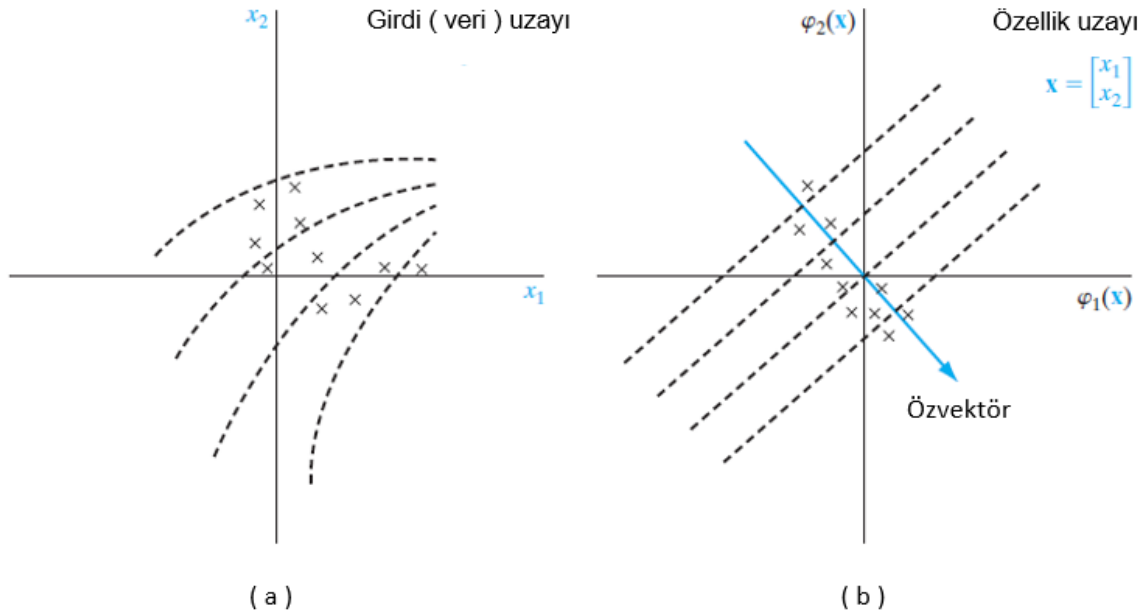
ÇTBA yöntemi ile orijinal veri uzayında doğrusal dağılım göstermeyen veri noktaları, doğrusal olmayan bir dönüşüm fonksiyonu ile öz nitelik uzayına iz düşürülür. Bu sayede orijinal veri uzayında doğrusal olmayan dağılıma sahip girdiler, öz nitelik

uzayında doğrusal bir dağılıma sahip olurlar ve doğrusal yöntemlerle birbirinden ayrılabilirler.

TBA yöntemi ikinci dereceden istatistiklere dayanırken, ÇTBA ile verideki yüksek dereceden öznitelikler çıkarılabilmektedir [36]. Bundan dolayı doğrusal yöntemlerle ayrıştırılamayan karmaşık veri kümelerindeki yapı ÇTBA ile ayrıştırılabilmektedir. Ancak TBA ile kıyaslandığı zaman, kernel matrisinin boyutuna bağlı olarak ÇTBA daha yüksek hesaplama maliyetine sahiptir.

3.2.4.1. Kernel Temel Bileşenler Analizinin Teorik Hesaplamaları

$x_i \in R^N$, $i = 1, \dots, N$ şeklinde tanımlı bir veri kümesi olduğu durumda, veri kümesindeki ilgili noktaların öznitelik uzayındaki karşılığı $\Phi(x_i)$ öznitelik vektörü ile ifade edilmektedir. $\Phi \in R^D \rightarrow R^M$ şeklinde doğrusal olmayan bir dönüşüm fonksiyonunu temsil etmektedir ve D boyutlu veri kümesinin tanımlı olduğu girdi uzayından M boyutlu öznitelik uzayına dönüşümü sağlamaktadır. Yani $\Phi(x_i)$ vektörü, her x_i örneğini M boyutlu öznitelik uzayında $\Phi(x_i)$ noktasına dönüştürmektedir. Bu durum Şekil 3-4'te gösterilmiştir.



Kernel Temel Bileşenler Analizinin hesabında, Temel Bileşenler Analizinde olduğu gibi öncelikle ortalaması sıfır olan öznelik vektörleri $\tilde{\Phi}(x)$ elde edilmelidir [36].

$$\tilde{\Phi}(x) = \Phi(x) - \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N \Phi(x_i) \quad (34)$$

Denklem (34)'te, x N adet veri örneğinden oluşmaktadır. Her x_i veri örneği ise D boyutlu sütun vektöründen oluşmaktadır. Bu işlem sonrasında merkezi sıfır olan $M \times N$ boyutlu $\tilde{\Phi}(x)$ elde edilmektedir.

Denklem (35)'te ise $\tilde{\Phi}(x)$ matrisine ait kovaryans hesaplaması verilmektedir. S kovaryans matrisi $M \times M$ boyutunda olup her özneliğin birbiri ile ilişkisini gösteren bir ölçüttür.

$$S(x) = \frac{1}{N} * \sum_{i=1}^N \tilde{\Phi}(x_i) \tilde{\Phi}^T(x_i) \quad (35)$$

S kovaryans matrisinin öz vektörleri (v) ve öz değerleri (λ) arasındaki ilişki denklem (36)'da verilmiştir.

$$Sv_i = \lambda v_i, i = 1, 2, \dots, M \quad (36)$$

Denklem (37)'de gösterildiği gibi v_i öz vektörü, $\tilde{\Phi}(x_i)$ bileşenlerinin doğrusal birleşimi olarak ifade edilebilmektedir.

$$v_i = \sum_{i=1}^N \beta_{ni} \tilde{\Phi}(x_i) \quad (37)$$

Denklem (35), denklem (36)'da yerine konulduğu zaman denklem (38) elde edilmektedir.

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \tilde{\Phi}(x_n) \tilde{\Phi}^T(x_n) v_i = \lambda_i v_i \quad (38)$$

Denklem (37), denklem (38)'de yerine konulduğunda ise denklem (39) elde edilmektedir.

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \tilde{\Phi}(\mathbf{x}_n) \tilde{\Phi}^T(\mathbf{x}_n) \sum_{m=1}^N \beta_{im} \tilde{\Phi}^T(\mathbf{x}_m) = \lambda_i \sum_{n=1}^N \beta_{in} \tilde{\Phi}(\mathbf{x}_n) \quad (39)$$

Denklem (39)'da verilen eşitliğin her iki tarafı da $\tilde{\Phi}^T(\mathbf{x}_l)$ ile çarpıldığında, denklem (39)'daki ifadenin kernel fonksiyon $k(\mathbf{x}_l, \mathbf{x}_m) = \tilde{\Phi}^T(\mathbf{x}_l) \tilde{\Phi}(\mathbf{x}_m)$ gösterimi denklem (40) ile gösterilmiştir.

$$\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N k(\mathbf{x}_l, \mathbf{x}_n) \sum_{m=1}^N \beta_{im} k(\mathbf{x}_n, \mathbf{x}_m) = \lambda_i \sum_{n=1}^N \beta_{in} k(\mathbf{x}_l, \mathbf{x}_n) \quad (40)$$

Denklem (40)'ın matris çarpımı gösterimi denklem (41)'de verilmektedir.

$$\mathbf{K}^2 \boldsymbol{\beta}_i = \lambda_i \mathbf{N} \mathbf{K} \boldsymbol{\beta}_i \quad (41)$$

Denklem (41)'de verilen $\boldsymbol{\beta}_i$, N boyutlu bir sütun vektörüdür. $\boldsymbol{\beta}_i$ 'nin çözüm kümesini bulmak için denklem (42)'de verilen öz değer probleminin çözülmesi gerekmektedir. \mathbf{K} ise $N \times N$ boyutunda Kernel matrisini veya Gram matrisini ifade etmektedir. \mathbf{K} Kernel matrisinin i. satır, j. sütundaki değeri Kernel $k(\mathbf{x}_i, \mathbf{x}_j)$ dir.

$$\mathbf{K} \boldsymbol{\beta}_i = \lambda_i \mathbf{N} \boldsymbol{\beta}_i \quad (42)$$

$\boldsymbol{\beta}_i$ katsayıları için normalizasyon koşulu, öznelik uzayındaki \mathbf{v}_i öz vektörlerinin normalleştirilmesi suretiyle elde edilir. Bu durum denklem (43)'te verilmektedir.

$$\mathbf{v}_i^T \mathbf{v}_i = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^N \beta_{in} \beta_{im} \tilde{\Phi}^T(\mathbf{x}_n) \tilde{\Phi}(\mathbf{x}_m) = \boldsymbol{\beta}_i^T \mathbf{K} \boldsymbol{\beta}_i = \lambda_i \mathbf{N} \boldsymbol{\beta}_i^T \boldsymbol{\beta}_i = 1 \quad (43)$$

Kernel temel bileşenlerine ait izdüşümlerin kernel fonksiyonu ile hesaplanması denklem (44)'te gösterilmiştir. Denklem (44)'te geçen \mathbf{v}_i değişkeninin açılımı denklem (37)'de verilmiştir.

$$y_i(\mathbf{x}) = \tilde{\Phi}^T(\mathbf{x}) \mathbf{v}_i = \sum_{n=1}^N \beta_{in} \tilde{\Phi}^T(\mathbf{x}) \tilde{\Phi}(\mathbf{x}_n) = \sum_{n=1}^N \beta_{in} k(\mathbf{x}, \mathbf{x}_n) \quad (44)$$

Orijinal D boyutlu veri uzayında D adet dik öz vektör ve lineer temel bileşen bulunmaktaydı. Ancak doğrusal olmayan Φ dönüşüm fonksiyonu ile M boyutlu

öznitelik uzayı elde edildi. Buradaki M değeri, D boyuttan büyük bir değer olabilir. Bundan dolayı D boyuttan büyük doğrusal olmayan temel bileşenler elde edilebilmektedir. Fakat sıfır olmayan öz değerlerin sayısı veri sayısı N 'den daha büyük olamayacağı için öznitelik uzayındaki kovaryans matrisi en çok N eşit rank değerine sahip olacaktır. Bu durum Kernel TBA'nın öz vektörlerinin $N \times N$ boyutundaki K matrisinden elde edileceğinin göstergesidir. Ortalaması sıfırlanmış Kernel matrisi \tilde{K} 'nin açılımı ve elemanları denklem (45)'te gösterilmiştir.

$$\begin{aligned}
\widetilde{K}_{nm} &= \tilde{\Phi}^T(x_n) \tilde{\Phi}(x_m) = \Phi^T(x_n) \Phi(x_m) - \frac{1}{N} * \sum_{l=1}^N \Phi^T(x_l) \Phi(x_n) \\
&\quad - \frac{1}{N} * \sum_{l=1}^N \Phi^T(x_l) \Phi(x_m) + \frac{1}{N^2} * \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^N \Phi^T(x_j) \Phi(x_l) \quad (45) \\
&= k(x_n, x_m) - \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N k(x_l, x_m) - \frac{1}{N} \sum_{l=1}^N k(x_n, x_l) + \frac{1}{N^2} \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^N k(x_j, x_l)
\end{aligned}$$

Denklem (45)'in matris formatındaki açılımı denklem (44)'te verilmiştir.

$$\tilde{K} = K - \mathbf{1}_N K - K \mathbf{1}_N + \mathbf{1}_N K \mathbf{1}_N \quad (46)$$

Denklem (46)'da verilen $\mathbf{1}_N$ değişkeni, $N \times N$ bir matrisi ifade etmektedir ve elemanları $1/N$ 'den oluşmaktadır. Denklem (46), \tilde{K} matrisinin sadece Kernel matrisi K kullanılarak elde edilebileceğini göstermektedir.

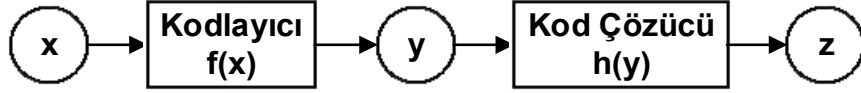
Kernel yöntemlerinin avantajı kernel dönüşüm fonksiyonlarının açıkça hesaplanmasını gerektirmemesidir.

3.2.5. Oto Kodlayıcı (Autoencoder)

Oto kodlayıcılar, öğrenme görevi için sinir ağlarından yararlanan, boyut indirgeme ve özellik çıkarma işlemleri için kullanılan gözetimsiz bir öğrenme tekniğidir. Başka bir deyişle bir oto kodlayıcı, girdi verisini tahmin etmek için eğitilen ileriye dönük bir sinir ağıdır. Oto kodlayıcı sinir ağları orijinal verinin sıkıştırılmış veri formatında gösterimini sağlayacak şekilde tasarlanır. Girdi verilerinin özellikleri birbirinden bağımsız olduğu durumda girdilerin sıkıştırılması ve sonrasında yeniden oluşturulması zor bir işlemi gerektirmektedir. Ancak girdi verilerinde benzer örüntüler

mevcut ise, girdi özellikleri arasında korelasyonlar varsa, girdi verilerindeki bu örüntü öğrenilebilir [37].

Bir otomatik kodlayıcı Şekil 3-5'te gösterildiği gibi iki kısımdan oluşmaktadır: kodlayıcı (encoder) ve kod çözücü (decoder).

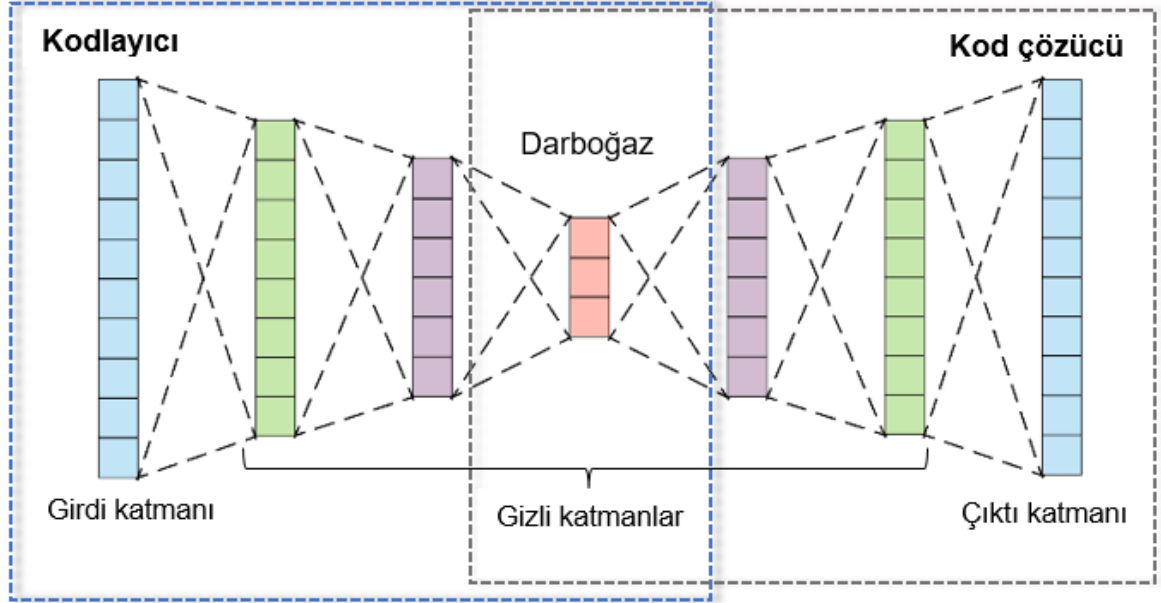


Şekil 3-5 Oto Kodlayıcı Yapısı

Kodlayıcı, x girdisinden f fonksiyonu ile y kodunu (gizli vektör) oluşturur $y = f(x)$. Gizli vektör, x girdisinden elde edilen anlamlı öznitelikleri içermektedir. Kod çözücü ise, bu y kodunu h fonksiyonu ile z çıktısına dönüştürür $z = h(y)$. Burada girdi x ve çıktı z birbirlerine eşit olacağından bu işleme yeniden yapılandırma (reconstruction) denir. Burada dikkat edilmesi gereken nokta, oto kodlayıcı modelinin $h(f(x)) = z'$ i her yerde başarılı bir şekilde aşırı öğrenmesinin (overfitting) önüne geçmektir. Çünkü aşırı öğrenme durumunda, oto kodlayıcı girdiyi aynen çıktı olarak kopyalamış ve girdiyi temsil edecek güzel bir kod örneği oluşturamamış demektir. Aşırı öğrenme durumu, bir modelin eğitim seti için büyük başarı oranı vermesine rağmen eğitim seti dışındaki yeni bir veri kümesi için düşük bir başarı oranı elde etmesidir.

Kodlayıcı bloğu ile giriş katmanında yer alan girdi verilerine ait öznitelikler çıkarılır. Şekil 3-6'da gösterildiği gibi kodlayıcı, bir giriş katmanı ve bir veya daha fazla gizli katmandan oluşmaktadır. İlk kodlama katmanı, birinci katmanın çıktısını analiz eder ve daha düşük boyutlu özniteliklere kodlar. Son kodlama katmanına kadar bu döngü devam eder. Kod çözücü bloğu ise kodlayıcı ile elde edilen kodlanmış veriden çıktı verilerinin elde edilmesini sağlar.

Kod çözme katmanları, kodlanmış veriyi mümkün olduğu kadar yakından orijinal biçimine dönüştürmeyi öğrenir. Bir otomatik kodlayıcıda çıktı katmanındaki nöronların (düğümünün) sayısının giriş katmanındaki girdi sayısına eşit olması gerekmektedir.



Şekil 3-6 Oto Kodlayıcı Katmanları

Şekilde gösterildiği gibi girdi katmanında yer alan etiketsiz veri kümesi (x), girdi olarak sinir ağına verilir ve orijinal girdi verisi x 'in yeniden yapılandırılması sağlanarak çıktı katmanındaki çıktı verileri (\hat{x}) elde edilir. x girdi setinin \hat{x} çıktısına dönüştürülme süreci, yeniden oluşturma (reconstruction) aşamasıdır.

Bir otomatik kodlayıcı oluşturmak için en basit mimari, ağın içinden geçebilecek bilgi miktarını sınırlayarak ağın gizli katmanlarında bulunan düğümlerin sayısını sınırlandırmaktır. Sinir ağı modeli, girdi verilerinin en önemli özniteliklerini ve orijinal girdinin kodlanmış bir durumdan en iyi şekilde nasıl yapılandırılacağını öğrenebilir. İdeal durumda bu kodlama, giriş verilerinin gizli niteliklerini öğrenecek ve tanımlayacaktır [29]. Sinir ağı, orijinal girdi verisi ve yeniden yapılandırılan veri arasındaki yapılandırma hatası ($L(x, \hat{x})$) minimum olacak şekilde geri yayılım (backpropagation) algoritması kullanılarak öğrenme aşamasında eğitilir ve en uygun ağırlık değerleri belirlenir. $L(x, \hat{x})$, asıl girdi ve yeniden yapılandırılmış sonuç arasındaki farklılığın bir ölçütüdür.

Sistemin, girdi verisini birebir öğrenmesini engellemek için sinir ağının gizli katmanı genellikle dar bir boğaz yapısındadır. Şekil 3-6'da gösterilen otomatik kodlayıcılardaki bu darboğaz (bottleneck) yapısı ağ tasarımının kilit bir özelliğidir. Sistem, verinin en alakalı ve önemli özniteliklerini gizli katmanın gizli birimleri vasıtasıyla yakalayıp verinin yeniden yapılanma hatasını en aza indirebilir. Bir

bilgi dar boğazının olmaması durumunda ise, ağıımız girdi verilerini ağ boyunca geçirerek giriş değerlerini kolayca ezberlemeyi öğrenebilir.

Dar boğaz, girdi verilerini öğrenilmiş bir sıkıştırılmaya zorlayarak tüm ağı geçebilecek bilgi miktarını kısıtlar. İdeal bir otomatik kodlayıcı modeli, aşağıdaki durumları dengeler:

- Girdi verilerinin yeniden yapılandırılmasını doğru bir şekilde inşa etmek için girdilere duyarlıdır.
- Sinir ağı modelinin, girdi verilerini basitçe ezberlememesi veya aşırı uyumdan kaçınılması için de girdilere yeterince duyarsızdır.

Yukarıdaki maddelerde bahsedilen bu ödünleşim, girdi içindeki fazlalık verileri dikkate almadan girdideki farklılıklar gözetilerek sinir ağı modelinin oluşturulmasını gerektirir. Bu durum, sinir ağı modelinin kayıp fonksiyonu olan $L(x, \hat{x})$ 'a düzenleyici terim (regularizer) değişkeninin eklenmesiyle denklem (47)'deki gibi yeni kayıp fonksiyonu E ile gösterilebilir. Bu yeni yapıdaki otokodlayıcı modeline "Seyrek (Aralıklı) Oto Kodlayıcı (Sparse Autoencoder)" denilmektedir.

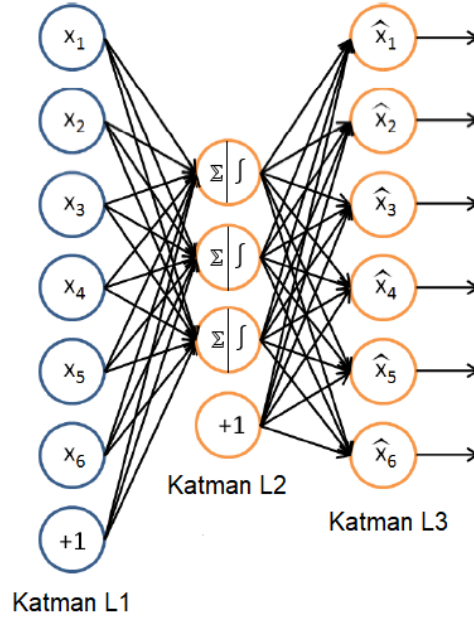
$$\text{Kayıp fonksiyonu} = L(x, \hat{x}) + \text{düzenleyici} \quad (47)$$

Denklem (47)'de verilen $L(x, \hat{x})$, yeniden oluşturma kaybını, *düzenleyici* ise veri kümesi ezberlenmesini önlemek için kullanılan bir değişkeni ifade etmektedir. Modelimizin verilerdeki gizli öznitelikleri bulmasını istediğimiz gerçeği göz önüne alındığında, otomatik kodlayıcı modelinin sadece eğitim verilerini ezberlemek için etkili bir yol öğrenmemesini sağlamak önemlidir. Bunun için sinir ağı modelinin verileri öğrenme aşamasının daha doğru bir şekilde gerçekleşebilmesi amacıyla bazı düzenleyici (regularizer) biçimler kullanılabilir. Detayları başlık 3.2.5.1'de verilecektir.

Yapay sinir ağları doğrusal olmayan ilişkileri öğrenebildiğinden doğrusal olmayan TBA'nın daha güçlü bir genellemesi olarak düşünülebilir. TBA, orijinal verileri tanımlayan daha düşük boyutlu bir hiper düzlemi keşfetmeye çalışırken oto kodlayıcılar doğrusal olmayan örüntüleri öğrenebilir. Ancak oto kodlayıcı modelinde kod çözücü doğrusal olduğunda ve $L(x, \hat{x})$ değişkeni ortalama kare hatası olarak seçildiğinde oto kodlayıcı TBA ile aynı alt uzayı taramayı öğrenecektir.

3.2.5.1. Oto Kodlayıcı Teorik Hesaplamaları

Bir otomatik kodlayıcı, gözetimsiz öğrenme algoritmasını kullanan bir sinir ağı yapısı olduğu için oto kodlayıcıda yapılan hesaplamalara ait işlemler Şekil 3-7'de verilen örnek bir sinir ağı modelinden açıklanmıştır [38].



Şekil 3-7 Oto Kodlayıcı Örneği [38]

Sinir ağının en küçük birimi, Şekil 3-7'de çember ile gösterilen nöronlardır. Şekil 3-7'deki ağ, giriş katmanı (Katman L1) , gizli katman (Katman L2) ve çıkış katmanı (Katman L3) olmak üzere 3 katmandan oluşmaktadır. Katman L1'de 6 adet giriş birimi (nöronu), Katman L2'de 3 adet gizli birim ve Katman L3'te 6 adet çıkış birimi vardır. +1 değerli çember ise eğilim (bias) birimidir. Şekil 3-7'de verilen ağın matematiksel ifadesi ve kullanılan değişkenler aşağıda açıklanmıştır:

w_{ij}^l : l.katmandaki j.birim ile (l+1).katmandaki i.birim arasındaki ağırlık değeri

b_i^l : (l+1).katmandaki i.birim için bias değeri

a_i^l : l.katmandaki i.birimin aktivasyonu (çıktısı)

w_{ij}^l ağırlıkları, sinir ağı modelinin hafızası gibidir ve oto kodlayıcı algoritması ile en uygun ağırlık değerlerinin bulunması hedeflenmektedir. Giriş katmanında yer alan girdiler (\mathbf{x}) , ağırlık değerleriyle çarpılıp toplanarak tek bir değer elde edilmektedir.

Çıkan sonuç, aktivasyon fonksiyonundan geçirilerek de çıktı değeri elde edilmektedir. Sinir ağındaki birinci nörona ait hesaplamalar aşağıdaki gibidir [38]:

$$a_1^1 = x_1 \quad (48)$$

$$a_1^2 = f(w_{11}^1 x_1 + w_{12}^1 x_2 + w_{13}^1 x_3 + w_{14}^1 x_4 + w_{15}^1 x_5 + w_{16}^1 x_6 + b_1^1) \quad (49)$$

$$a_1^3 = f(w_{11}^2 a_1^2 + w_{12}^2 a_2^2 + w_{13}^2 a_3^2 + w_{14}^2 a_4^2 + w_{15}^2 a_5^2 + w_{16}^2 a_6^2 + b_1^2) \quad (50)$$

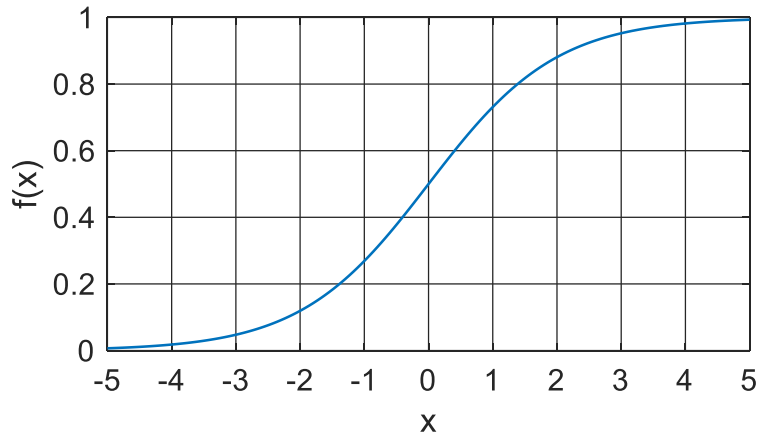
Ağın çıkışını hesaplamak için katman L_1 'den L_n 'e kadar tüm katmanların aktivasyonları sırasıyla denklem (51) ve denklem (52) ile hesaplanabilir. Bu durum ileri beslemeli bir sinir ağıının örneğidir. Denklem (51)'deki z_i^l , l.katmandaki düğüme gelen girdilerin ağırlıklı toplamını ifade etmektedir.

$$z^{l+1} = W^l a^l + b^l \quad (51)$$

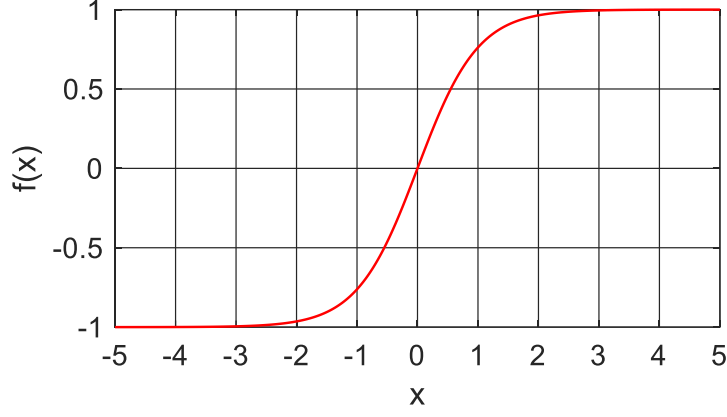
$$a^{l+1} = f(z^{l+1}) \quad (52)$$

Sinir ağlarında sıklıkla kullanılan etkinleştirme fonksiyonları f , sigmoit (sigmoid), tanh ve RELU'dur.

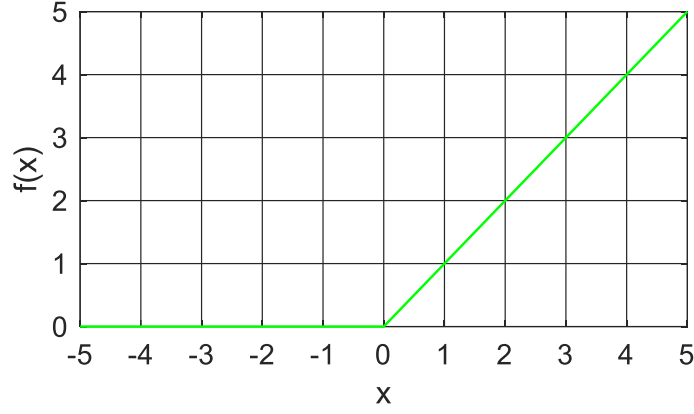
Etkinleştirme fonksiyonlarının şekilleri ve matematiksel ifadeleri aşağıda verilmiştir



Şekil 3-8 Sigmoid fonksiyonu : $f(x) = \frac{1}{1+e^{-x}}$



Şekil 3-9 Tanjant hiperbolik fonksiyonu : $f(x) = \tanh(x) = \frac{1-e^{-2x}}{1+e^{-2x}}$



Şekil 3-10 Doğrultucu lineer fonksiyon (RELU)

Denklem (56)'da verilen sinir ağı modelinin girdisi olan veri kümesinin az olması durumunda aşırı öğrenme (overfitting) problemi meydana gelebilir. Bu durumun çözümlerinden birisi düzenleyicidir. Buradaki fikir, makine öğrenme probleminin çözüm vektörüne bir düzenleyici eklemektir ve bunu mümkün olduğunca küçük yapmaya çalışmaktır. Bu nedenle ilk hedefimiz $L(x, \hat{x})$ kayıp fonksiyonunu en aza indirmek için en iyi x vektörünü bulmak iken, yeni hedef x 'in L2 normunu eklemektir. Küçük bir L2 normuna sahip bir x , seyrek bir çözüm olma eğilimindedir. Seyrek olma (sparsity), x 'in bileşenlerinin çoğunluğunun sıfır ya da çok küçük olduğunun göstergesidir. Seyrek bir çözüm aşırı öğrenmeyi engelleyebilir. Bu durum aşağıda açıklanmıştır.

$$E = L(x, \hat{x}) + \lambda * \Omega_{weights} + \beta * \Omega_{sparsity} \quad (53)$$

Denklem (53)'te verilen kayıp fonksiyonu $L(x, \hat{x})$ 'in açılımının eklenmiş haliyle denklem (54) elde edilmektedir.

$$E = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K (x_{kn} - \hat{x}_{kn})^2 + \lambda * \Omega_{weights} + \beta * \Omega_{sparsity} \quad (54)$$

$\Omega_{weights}$ L2 düzenleyici terimidir ve λ , L2 düzenleyicisinin katsayısını ifade etmektedir. β ise $\Omega_{sparsity}$ katsayısıdır.

Seyrek bir otomatik kodlayıcı eğitirken $W(l)$ ağırlıklarının değerlerini artırarak ve z değerlerini azaltarak seyreklik düzenleyicisini küçük yapmak mümkündür. Maliyet fonksiyonuna ağırlıklar üzerinde düzenli bir terim eklemek bunun olmasını engeller. Bu terim, $\Omega_{weights}$, denklem (55)'te verilmiştir. L gizli katma sayısını, n gözlem sayısını ve k eğitim veri kümesinin eleman sayısınıdır.

$$\Omega_{weights} = \frac{1}{2} \sum_l^L \sum_j^n \sum_i^k (\omega_{ji}^l)^2 \quad (55)$$

Seyreklik (sparsity), bir nöronun ortalama aktivasyon değeri $\hat{\rho}_i$ ve istenen değeri ρ yakın olmadığında, büyük bir değer alan bir düzenleyici terim ekleyerek teşvik edilebilir. Böyle bir seyreklik düzenleme terimi Kullback-Leibler ıraksaması (divergence) olabilir ve denklem (56)'da gösterilmiştir.

$$\Omega_{sparsity} = \sum_{i=1}^{D(1)} KL(\rho \parallel \hat{\rho}_i) = \sum_{i=1}^{D(1)} \rho \log\left(\frac{\rho}{\hat{\rho}_i}\right) + (1 - \rho) \log\left(\frac{\rho}{\hat{\rho}_i}\right) \quad (56)$$

$$\hat{\rho}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n z_i^1(x_j) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n h(w_i^{1T} * x_j + b_i^1) \quad (57)$$

Çıkış aktivasyon değeri yüksekse bir nöron “ateşleme” olarak kabul edilir. Düşük çıktı aktivasyon değeri, gizli katmandaki nöronun az sayıda eğitim örneğine yanıt olarak tepki verdiği anlamına gelir. $\hat{\rho}_i$ değerlerini düşük olarak kısıtlayan maliyet işlevine bir terim eklemek, oto kodlayıcıyı gizli katmandaki her nöronun az sayıda eğitim örneğine yol açtığı temsili bir öğrenmeye teşvik eder. Yani her nöron, yalnızca eğitim örneklerinin küçük bir alt kümesinde bulunan bazı özneliklere yanıt vererek uzmanlaşmıştır.

4. SAR İMGELERİNİN GÖZETİMSİZ SINIFLANDIRILMASI

Bu bölümde, öncelikli olarak SAR imgelerinin gözetimsiz sınıflandırılmasıyla ilgili literatürde yapılan çalışmalardan ve kullanılan yöntemlerden bahsedilecektir. Devamında teknik özellikleri 2.3.1 ve 2.3.2’de verilen C-Bant *SENTINEL-1* ve X-Bant *AFRL* SAR verileri arasından algoritma çalışmalarında kullanılan imgeler ve detayları açıklanacaktır. Bölüm 3’te anlatılan yöntemlerin SAR imgelerine uygulanması, algoritma akışı ve yöntemler için seçilen parametreler açıklanacaktır. Farklı polazirasyonlara sahip test imgeleri için olası grup sayısı bulunacak olup imgeler için oluşturulan arazi örtüsü haritaları gösterilecek ve gözetimsiz sınıflandırma yöntemlerinin performansları karşılaştırılıp değerlendirilecektir.

4.1. Literatür İncelemesi

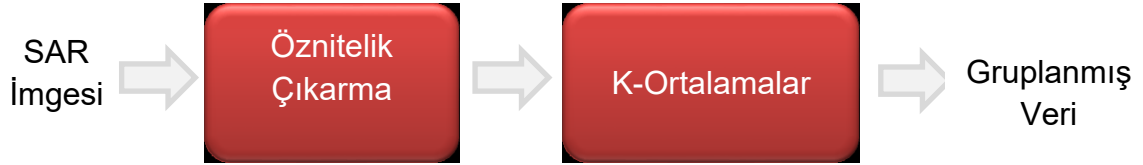
SAR imgelerinin gözetimsiz sınıflandırılması ile ilgili yapılan çalışmalar, SAR sistemlerinde sağlanan gelişmelerle artış göstermiş ve çeşitlenmiştir. Tez çalışmasında kullanılan K-Ortalamlar gruplama algoritmasından farklı olarak Bulanık Gruplama (Fuzzy Clustering) [39] , Ağırlık Dengelenmiş K-Ortalamlar (Weight-Balanced K-Means) [40], Hiyerarşik Gruplama (Hierarchical Clustering) ve Ortalama Kayma (Mean Shift) Gruplaması [41], yöntemleri tercih edilen gruplama yöntemleri arasındadır. [39]’da, İnterferometrik SAR görüntülerinin gözetimsiz sınıflandırılmasında TBA ve Bulanık Gruplama yöntemleri kullanılmıştır. TBA ile görüntü sayısı büyük ölçüde azaltılarak gruplama algoritmasının hızlanması sağlanmıştır. Yöntem, İsveçteki iki alana uygulanmıştır: ormanlık alanların, tarım arazilerinin olduğu tipik bir kentsel alan ve ormanlık bir alan. Sonuçlara göre, en iyi sınıflandırma doğruluğu gruplama geçerlilik indislerinin öngörülerine dayanarak iki sınıfa ayrıldığı elde edilmiştir. Bulanık Gruplama (Fuzzy Clustering) yönteminin daha hızlı çalışan biçimi olan Hızlı Bulanık Gruplama (Fast Fuzzy Clustering) yöntemi ile SAR görüntülerinin gözetimsiz sınıflandırılmasını piksellere dayanarak yapan çalışmalar da mevcuttur [42] . Bu çalışmada, öncelikli olarak görüntüdeki pikseller anahtar pikseller ve anahtar olmayan pikseller olarak iki gruba ayrılmıştır. Anahtar pikseller üzerine 3,5,7,9,11 ve 13 genişliklerinde pencereler gezdirilerek Hızlı Bulanık Gruplama yöntemi uygulanmıştır. [40]’daki standart K-Ortalamlar yönteminin değiştirilmiş bir biçimi olan Ağırlık Dengelenmiş K-Ortalamlar yönteminde her noktanın farklı bir ağırlık değeri vardır ve bu yöntem SAR

imgelerinin etkileşimli gruplanmasında kullanılmıştır. [41]'de, Polarimetrik SAR görüntülerinin sınıflandırılması ve doku özelliklerinin çıkarılmasında Hiyerarşik Gruplama ve Ortalama Kayma Gruplaması kullanılmış ve karşılaştırılmıştır.

Özniteliklerin çıkarımı konusunda ise tez çalışmasındaki yöntemler dışında yapay sinir ağı tabanlı bir makine öğrenme tekniği olan Kendi Kendini Düzenleyen Harita (Self Organizing Map) [43], Gauss Markov Rastgele Alanı (Gaussian Markov Random Field) kullanılan yöntemler arasındadır [44]. [44]' te, polarize ve çapraz polarize JPL AIRSAR L-Bant SAR imgelerinin genlik ve doku karakteristikleri kullanılarak gözetimsiz bölütleme çalışmaları yapılmıştır. İmgeler üzerinde 200x150 boyutunda bir pencere gezdirilerek öznitelikler çıkarılmıştır ve SAR görüntüsünün gözetimsiz bölütlenmesinde Gauss Markov Rastgele Alanı yöntemi kullanılmıştır. Görüntünün dokusu, her pikseldeki genliği, komşuların ve Gauss gürültüsünün doğrusal bir kombinasyonu olarak temsil edilmiştir. Herhangi bir karmaşık yerel özniteliklerin çıkarımına ihtiyaç duymadan; bunun yerine doğrudan yerel penceredeki piksel değerlerini düşük seviye öznitelik olarak kullanan çalışmalar da mevcuttur [45] . Bu çalışmada, TerraSAR-X imgelerine 3 ile 21 arasındaki farklı pencere genişlikleri uygulanmıştır. Piksel değerleri kullanıldığında elde edilen SAR imge sınıflandırması doğrulukları ile Gabor, Gri Seviye Eş Oluşum Matrisi (GLCM), Dalgacık (Wavelet), Dörtlü Ayna Filtreleri ve Kesirli Fourier Dönüşümü öznitelik çıkarma yöntemleri kullanıldığında elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

4.2. Algoritma Akışı

SAR imgelerinin gözetimsiz sınıflandırılması için *MATLAB* ortamında kurulan algoritma aşamaları genel hatlarıyla Şekil 4-1’de verilmiştir.



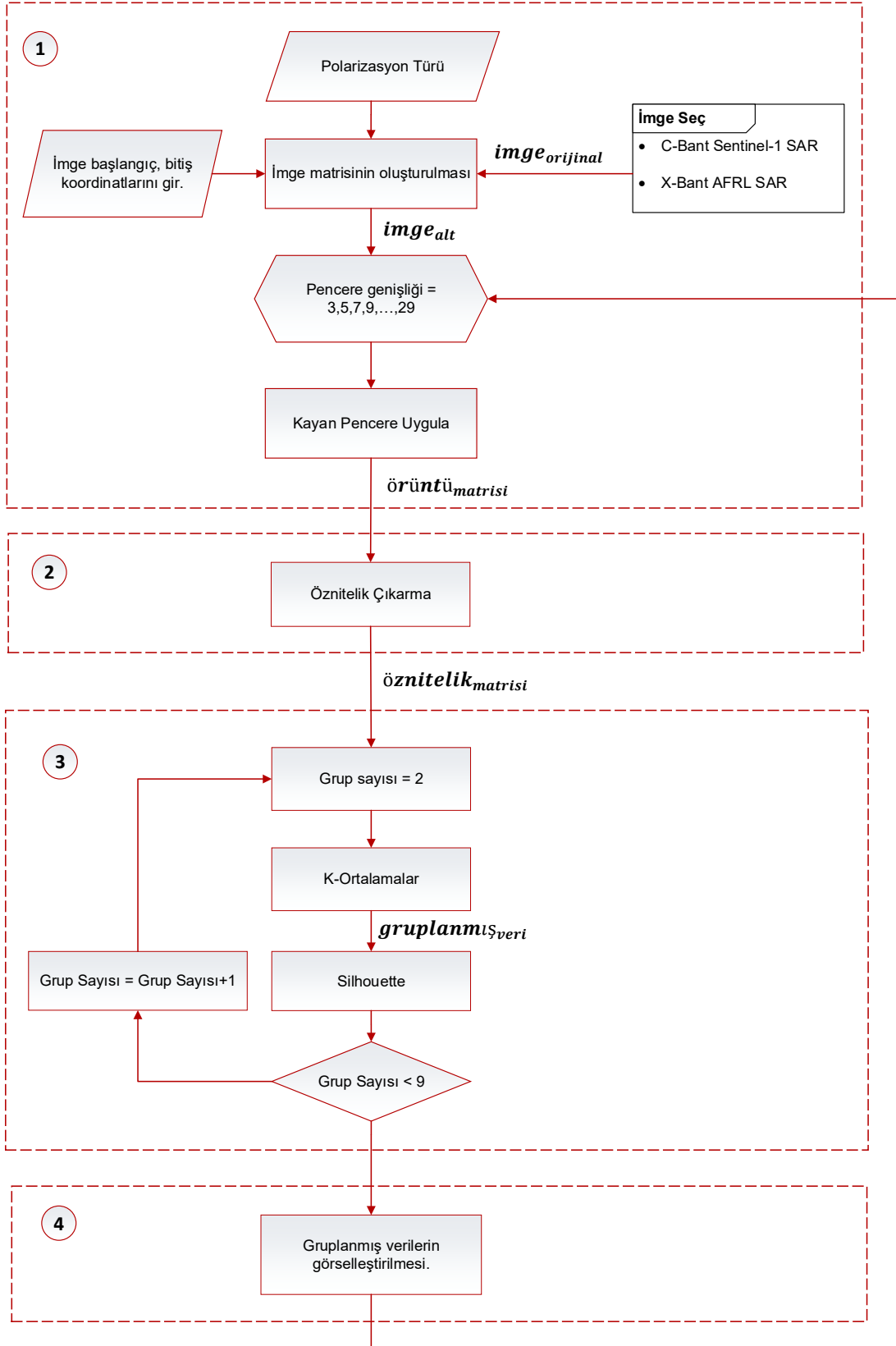
Şekil 4-1 Algoritma Aşamaları

Tez çalışması için oluşturulan algoritma akışının detayı Şekil 4-2’de verilmiş olup öznitelik çıkarma aşamasında teorik açıklamaları Bölüm 3.2’de verilen aşağıdaki yöntemler SAR imgelerine uygulanmıştır:

- Moment Tabanlı Öznitelikler
- Temel Bileşenler Analizi
- Özyüz (Eigenface) Analizi
- Çekirdek (Kernel) Temel Bileşenler Analizi
- Oto Kodlayıcı (Autoencoder)

Algoritma akışı 4 bölüme ayrılarak açıklanacaktır:

1. Simülasyon Verileri
2. Öznitelik Çıkarma Aşaması
3. Öbekleme ve
4. Gruplanmış verilerin görselleştirilmesi.



Şekil 4-2 Algoritma Akışı

4.2.1. Algoritma Verileri

Bu bölümde, teknik özellikleri 2.3 başlığında verilen ve algoritmalarda kullanılan SAR imgeleri açıklanacaktır.

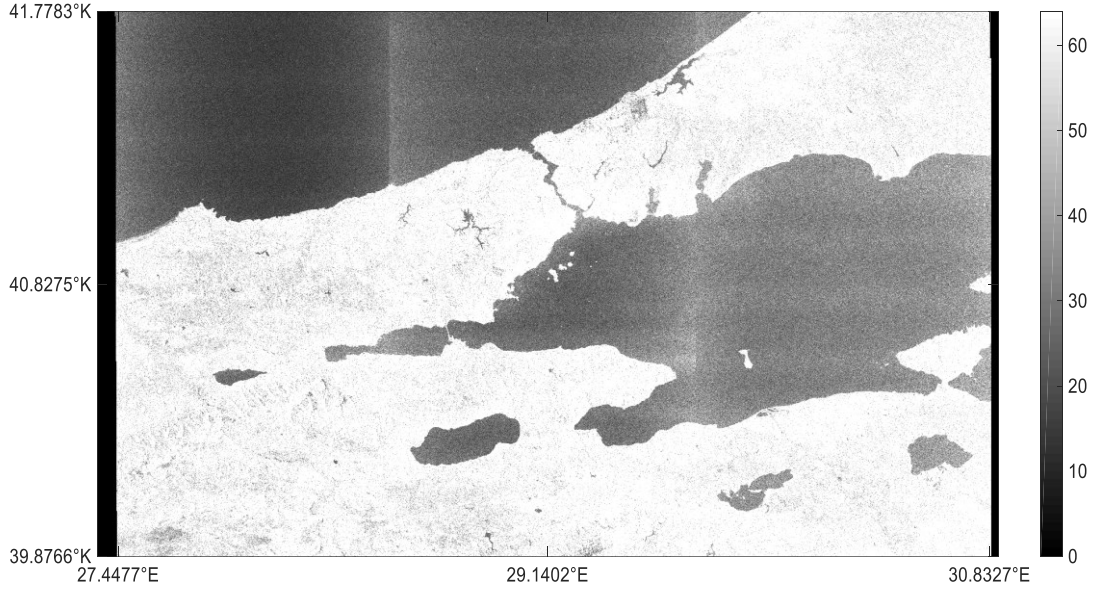
4.2.1.1. C-Bant Sentinel-1 SAR Verisi

SENTINEL-1 SAR imgesi olarak *SENTINEL-1* Sentetik Açıklıklı Radar'ın IW (Interferometric Wide Swath) moduna ait 03.05.2018 tarihinde elde edilen DD (Dikey-Dikey) ve DY (Dikey-Yatay) polarizasyonlu SAR imgeleri kullanılmıştır. DD, SAR sensörünün verici ve alıcı ünitelerinin dikey polarizasyonlu olduğunu göstermektedir. DY, SAR sensörünün verici ünitesinin dikey polarizasyona, alıcı ünitesinin ise yatay polarizasyona sahip olduğunu belirtmektedir. Kullanılan SAR imgesinin sınırları Şekil 4-3'te verilen Google Earth resmi üzerinden gösterilmiştir.



Şekil 4-3 Sentinel-1 SAR İmgesinin Google Earth Resmi

Şekil 4-3'te gösterilen alana ait DD (Dikey-Dikey) ve DY (Dikey-Yatay) polarizasyonlu SAR imgelerinden kesitler alınarak ayrı ayrı gözetimsiz sınıflandırma yöntemleri uygulanmıştır. İmgeler Marmara Bölgesi'ne ait olup Şekil 4-4 ve Şekil 4-5'te SAR görüntüleri gösterilmektedir. Bu imgeler, 16702 x 25942 boyutludur ve Şekil 4-2'deki algoritma akışında *image_oryijinal* değişkenini ifade etmektedir.



Şekil 4-4 Sentinel-1 DY Polarizasyon SAR İmgesi



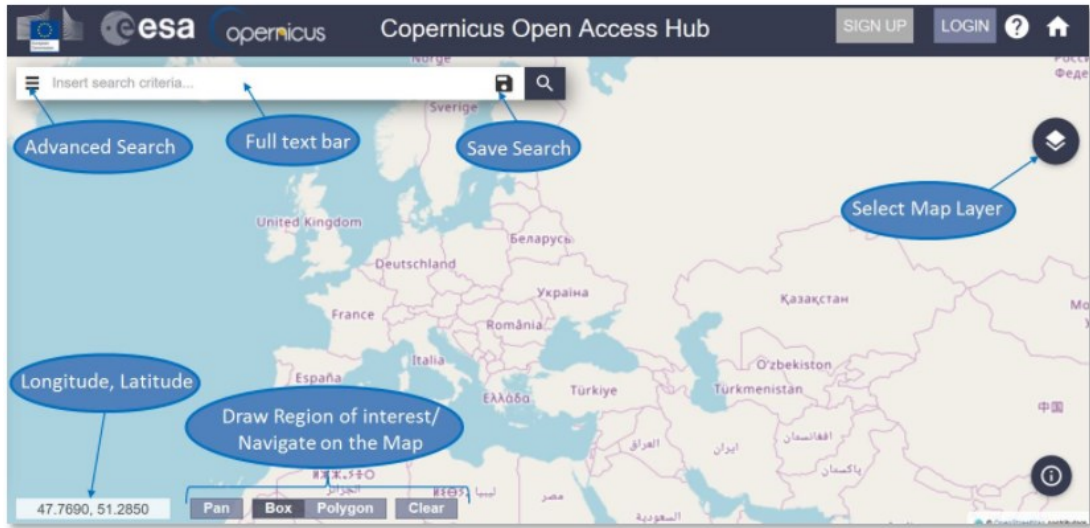
Şekil 4-5 Sentinel-1 DD Polarizasyon SAR İmgesi

Farklı polarizasyon türü kullanıldığında yeryüzeyinin yansıtıcılık miktarının farklı olması durumu Şekil 4-4 ve Şekil 4-5'te verilen SAR imgelerinde gözlemlenmektedir.

4.2.1.1.1. Simülasyon Girdi Verilerinin Edinilmesi

Şekil 4-3'te gösterilen Marmara Bölgesi' nin *SENTINEL-1* Uydusu'na ait Dikey-Dikey ve Dikey-Yatay polarizasyonlu SAR imgelerinin elde edilme aşamaları aşağıda anlatılmaktadır:

1. Kopernik Açık Erişim Merkezi, *SENTINEL-1*, *SENTINEL-2*, *SENTINEL-3* ve *SENTINEL-5P* kullanıcı ürünlerine tam, ücretsiz ve açık erişim sağlamaktadır. Onun için öncelikli olarak [46]'da verilen bağlantı ile kayıt işlemleri yapılmalı ve kullanıcı hesabı oluşturulmalıdır.
2. Oluşturulan kullanıcı hesabı ile sisteme giriş yapılır ve [47]'da verilen bağlantıdan veri kümelerine ulaşılır. Sistemin kullanıcı arayüzü Şekil 4-6'da gösterilmiştir.

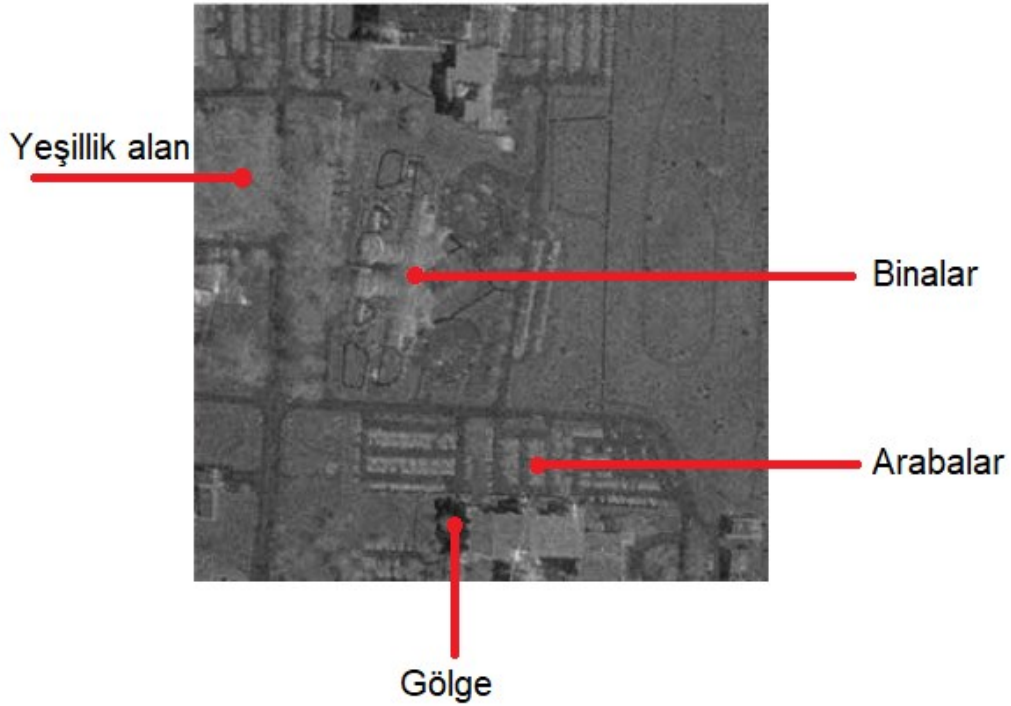


Şekil 4-6 Kopernik Açık Erişim Merkezi Arayüzü [47]

3. Şekil 4-6'da gösterilen Kullanıcı Arayüzü'ndeki haritadan istenilen bölge seçilir ve arama butonuna basılarak o bölge için farklı zamanlarda oluşturulan imge kümeleri bulunur. Kopernik Açık Erişim Merkezi, bir bölgeye ait farklı SAR imgeleme modları ve *SENTINEL* uyduları ile elde edilen imgeler sağlayabilmektedir. Listelenen imge kümesi seçilerek indirilir.
4. Yukarıdaki işlem adımlarından sonra Şekil 4-4 ve Şekil 4-5'te gösterilen DD ve DY polarizasyonlu SAR imgeleri elde edilmektedir.

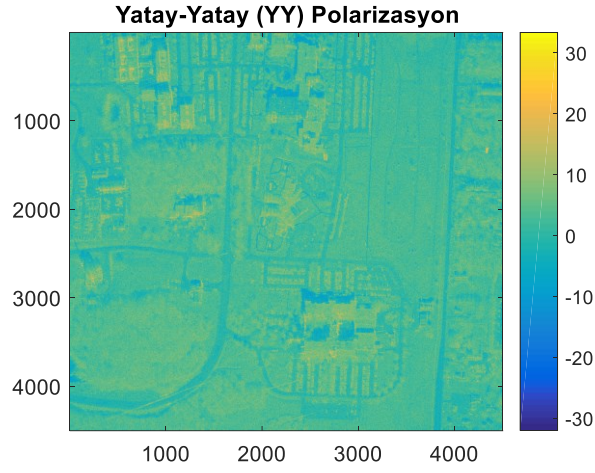
4.2.1.2. X-Bant AFRL SAR Verisi

İkinci veri kümesi olarak, özellikleri 2.3.2'de verilen X-Bant *AFRL* SAR sensörüne ait SAR imgeleri kullanılmıştır. *AFRL* tarafından sağlanan bu veriler 4501x4501 boyutunda olup karmaşık verilerdir. SAR verilerine [48]'de verilen bağlantıdan ulaşılabilmektedir. Bu verileri kullanan [49]'deki çalışmada SAR imgesinin belirli bir kesiti ele alınmıştır ve SAR imgesine ait bazı referans noktaları verilmiştir. Bu imge Şekil 4-7'de gösterilmektedir.

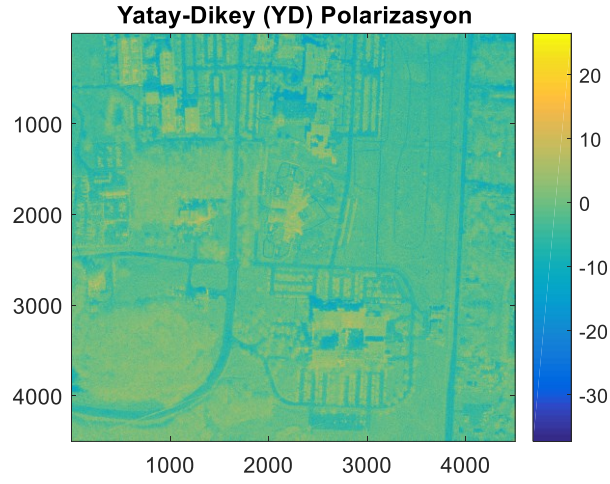


Şekil 4-7 AFRL SAR Verisi Örneği [49]

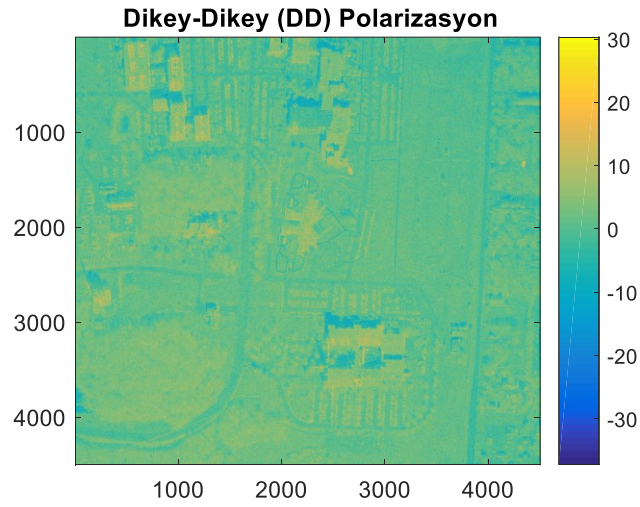
X-Bant SAR sensörü ile Yatay-Yatay (YY), Yatay-Dikey (YD) ve Dikey-Dikey (DD) polarizasyonlu imgeler elde edilebilmektedir. Polarizasyon türünün farklı olması görüntülenen sahnedeki cisimlerin yansıtıcılık miktarlarının farklı olmasını sağlamaktadır. Bu durum imgelerin Şekil 4-8, Şekil 4-9 ve Şekil 4-10'da verilen *MATLAB* figürleri arasındaki yoğunluk farkı ile gözlemlenebilmektedir.



Şekil 4-8 AFRL SAR Verisi YY Polarizasyon İmgesi



Şekil 4-9 AFRL SAR Verisi YD Polarizasyon İmgesi



Şekil 4-10 AFRL SAR Verisi DD Polarizasyon İmgesi

4.2.1.3. Algoritma Girdisi Olan Veri Matrisinin Oluşturulması

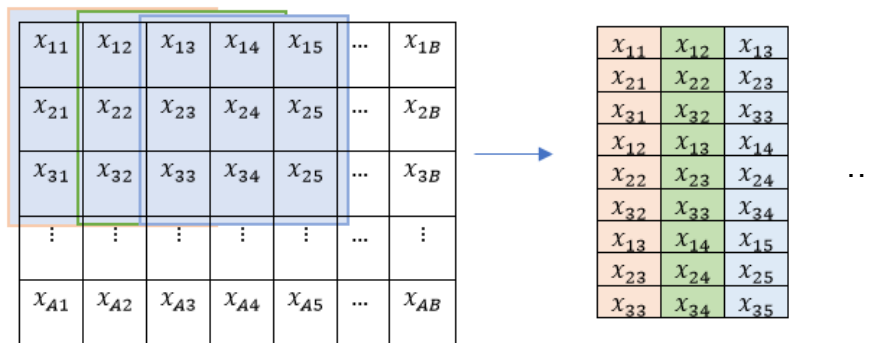
Çizelge 4-1’de verilen durumlar için ayrı ayrı etüt çalışmaları yapılmıştır ve sonuçları değerlendirilmiştir. Etüt çalışmaları için SAR görüntülerinden seçilen daha küçük boyutlu kesitler (bölgeler) üzerinde çalışılmıştır. Böylece tez çalışması kapsamında iki farklı veri kümesi ile 3 farklı bölge incelenmiştir ve bu bölgelerin farklı polarizasyon çeşitlerindeki SAR imgeleri ayrı ayrı ele alınmıştır. Algoritma girdisi olan bu bölgeler Şekil 4-2’de verilen algoritma akışında $image_{alt}$ değişkeni ile gösterilmiştir ve detayları Bölüm 4.3’de anlatılacaktır.

Çizelge 4-1 Simülasyon Veri kümeleri ve Çalışmaları

SAR İmgesi	Örnek Çalışma Sayısı	Polarizasyon Türü
C-Bant SENTINEL-1 SAR	2	DY ve DD
X-Bant AFRL SAR	1	YY, YD, DD, YD+DD

Oluşturulan $image_{alt}$ matrisi üzerinde kare pencereler gezdirilmiştir ve öznitelik çıkarma aşamasının girdi verisi oluşturulmuştur. Bu kısım, Şekil 4-2 algoritma akışında verilen “Kayan Pencere” bloğunda yapılmaktadır ve aşağıda açıklanmıştır:

Örneğin, $A \times B$ boyutlu $image_{alt}$ matrisi üzerinde 3×3 lük bir kare matris, birer adımlarla kaydırıldığı durumda kare pencere $[A - (pencere\ genişliği - 1)]$ defa satır yönünde ve $[B - (pencere\ genişliği - 1)]$ defa ise sütun yönünde gezdirilmiş olur ve $veri_{matrisi}$ elde edilir.



Şekil 4-11 Kayan Pencere Yapısı

Şekil 4-11’de gösterilen Kayan Pencere işleminden sonra elde edilen $veri_{matrisi}$ ’nin boyutu, denklem (58)’deki gibidir.

$$\text{pencere genişliği}^2 \times [(A - (\text{pencere genişliği} - 1)) * (B - (\text{pencere genişliği} - 1))] \quad (58)$$

4.2.2. Öznitelik Çıkarma Aşamaları

Bu bölümde Şekil 4-2'de verilen ve 4 bölüme ayrılarak ele alınan detaylı algoritma akışındaki işlem adımları, algoritma akışındaki değişkenler üzerinden aşağıdaki alt başlıklarda açıklanmaktadır.

Şekil 4-5'te verilen algoritma akışının ikinci aşaması olan öznitelik çıkarma aşamasında Bölüm 3.2'de açıklamaları verilen yöntemler (Moment Tabanlı, Temel Bileşenler Analizi, Özyüz (Eigenface), Çekirdek (Kernel) Temel Bileşeler Analizi, Oto Kodlayıcı kullanılmıştır. Moment Tabanlı yöntemde 4 adet öznitelik kullanıldığı için diğer öznitelik çıkarma yöntemlerinde de elde edilen özniteliklerden yalnızca dört tanesi kullanılmıştır. Böylece aynı sayıda öznitelik kullanılarak farklı yöntemlerin performansları analiz edilmiştir. Ayrıca bu yöntemlerin veri kümesine uygulanma şekli ve seçilen parametrelerle ilgili detaylar da bu başlık altında verilecektir.

Şekil 4-5'teki öznitelik çıkarma aşamasının girdisi olan $veri_{matrisi}$ 'nin boyutu denklem (58) ile bulunmaktadır. Öznitelik çıkarma aşaması sonrasında elde edilen özniteliklerden 4 tanesi kullanıldığı için bu aşamanın çıktısı olan $öznitelik_{matrisi}$ 'nin boyutları $[(A - (\text{pencere genişliği} - 1)) * (B - (\text{pencere genişliği} - 1))] \times 4$ 'tür. Öznitelik çıkarma aşamasında kullanılan yöntemlerin açıklaması aşağıdaki alt başlıklarda verilmektedir.

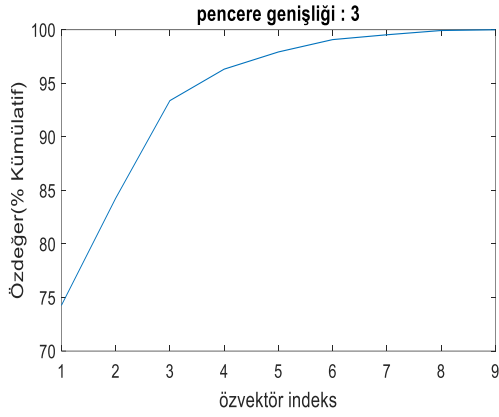
4.2.2.1. Moment Tabanlı Öznitelikler

İmgeye ait doku özelliklerinin çıkarılması için en yaygın kullanıma sahip istatistiksel momentler olan ortalama, varyans, çarpıklık ve basıklık kullanılmıştır. Bundan dolayı diğer öznitelik çıkarma yöntemlerinde de elde edilen özniteliklerden yalnızca dört tanesi kullanılmıştır. $veri_{matrisi}$ 'nin ortalama, varyans, çarpıklık ve basıklık değerleri Bölüm 3.2.1'de verilen hesaplamalarla bulunmuştur ve bu öznitelikler $öznitelik_{matrisi}$ 'nin sütunlarını oluşturmaktadır.

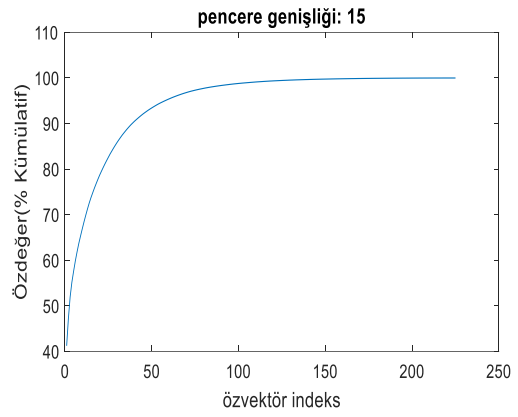
4.2.2.2. Temel Bileşenler Analizi (TBA)

Bölüm 3.2.2'de verilen TBA hesaplamaları kullanılarak $veri_{matrisi}$ 'ne ait temel bileşenler bulunmuştur. Temel bileşenlerin elde edilmesinde önemli olan kullanılacak özdeğerlerin (temel bileşenlerin) sayısına karar verilmesidir. Özdeğerin

büyük bir değer olması ilgili özvektörün veri kümesi hakkında daha çok bilgi içerdiğinin bir göstergesidir. Tez çalışmasındaki tüm öznitelik çıkarma yöntemlerinde, öznitelik sayısı sabit 4 alınmıştır. Böylece aynı öznitelik sayısı için öznitelik yöntemlerinin performansları karşılaştırılmıştır. Şekil 4-12 ve Şekil 4-13'te pencere genişliği 3 ve 15 iken özdeğerlerin kümülatif yüzdeleri verilmiştir. Temel bileşen sayısı 4 ve pencere genişliği 3 iken özdeğerlerin kümülatif yüzdesi yaklaşık %95 olmaktadır; bu değer pencere genişliği 15 iken yaklaşık %45'tir. Pencere genişliği arttıkça dört temel bileşenin veriye ait bilgiyi içermeye yüzdesi düşmektedir.



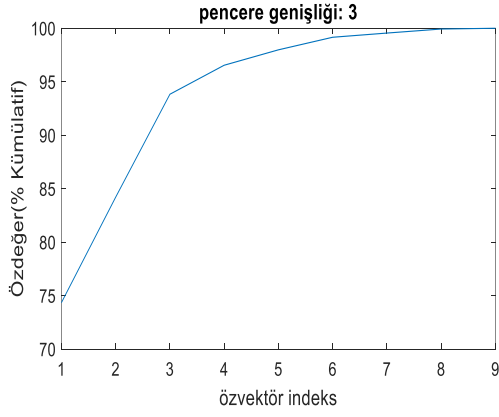
Şekil 4-12 TBA Eğrisi-1



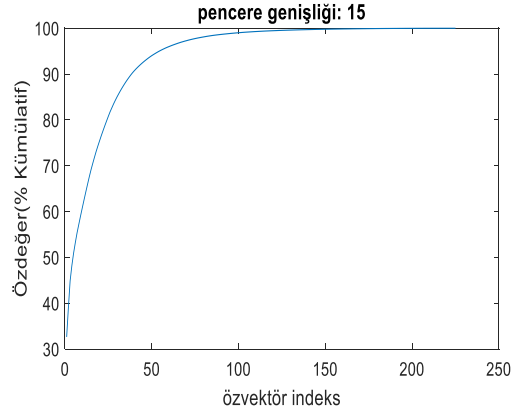
Şekil 4-13 TBA Eğrisi-2

4.2.2.3. Özyüz (Eigenface)

Bölüm 3.2.3'te verilen Özyüz (Eigenface) hesaplamaları kullanılarak, $veri_{matrisi}$ 'ne ait özyüzler bulunmuştur ve bu özyüzlerin dört tanesi öznitelik olarak kullanılmıştır. Şekil 4-14 ve Şekil 4-15'te pencere genişliği 3 ve 15 iken özdeğerlerin kümülatif yüzdeleri verilmiştir. Pencere genişliği 3 ve temel bileşen sayısı 4 iken özdeğerlerin kümülatif yüzdesi yaklaşık %95 olmaktadır. Ancak pencere genişliği 15 ve temel bileşen sayısı 4 iken özdeğerlerin kümülatif yüzdesi yaklaşık %35' tir. Pencere genişliği arttıkça dört tane temel bileşenin veriye ait bilgiyi içermeye yüzdesi düşmektedir.



Şekil 4-14 Özyüz Eğrisi-1



Şekil 4-15 Özyüz Eğrisi-2

4.2.2.4. Çekirdek (Kernel) TBA

Çekirdek TBA yöntemi olarak Gaussian TBA uygulanmıştır. Her veri noktası için, veri noktasının en yakın komşuluğuna olan uzaklığı d_i^{NN} olduğunda, standart sapma hesabı denklem (59)'daki gibi seçilmiştir. Farklı veri kümeleri kullanılırken, bu standart sapma seçiminde değişiklik yapılması gerekebilir.

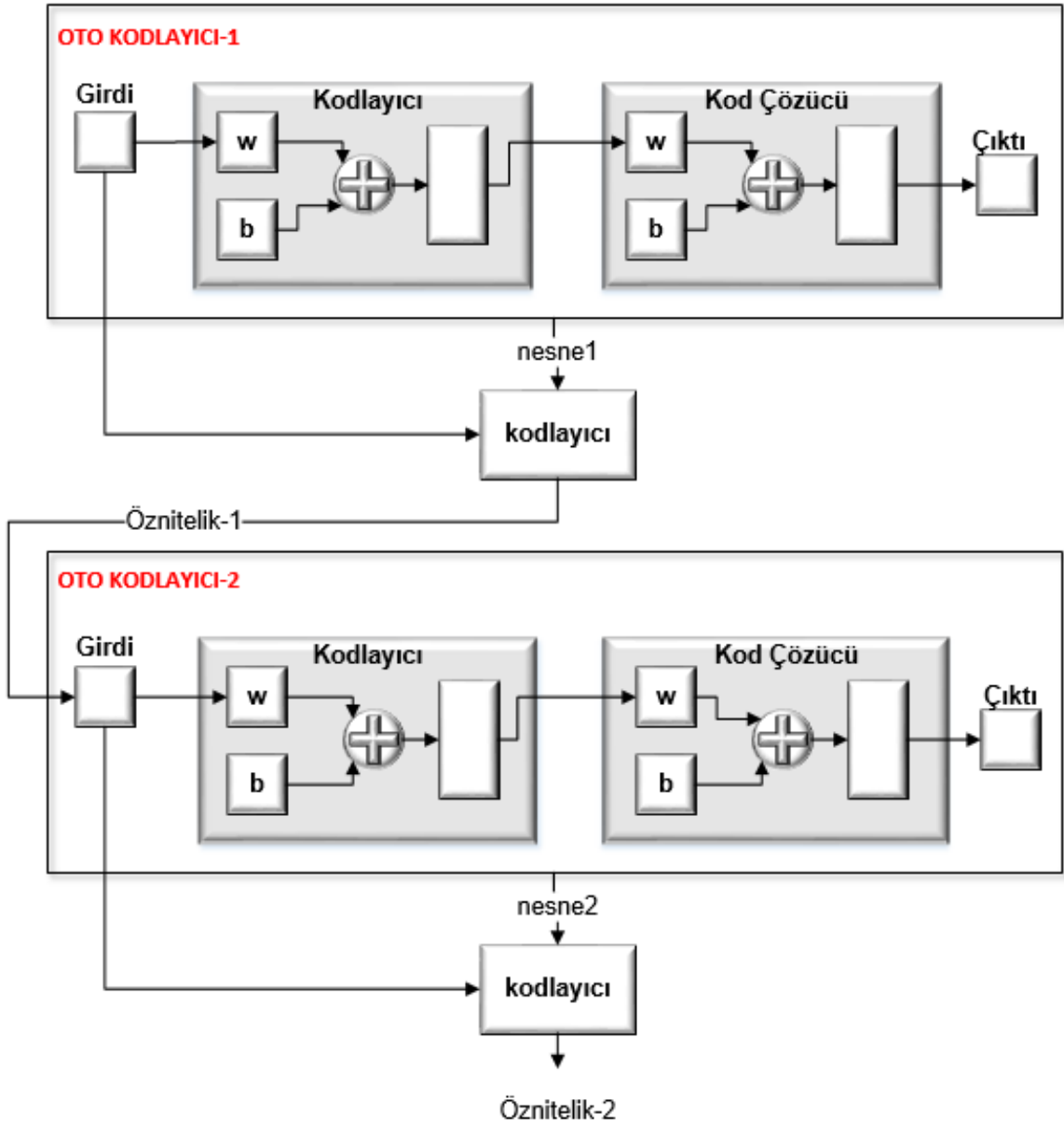
$$\sigma = 5 * mean(d_i^{NN}) \quad (59)$$

4.2.2.5. Oto Kodlayıcı

Tez çalışmasında kullanılan oto kodlayıcının yapısı Şekil 4-16'da verilmiştir. Burada 2 adet ardışık oto kodlayıcının birbiri ardına katmanlı şekilde bağlanmasıyla elde edilen sıralı derin oto kodlayıcı modeli kullanılmıştır. Şekil 3-5'te gösterildiği gibi bir oto kodlayıcı modelinin gizli katmanından elde edilen değerler bir sonraki oto kodlayıcı modelinin girdi katmanı olacak şekilde arka arkaya bağlanır ve benzer şekilde eğitilir. Bu yöntemde her bir oto kodlayıcı modelinin birbirinden bağımsız olarak eğitilmesi bazen başarı oranının düşmesine neden olabilmektedir.

Öncelikle bir oto kodlayıcı, girdilerin kodunu çözmeden önce kodlayıcı katmanı ile gözetimsiz bir ön eğitim gerçekleştirir. Daha sonra kod çözücü ağıdan kaldırılır [50]. Eğitilmiş kodlayıcı kullanılarak girdi verisinden anlamlı özellikler elde edilir. Bu durum Şekil 4-16'da gösterilen Oto Kodlayıcı-1 ve Oto Kodlayıcı-2 için de geçerlidir. Dolayısıyla öncelikle Şekil 4-16'da verilen Oto Kodlayıcı-1'in gözetimsiz öğrenmesi gerçekleştirilir. Sonrasında kod çözücü bloğu kaldırılarak eğitilmiş kodlayıcıya nesne1 girdi verisi olarak beslenir ve ilk öznelikler (Öznelik-1) elde edilir. Elde

edilen öznitelikler Oto Kodlayıcı-2'nin girdisi olmaktadır ve aynı işlemler Oto Kodlayıcı-2 için de gerçekleştirilerek yeni anlamlı özellikler (Öznitelik-2) elde edilir.



Şekil 4-16 Sıralı Oto Kodlayıcı Yapısı

Oto kodlayıcı bloklarında kullanılacak parametrelerin seçimi ve ayarlanması önemli bir ön aşamadır. Çünkü seçilen parametre değerlerinin sonuçlara doğrudan etkisi vardır. Genelde bu parametreler için nasıl bir tercihte bulunulacağı başlangıçta açık ve kesin değildir; problem, veri kümesi gibi çeşitli etmenlere göre değişiklik göstermektedir. Bu nedenle parametrelerin seçimi çoğunlukla modeli tasarlayan kişiye bırakılmaktadır. Bu amaçla *SENTINEL-1* SAR verisi ve *AFRL* SAR verisi için

oto kodlayıcı algoritması çalıştırılmadan önce, oto kodlayıcı parametrelerinin ayarı (tuning) gerçekleştirilmiştir. *SENTINEL-1* verisi için Şekil 4-4'de verilen DY polarizasyonlu *SENTINEL-1* imgesinde seçilen bir alan üzerinden parametre ayarı yapılmıştır. *AFRL* SAR verisi için de DY polarizasyonlu imgede pencere genişliği 25 iken parametre ayarı yapılmıştır. Derin ağları eğitmek uzun zaman alan bir işlem olduğu için parametre seçiminde veri kümesinin bir alt kümesi üzerinde çalışılarak zamandan kazanılabilir. Zaten parametre ayarında amaç parametreler için en uygun değerleri bulmaktan ziyade genel bir öngörü oluşturmaktır. Bundan dolayı parametre ayarı sadece DY polarizasyonlu imgelerde pencere genişliği 15 ve 25 iken yapılmıştır. Maksimum devir (epoch), L2 ağırlık düzenlemesi (weight regularization), seyreklik düzenleyiciliği (sparsity regularization) ve seyreklik oranı (sparsity proportion) kodlayıcı parametrelerinin uygun değerlerinin bulunmasında ağ dizge (grid search) yöntemi kullanılmıştır. Ağ dizge ile parametre seçim işleminde belirlenen aralıktaki tüm değerlerin kombinasyonları için ağ eğitilip sonuçlar çıkarılır ve duruma göre en iyi kombinasyon parametre grubu olarak seçilir. SAR verileri için ağ dizge sonrası bulunan değerler ve oto kodlayıcı parametreleri Çizelge 4-2 ve Çizelge 4-3'te verilmiştir.

Çizelge 4-2 Sentinel-1 SAR Verisi için Sıralı Oto Kodlayıcı Parametreleri

	Gizli katman 1 (Oto Kodlayıcı-1)	Gizli katman 2 (Oto Kodlayıcı-2)
Katman uzunluğu	window size ² * 20%	4
Maksimum devir	5000	4000
L2 ağırlık düzenlemesi	0.0041	0.0001
Seyreklik düzenleyiciliği	4	2.5
Seyreklik oranı	0.8	1
Transfer fonksiyonu	sigmoid	lineer

Çizelge 4-3 AFRL SAR Verisi için Sıralı Oto Kodlayıcı Parametreleri

	Gizli katman 1 (Oto Kodlayıcı-1)	Gizli katman 2 (Oto Kodlayıcı-2)
Katman uzunluğu	window size ² * 25%	4
Maksimum devir	3000	2500
L2 ağırlık düzenlemesi	0.0021	0.0021
Seyreklik düzenleyiciliği	4.5	3.5
Seyreklik oranı	0.8	0.9
Transfer fonksiyonu	sigmoit	sigmoit

4.2.3. Öbekleme

Öznitelik çıkarma aşaması sonrasında elde edilen $\text{öznitelik}_{\text{matrisi}}$, K-Ortalamlar algoritmasının girdisi olmaktadır. K-Ortalamlar algoritması grup sayısını girdi olarak almaktadır. Grup sayısı (k) 2 ile 9 arasında iteratif olarak değiştirilerek K-Ortalamlar öbekleme algoritması çalıştırılmıştır.

Optimum grup sayısını bulmak ve öbekleme algoritmalarıyla elde edilen sonuçların karşılaştırılmasını sağlamak için K-Ortalamlar algoritmasından sonra Siluet indisleri hesaplanmıştır. Siluet indisi -1 ile 1 arasında tanımlanır. En iyi değer 1'e, en kötü değer ise -1'e yakın değerler ile örtüşen grupları göstermektedir. Negatif değerler genellikle bir numunenin yanlış gruba atandığını göstermektedir. Bölüm 4.3'de çeşitli grup sayısına (2-9) ve pencere boyutlarına göre SAR imgelerinden elde edilen Siluet değerleri çizelge halinde verilmektedir.

4.2.4. Öbeklenmiş Verilerin Görselleştirilmesi

Bu aşamada, K-Ortalamlar sonucunda elde edilen grup indisleri kullanılarak arazi haritaları oluşturulmuştur. Örnekleri 4.3.1.3 ve 4.3.2.2 başlıklarında verilmiştir.

4.3. Karşılaştırmalı Test Çalışmaları

Bu bölümde 4.2.1'de anlatılan algoritma verileri ile Şekil 4-2'deki algoritma akışı yürütüldüğünde elde edilen sonuçlar verilecektir. Test çalışmaları kapsamında *SENTINEL-1* SAR ve *AFRL* SAR görüntülerinin farklı polarizasyon çeşitleri için beş farklı öznitelik çıkarma yöntemi uygulanmıştır. Özniteliklerin çıkarılması için test

imgelerine değişen boyutta bir kayar pencere uygulanmıştır. Her bir öznitelik çıkarma yönteminin adil bir şekilde karşılaştırılmasını sağlamak için öznitelik sayıları aynı alınmıştır ve 4 olarak kabul edilmiştir. Elde edilen öznitelikler kullanılarak farklı grup sayıları (2'den 9'a) için K-Ortalamlar algoritması yürütölmüştür. K-Ortalamlar algoritması ile imgedeki noktaların grup indisleri bulunarak Siluet indisleri elde edilmiştir. Bu işlem öznitelik çıkarma aşamasında kullanılan pencerenin farklı boyutları ve farklı grup sayıları (k) için yapılarak Siluet değerleri bulunmuştur. Hesaplamalar imgelerin farklı polarizasyon türleri için de tekrarlanmıştır. Böylelikle Siluet indislerinin karşılaştırılması ile öznitelik çıkarma algoritmalarının performansları değerlendirilmiştir ve olası grup sayıları belirlenmiştir. İkinci olarak ise test çalışmalarında kullanılan imgelerin arazi örtüsü haritalaması yapılmıştır. Bu işlem için K-Ortalamlar algoritması ile bulunan grup indisleri kullanılarak görselleştirme yapılmıştır.

4.3.1. C-Bant SENTINEL-1 SAR Verisi

Bu başlık altındaki algoritmalarda, şekil 4-4 Sentinel-1 DY Polarizasyon SAR İmgesive şekil 4-5 Sentinel-1 DD Polarizasyon SAR İmgesi kullanılmıştır. İmgelerdeki farklı dokulara sahip bölgelerin (grup) sayıları bulunmuştur. Ayrıca kullanılan SAR görüntüleri için oluşturulan arazi örtüsü haritaları da bu başlık altında verilecektir.

4.3.1.1. Birinci alışma

Birinci alışma için şekil 4-17'de Google Earth görüntüsü verilen alan kullanılmıştır.



şekil 4-17 Birinci alışma Google Earth Görüntüsü

Birinci çalışma olarak seçilen bölgeye, grup sayısının ve pencere genişliğinin farklı değerleri için 4.2.2’de verilen öznitelik yöntemleri uygulandığında elde edilen Siluet değerleri bu başlık altında verilecektir.

4.3.1.1.1. Dikey -Yatay Polarizasyon Çalışması

Birinci çalışma için seçilen bölgenin DY polarizasyonlu SAR görüntüsünden elde edilen Siluet değerleri Çizelge 4-4’te verilmiştir.

Çizelge 4-4 Sentinel-1 SAR Verisi Birinci Çalışma için Siluet Sonuçları (DY Polarizasyon)

Dikey-Yatay (DY) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 3					
2	0.555	0.438	0.438	0.758	0.553
3	0.443	0.282	0.283	0.660	0.441
4	0.475	0.266	0.266	0.631	0.473
5	0.480	0.216	0.216	0.588	0.479
6	0.508	0.193	0.192	0.555	0.505
7	0.517	0.182	0.182	0.527	0.517
8	0.537	0.111	0.111	0.493	0.538
9	0.605	0.123	0.122	0.467	0.547
Pencere Genişliği = 5					
2	0.631	0.468	0.465	0.772	0.640
3	0.517	0.291	0.289	0.673	0.527
4	0.561	0.294	0.291	0.650	0.571
5	0.554	0.233	0.231	0.623	0.562
6	0.543	0.213	0.211	0.573	0.546
7	0.544	0.192	0.141	0.528	0.556
8	0.671	0.128	0.135	0.498	0.557
9	0.658	0.161	0.163	0.452	0.666
Pencere Genişliği = 7					
2	0.685	0.530	0.517	0.767	0.720
3	0.589	0.354	0.335	0.697	0.658
4	0.644	0.374	0.359	0.691	0.697
5	0.630	0.294	0.280	0.662	0.681
6	0.582	0.265	0.255	0.594	0.664
7	0.584	0.209	0.199	0.561	0.656
8	0.589	0.206	0.219	0.514	0.651
9	0.703	0.189	0.193	0.480	0.657

Dikey-Yatay (DY) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 9					
2	0.704	0.562	0.544	0.757	0.729
3	0.619	0.494	0.365	0.684	0.708
4	0.687	0.428	0.398	0.701	0.742
5	0.665	0.347	0.325	0.669	0.722
6	0.627	0.305	0.280	0.610	0.706
7	0.630	0.256	0.240	0.570	0.695
8	0.745	0.269	0.254	0.528	0.682
9	0.725	0.243	0.269	0.487	0.682
Pencere Genişliği = 11					
2	0.702	0.569	0.553	0.741	0.740
3	0.633	0.423	0.396	0.677	0.733
4	0.706	0.456	0.427	0.703	0.770
5	0.681	0.386	0.352	0.657	0.748
6	0.665	0.335	0.307	0.610	0.732
7	0.660	0.294	0.294	0.569	0.727
8	0.654	0.270	0.258	0.513	0.719
9	0.740	0.259	0.251	0.483	0.707
Pencere Genişliği = 13					
2	0.691	0.561	0.550	0.725	0.740
3	0.636	0.439	0.416	0.678	0.737
4	0.717	0.468	0.443	0.704	0.763
5	0.707	0.421	0.378	0.640	0.745
6	0.693	0.366	0.334	0.604	0.735
7	0.686	0.330	0.320	0.558	0.725
8	0.671	0.308	0.318	0.493	0.712
9	0.648	0.301	0.290	0.468	0.717
Pencere Genişliği = 15					
2	0.699	0.553	0.541	0.706	0.596
3	0.645	0.466	0.429	0.680	0.808
4	0.727	0.479	0.447	0.708	0.767
5	0.732	0.446	0.420	0.645	0.742
6	0.705	0.393	0.349	0.585	0.732
7	0.702	0.365	0.343	0.549	0.740
8	0.682	0.352	0.337	0.516	0.721
9	0.675	0.334	0.319	0.574	0.710
Pencere Genişliği = 17					
2	0.720	0.543	0.554	0.714	0.696
3	0.644	0.480	0.432	0.686	0.781
4	0.736	0.473	0.450	0.708	0.792
5	0.754	0.443	0.416	0.623	0.759
6	0.734	0.437	0.383	0.584	0.730
7	0.709	0.389	0.379	0.499	0.729
8	0.695	0.381	0.382	0.483	0.711
9	0.745	0.378	0.380	0.459	0.720

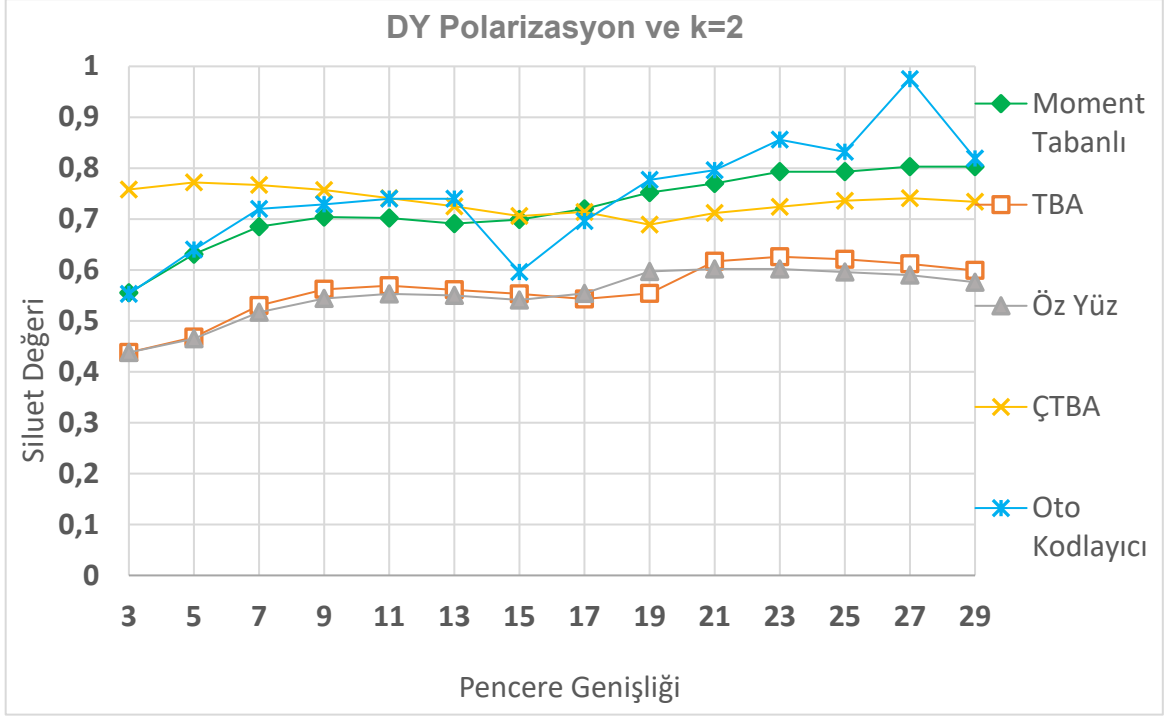
Dikey-Yatay (DY) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 19					
2	0.752	0.554	0.597	0.689	0.777
3	0.663	0.477	0.444	0.680	0.768
4	0.742	0.460	0.433	0.692	0.675
5	0.759	0.442	0.413	0.610	0.687
6	0.740	0.442	0.384	0.569	0.694
7	0.705	0.432	0.398	0.495	0.691
8	0.688	0.417	0.411	0.487	0.691
9	0.674	0.431	0.393	0.486	0.697
Pencere Genişliği = 21					
2	0.770	0.617	0.602	0.712	0.796
3	0.672	0.470	0.439	0.672	0.769
4	0.739	0.407	0.373	0.665	0.709
5	0.751	0.424	0.369	0.586	0.712
6	0.727	0.438	0.399	0.541	0.698
7	0.701	0.442	0.415	0.486	0.691
8	0.689	0.448	0.428	0.491	0.693
9	0.678	0.444	0.417	0.457	0.689
Pencere Genişliği = 23					
2	0.781	0.626	0.602	0.724	0.856
3	0.677	0.465	0.432	0.663	0.751
4	0.740	0.370	0.361	0.637	0.616
5	0.742	0.387	0.366	0.570	0.686
6	0.710	0.436	0.421	0.561	0.690
7	0.702	0.477	0.466	0.500	0.664
8	0.694	0.472	0.448	0.509	0.665
9	0.674	0.479	0.457	0.504	0.669
Pencere Genişliği = 25					
2	0.793	0.621	0.596	0.736	0.832
3	0.674	0.543	0.428	0.652	0.754
4	0.738	0.374	0.362	0.615	0.593
5	0.738	0.378	0.356	0.525	0.681
6	0.709	0.446	0.425	0.531	0.700
7	0.698	0.489	0.476	0.506	0.696
8	0.679	0.487	0.471	0.539	0.672
9	0.671	0.500	0.485	0.548	0.680
Pencere Genişliği = 27					
2	0.803	0.612	0.590	0.741	0.975
3	0.676	0.497	0.435	0.641	0.839
4	0.730	0.373	0.415	0.512	0.806
5	0.725	0.370	0.353	0.509	0.595
6	0.707	0.450	0.428	0.537	0.602
7	0.698	0.494	0.480	0.530	0.692
8	0.671	0.494	0.479	0.564	0.675

Dikey-Yatay (DY) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 29					
2	0.803	0.599	0.576	0.734	0.819
3	0.663	0.499	0.448	0.627	0.705
4	0.718	0.428	0.431	0.534	0.748
5	0.721	0.381	0.364	0.484	0.740
6	0.700	0.463	0.431	0.528	0.720
7	0.699	0.493	0.464	0.549	0.726
8	0.672	0.488	0.472	0.579	0.697
9	0.699	0.516	0.500	0.583	0.701

Çizelge 4-4'teki Dikey-Yatay (DY) polarizasyon sonuçlarına göre:

- En düşük Siluet değerleri TBA ve Özyüz yöntemlerine aittir. Dolayısıyla diğer yöntemlerle kıyaslandığında en düşük performans bu iki yöntem ile elde edilmiştir.
- TBA ve Özyüz yöntemlerine ait Siluet değerleri birbirine yakın çıkmıştır.
- Oto Kodlayıcı yönteminde küçük pencere genişlikleri için (pencere genişliği yaklaşık 11'e kadar) Siluet değerleri düşüktür. Pencere genişliği arttıkça Siluet değerleri artmakta yani performansı iyileşmektedir. Pencere genişliğinin 27 olması durumunda, oto kodlayıcı en iyi sonucuna 0.975 Siluet değeri ile ulaşmaktadır. Pencere genişliği 29 olduğunda grup sayısının 2'den 9'a kadar tüm değerleri için en iyi performansa oto kodlayıcı ile ulaşılmaktadır.
- Moment tabanlı öznitelikler, ÇTBA ve Oto Kodlayıcı yöntemleri ile elde edilen özniteliklere kıyasla daha küçük Siluet değerlerine sahip olup performansları daha düşüktür.
- ÇTBA yönteminde, en yüksek Siluet değerine grup sayısı 2 iken ulaşılmaktadır.
- Siluet değerleri incelendiğinde grup sayısı için uygun değer 2 ve 3 olabileceği görülmektedir.

Çizelge 4-4'teki değerlere göre öznitelik çıkarma aşamasında kullanılan pencere genişliğinin Siluet değerlerine etkisi grup sayısı (k) 2 için Şekil 4-18'de gösterilmiştir.

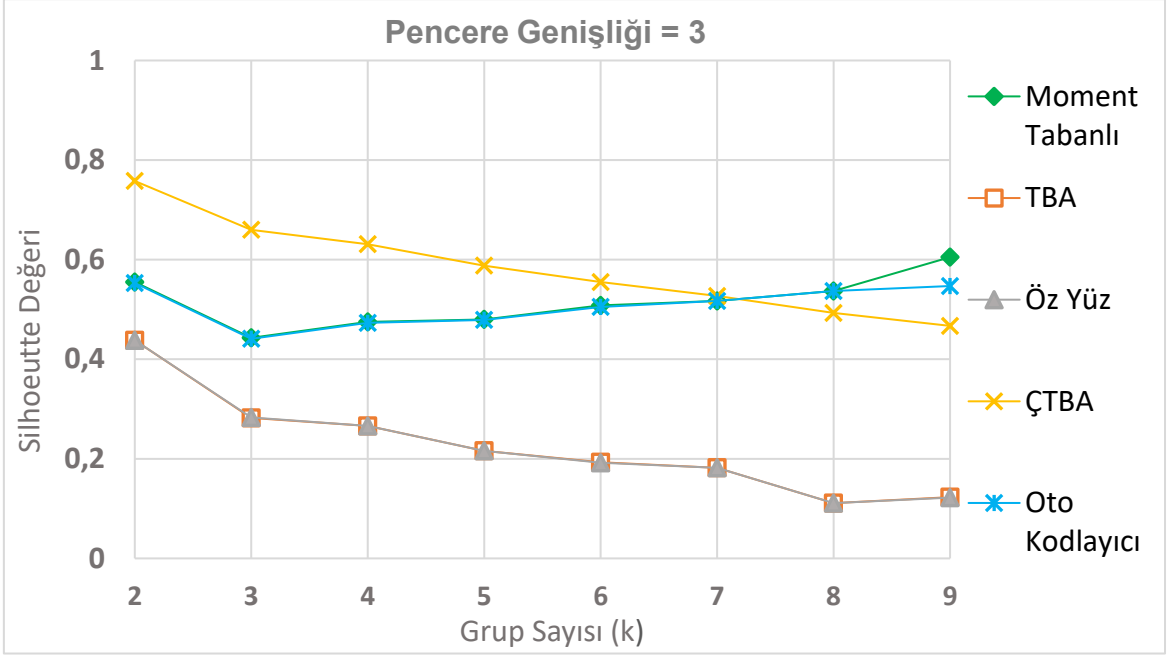


Şekil 4-18 Sentinel-1 DY SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (k=2)

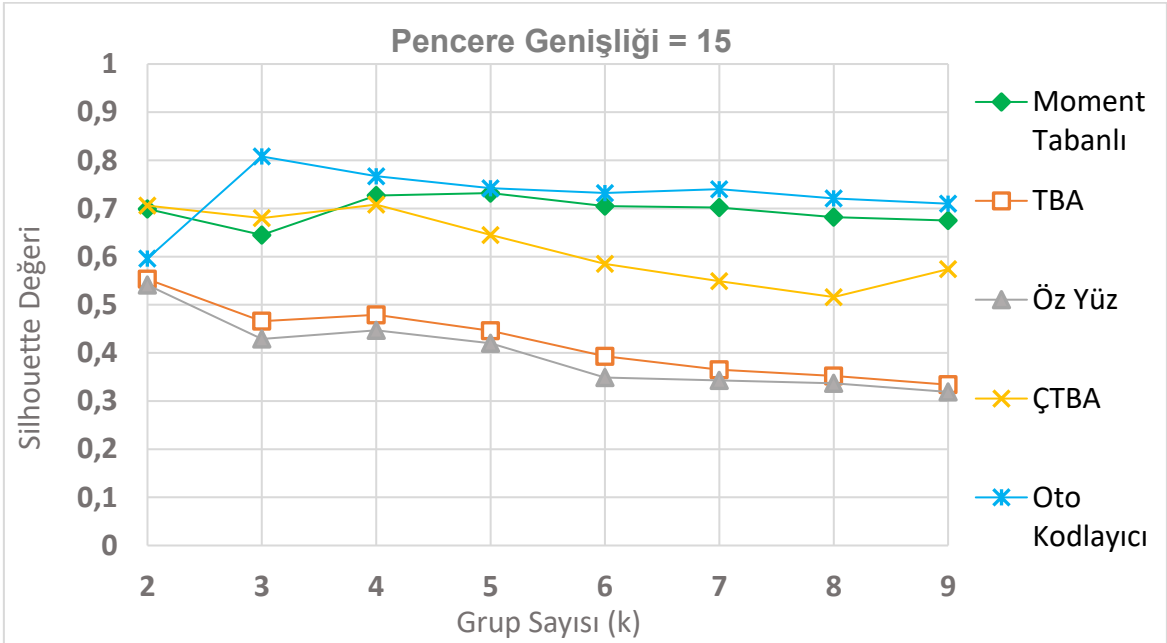
Şekil 4-18 incelendiğinde grup sayısı 2 iken en iyi performansın Oto Kodlayıcı yöntemi ile pencere genişliği 27 olduğu durumda sağlandığı görülmektedir. Siluet değerlerinden anlaşılacağı üzere küçük pencere genişliklerinde ÇTBA yönteminin performansı Oto Kodlayıcıdan ve Moment Tabanlıdan daha iyi çıkmıştır. En düşük performans TBA ve Özyüz yöntemlerinde elde edilmekle beraber Siluet değerleri birbirine çok yakındır.

Öznelik çıkarma yöntemleri ile bulunan uygun grup sayılarının gözlemlenebilmesi için Şekil 4-19, Şekil 4-20 ve Şekil 4-21 oluşturulmuştur. Bu şekillerde pencere genişliği 3, 15 ve 27 iken grup sayılarına göre Siluet değerlerindeki değişim gözlemlenebilmektedir.

Şekil 4-19'da pencere genişliği 3 iken verilen Siluet değerlerine göre uygun grup sayısının 2 olduğu görülmektedir. ÇTBA, TBA ve Özyüz yöntemlerinde grup sayısı arttıkça Siluet değerlerinin düştüğü ve performansın azaldığı görülmektedir. Ancak bu durum Oto Kodlayıcı ve Moment Tabanlı yöntemlerinde çoğunlukla performans artışı eğilimindedir.



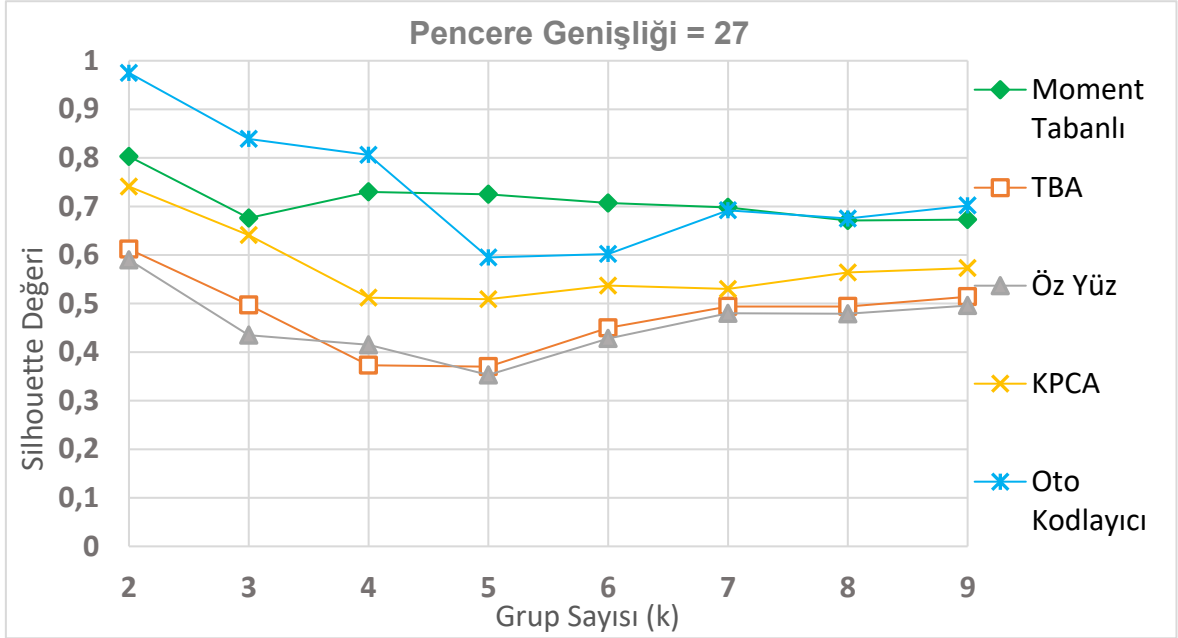
şekil 4-19 Sentinel-1 DY SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =3)



şekil 4-20 Sentinel-1 DY SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği = 15)

şekil 4-20'de pencere genişliği 15 iken verilen Siluet değerlerine göre uygun grup sayısının çoğunlukla 3 olduğu görölmektedir. ÇTBA, TBA ve Özyüz yöntemlerinde grup sayısı arttıķça Siluet değerlerinin çoğunlukla düştüğu ve performansın azaldığı görölmektedir. Ancak bu durum Oto Kodlayıcı ve Moment Tabanlı yöntemde

çoğunlukla performans artışı eğilimindedir. Şekil 4-19'daki pencere genişliğinin 3 olması durumundaki Siluet değerleri ile karşılaştırıldığında pencere genişliği 15 olduğu durumdaki Siluet değerleri daha yüksektir. Dolayısıyla pencere genişliğindeki bu artışın öbeleme performansına olumlu bir etkisi olduğu söylenebilir.



Şekil 4-21 Sentinel-1 DY SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği=27)

Şekil 4-21'de pencere genişliği 27 iken verilen Siluet değerlerine göre uygun grup sayısının çoğunlukla 2 olduğu görülmektedir. Şekil 4-19 ve Şekil 4-20'den farklı olarak pencere genişliğinin 27 olması durumunda ÇTBA, TBA ve Özyüz yöntemlerine ek olarak Oto Kodlayıcı yönteminde de grup sayısı arttıkça Siluet değerlerinin çoğunlukla düştüğü ve performansın azaldığı görülmektedir.

4.3.1.1.2. Dikey-Dikey Polarizasyon Çalışması

Birinci çalışma için seçilen bölgenin DD polarizasyonlu SAR görüntüsünden elde edilen Siluet değerleri Çizelge 4-5'te verilmiştir.

Çizelge 4-5 Sentinel-1 SAR Verisi Birinci Çalışma için Siluet Sonuçları (DY Polarizasyon)

Dikey-Dikey (DD) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 3					
2	0.926	0.455	0.456	0.767	0.732
3	0.735	0.311	0.312	0.658	0.628
4	0.721	0.304	0.303	0.616	0.649
5	0.607	0.269	0.269	0.592	0.646
6	0.669	0.227	0.229	0.580	0.649
7	0.664	0.216	0.215	0.560	0.646
8	0.560	0.235	0.233	0.536	0.644
9	0.652	0.176	0.175	0.500	0.646
Pencere Genişliği = 5					
2	0.944	0.486	0.486	0.776	0.626
3	0.496	0.300	0.300	0.669	0.827
4	0.580	0.311	0.312	0.640	0.768
5	0.740	0.257	0.257	0.616	0.743
6	0.726	0.179	0.178	0.547	0.719
7	0.651	0.147	0.156	0.519	0.706
8	0.694	0.144	0.131	0.480	0.700
9	0.624	0.120	0.121	0.436	0.686
Pencere Genişliği = 7					
2	0.949	0.530	0.530	0.778	0.842
3	0.469	0.322	0.321	0.672	0.768
4	0.805	0.355	0.354	0.673	0.614
5	0.744	0.279	0.270	0.619	0.547
6	0.814	0.214	0.213	0.569	0.488
7	0.617	0.199	0.201	0.504	0.501
8	0.626	0.179	0.197	0.480	0.443
9	0.540	0.217	0.221	0.530	0.414
Pencere Genişliği = 9					
2	0.949	0.565	0.564	0.774	0.538
3	0.456	0.348	0.348	0.668	0.345
4	0.796	0.381	0.380	0.690	0.343
5	0.815	0.299	0.299	0.605	0.306
6	0.727	0.254	0.253	0.555	0.251
7	0.596	0.253	0.253	0.510	0.246
8	0.616	0.242	0.243	0.559	0.202
9	0.563	0.236	0.232	0.517	0.178
Pencere Genişliği = 11					
2	0.946	0.581	0.581	0.766	0.511
3	0.452	0.376	0.377	0.669	0.282
4	0.836	0.406	0.408	0.697	0.254
5	0.864	0.317	0.319	0.636	0.241

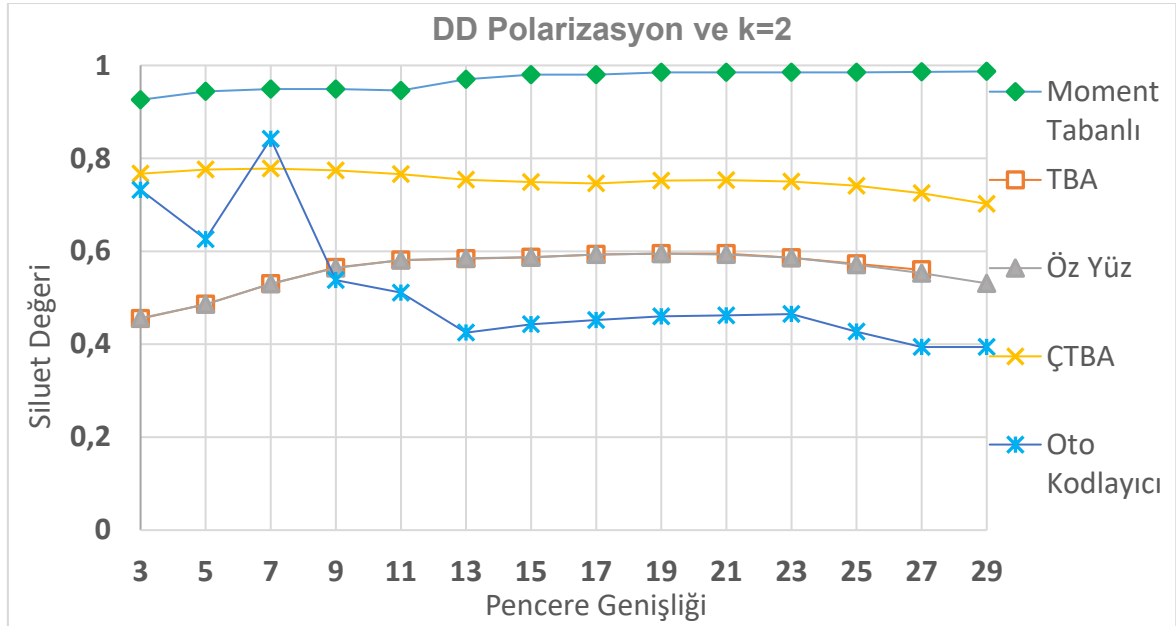
Dikey-Dikey (DD) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 11					
6	0.769	0.290	0.273	0.656	0.189
7	0.632	0.272	0.272	0.601	0.194
8	0.665	0.252	0.254	0.546	0.176
9	0.578	0.264	0.271	0.503	0.217
Pencere Genişliği = 13					
2	0.970	0.584	0.585	0.754	0.425
3	0.882	0.397	0.397	0.674	0.280
4	0.861	0.424	0.423	0.702	0.257
5	0.747	0.358	0.359	0.626	0.224
6	0.813	0.320	0.321	0.642	0.232
7	0.759	0.312	0.317	0.586	0.248
8	0.633	0.274	0.276	0.529	0.213
9	0.564	0.290	0.278	0.496	0.198
Pencere Genişliği = 15					
2	0.980	0.587	0.587	0.749	0.443
3	0.892	0.405	0.406	0.672	0.334
4	0.869	0.434	0.432	0.702	0.315
5	0.750	0.387	0.387	0.620	0.303
6	0.834	0.318	0.335	0.617	0.271
7	0.681	0.308	0.307	0.560	0.273
8	0.655	0.284	0.283	0.523	0.259
9	0.591	0.296	0.298	0.495	0.247
Pencere Genişliği = 17					
2	0.980	0.593	0.593	0.746	0.452
3	0.905	0.406	0.406	0.662	0.335
4	0.875	0.436	0.435	0.693	0.235
5	0.729	0.390	0.403	0.640	0.221
6	0.846	0.333	0.321	0.586	0.275
7	0.806	0.323	0.322	0.538	0.296
8	0.622	0.311	0.312	0.518	0.281
9	0.622	0.297	0.300	0.483	0.236
Pencere Genişliği = 19					
2	0.985	0.595	0.595	0.752	0.460
3	0.916	0.404	0.404	0.651	0.337
4	0.892	0.438	0.434	0.687	0.232
5	0.815	0.402	0.398	0.593	0.271
6	0.881	0.336	0.347	0.584	0.304
7	0.664	0.341	0.333	0.514	0.327
8	0.660	0.324	0.332	0.513	0.298
9	0.661	0.324	0.334	0.483	0.322

Dikey-Dikey (DD) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 21					
2	0.985	0.595	0.593	0.753	0.462
3	0.922	0.402	0.401	0.640	0.343
4	0.897	0.376	0.366	0.670	0.282
5	0.821	0.402	0.393	0.577	0.312
6	0.884	0.410	0.397	0.566	0.301
7	0.670	0.364	0.360	0.506	0.333
8	0.647	0.381	0.323	0.475	0.326
9	0.661	0.343	0.343	0.472	0.309
Pencere Genişliği = 23					
2	0.985	0.586	0.586	0.750	0.465
3	0.481	0.401	0.395	0.621	0.476
4	0.898	0.373	0.371	0.638	0.365
5	0.817	0.392	0.376	0.548	0.409
6	0.881	0.420	0.411	0.558	0.404
7	0.672	0.386	0.387	0.499	0.430
8	0.657	0.394	0.379	0.479	0.368
9	0.676	0.378	0.374	0.469	0.352
Pencere Genişliği = 25					
2	0.985	0.573	0.571	0.741	0.427
3	0.480	0.392	0.389	0.595	0.366
4	0.898	0.402	0.389	0.593	0.391
5	0.817	0.415	0.396	0.539	0.386
6	0.881	0.433	0.420	0.540	0.402
7	0.672	0.398	0.416	0.497	0.363
8	0.657	0.406	0.401	0.499	0.361
9	0.676	0.394	0.388	0.485	0.408
Pencere Genişliği = 27					
2	0.986	0.560	0.553	0.725	0.394
3	0.492	0.385	0.388	0.563	0.472
4	0.899	0.413	0.399	0.520	0.445
5	0.822	0.429	0.391	0.530	0.394
6	0.881	0.458	0.433	0.527	0.472
7	0.692	0.438	0.434	0.501	0.477
8	0.713	0.426	0.418	0.500	0.500
9	0.745	0.426	0.404	0.502	0.477
Pencere Genişliği = 29					
2	0.987	0.545	0.531	0.702	0.425
3	0.493	0.385	0.385	0.523	0.485
4	0.895	0.432	0.414	0.528	0.396
5	0.956	0.434	0.399	0.520	0.428
6	0.877	0.391	0.392	0.488	0.454
7	0.877	0.385	0.441	0.503	0.451
8	0.723	0.430	0.428	0.492	0.448
9	0.705	0.439	0.427	0.511	0.446

Çizelge 4-5'teki Dikey-Dikey (DD) polarizasyon sonuçlarına göre:

- En yüksek Siluet değerleri büyük çoğunlukla Moment Tabanlı öznitelikler kullanıldığında elde edilmiştir ve en uygun grup sayısı 2 olarak bulunmuştur.
- Moment Tabanlı özniteliklerden sonra en iyi başarıım ÇTBA ile elde edilmiştir. Dikey-Dikey (DD) polarizasyonda ÇTBA'nın performansı Oto Kodlayıcıdan daha iyidir.
- Oto Kodlayıcının Siluet değerleri, DY polarizasyondaki değerleri ile kıyaslanınca daha düşüktür. Bu düşüşte oto kodlayıcının parametre optimizasyonunun DY görüntü için yapılmasının olumsuz etkisi vardır.
- En düşük Siluet değerleri TBA ve Özyüz yöntemleri ile elde edilmiştir.

Siluet değerleri genel olarak incelendiğinde grup sayısı için uygun değer 2 olabileceği görülmektedir. Çizelge 4-5'teki değerler kullanılarak öznitelik çıkarma aşamasında kullanılan pencere genişliğinin Siluet değerlerine olan etkisi grup sayısı (k) 2 iken Şekil 4-22'de gösterilmiştir.

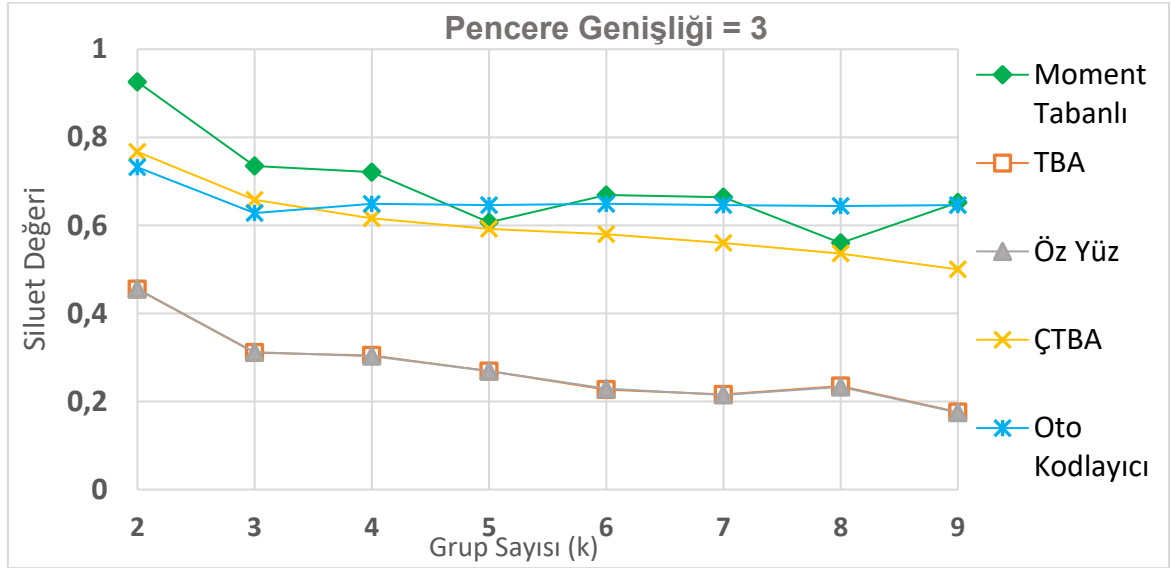


Şekil 4-22 Sentinel-1 DD SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (k=2)

Şekil 4-22 incelendiğinde grup sayısı 2 iken en iyi performansın Moment Tabanlı özniteliklerle sağlandığı ve Siluet değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmektedir. Siluet değerlerinden anlaşılacağı üzere ÇTBA yönteminin

performansı Oto Kodlayıcıdan daha iyi çıkmıştır. En düşük performans TBA ve Özyüz yöntemlerinde elde edilmekle beraber Siluet değerleri birbirine çok yakındır.

Öznitelik çıkarma yöntemleri ile uygun grup sayılarının bulunabilmesi için Şekil 4-19, Şekil 4-20 ve Şekil 4-21 oluşturulmuştur. Bu şekillerde pencere genişliği 3, 15 ve 27 iken grup sayılarına göre Siluet değerlerindeki değişim gözlemlenebilmektedir.

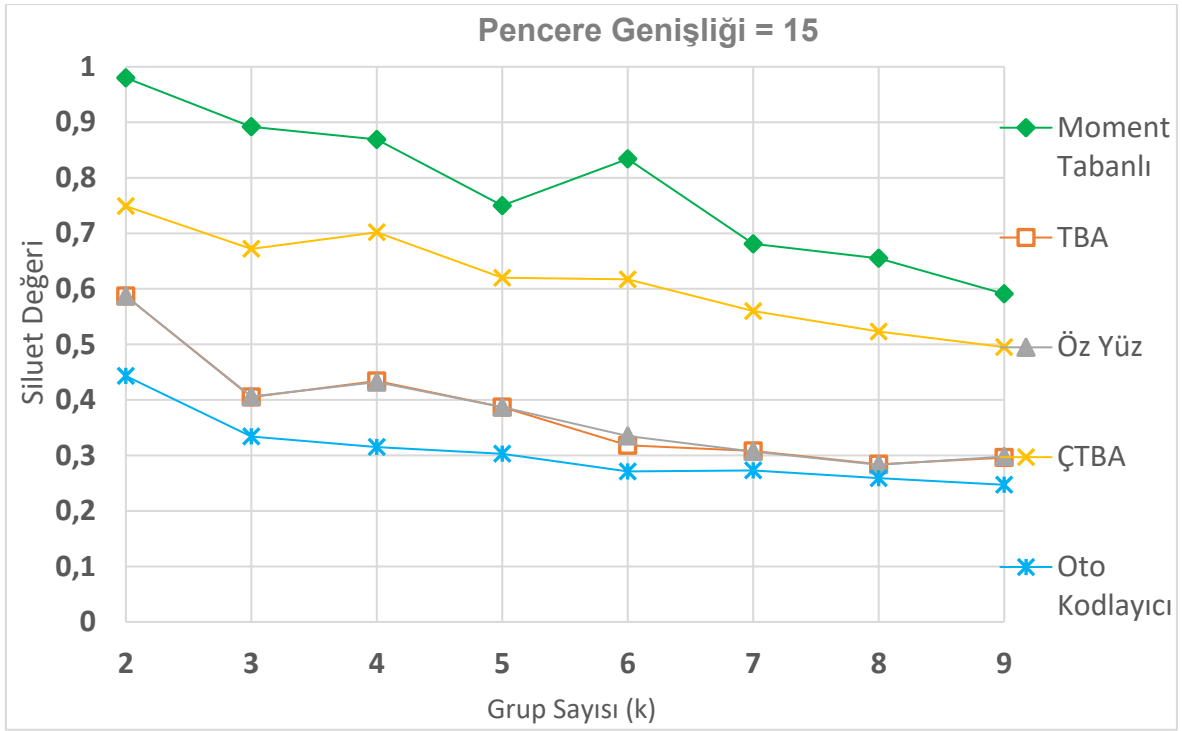


Şekil 4-23 Sentinel-1 DD SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri
(pencere genişliği =3)

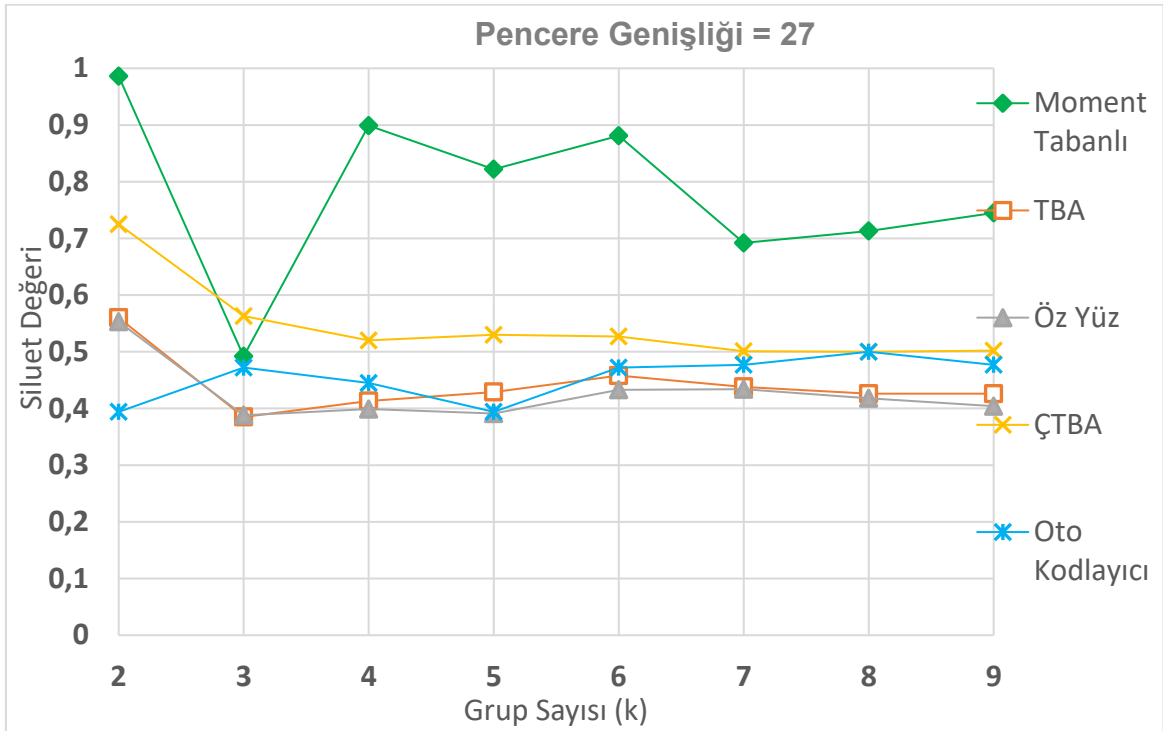
Şekil 4-23'te pencere genişliği 3 iken verilen Siluet değerlerine göre uygun grup sayısının 2 olduğu görülmektedir. Oto Kodlayıcı yönteminde diğer yöntemlere kıyasla grup sayısı arttıkça Siluet değerlerinde genel bir düşüş eğilimi görülmemekle birlikte Siluet değerleri daha az değişken bir yapı içerisindedir. En düşük Siluet değerleri TBA ve Özyüz yöntemlerinde elde edilmiştir.

Şekil 4-24'te pencere genişliği 15 iken verilen Siluet değerlerine göre uygun grup sayısının 2 olduğu görülmektedir. Pencere genişliğinin 3 olduğu durumdan farklı olarak Oto Kodlayıcının performansında bir düşüş olduğu görülmektedir.

Şekil 4-25'te pencere genişliği 27 için verilen Siluet değerlerine göre uygun grup sayısının çoğunlukla 2 olduğu görülmektedir. Pencere genişliğinin 15 olduğu duruma kıyasla, Oto Kodlayıcının performansında biraz artış olduğu ve ÇTBA'nın Siluet değerlerindeki değişimin benzer olduğu görülmektedir.



Şekil 4-24 Sentinel-1 DD SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =15)



Şekil 4-25 Sentinel-1 DD SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği = 27)

4.3.1.2. İkinci Çalışma

İkinci çalışma olarak Şekil 4-26'da verilen alan seçilmiştir. Seçilen bölgeye grup sayısının ve pencere genişliğinin farklı değerleri için 4.1.2'de verilen öznitelik yöntemleri uygulandığında elde edilen Siluet değerleri bu başlık altında verilecektir.

41° 0' 3.14" K, 28° 45' 31.85" D

41° 0' 2.77" K, 28° 46' 00.91" D



40° 59' 41.46" K, 28° 45' 35.36" D

40° 59' 41.73" K, 28° 46' 02.35" D

Şekil 4-26 İkinci Çalışma Google Earth Görüntüsü

4.3.1.2.1. Dikey-Yatay Polarizasyon Çalışması

İkinci çalışma için seçilen bölgenin DY polarizasyonlu SAR görüntüsünden elde edilen Siluet değerleri Çizelge 4-6'da verilmiştir.

Çizelge 4-6 Sentinel-1 SAR Verisi İkinci Çalışma için Siluet Sonuçları (DY Polarizasyon)

Dikey-Yatay (DY) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
	Pencere Genişliği = 3				
2	0.635	0.549	0.548	0.704	0.642
3	0.665	0.450	0.448	0.624	0.664
4	0.647	0.320	0.320	0.545	0.645
5	0.660	0.326	0.325	0.512	0.665
6	0.668	0.318	0.316	0.471	0.672
7	0.676	0.290	0.284	0.431	0.683
8	0.668	0.268	0.268	0.441	0.666
9	0.665	0.262	0.258	0.413	0.669

Dikey-Yatay (DY) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 5					
2	0.679	0.531	0.532	0.708	0.678
3	0.683	0.422	0.422	0.602	0.681
4	0.671	0.269	0.269	0.511	0.671
5	0.655	0.277	0.279	0.438	0.654
6	0.670	0.278	0.281	0.429	0.671
7	0.670	0.285	0.285	0.446	0.664
8	0.674	0.220	0.220	0.453	0.680
9	0.673	0.230	0.230	0.415	0.672
Pencere Genişliği = 7					
2	0.699	0.519	0.519	0.690	0.613
3	0.729	0.483	0.482	0.636	0.621
4	0.670	0.444	0.445	0.492	0.514
5	0.647	0.263	0.264	0.407	0.539
6	0.656	0.284	0.284	0.418	0.559
7	0.684	0.282	0.281	0.439	0.582
8	0.680	0.211	0.211	0.430	0.545
9	0.674	0.213	0.212	0.384	0.551
Pencere Genişliği = 9					
2	0.698	0.491	0.490	0.668	0.683
3	0.580	0.470	0.469	0.605	0.725
4	0.669	0.449	0.449	0.457	0.674
5	0.629	0.273	0.274	0.464	0.627
6	0.637	0.288	0.285	0.456	0.631
7	0.679	0.283	0.284	0.380	0.673
8	0.675	0.231	0.231	0.378	0.673
9	0.675	0.222	0.220	0.389	0.679
Pencere Genişliği = 11					
2	0.683	0.452	0.457	0.625	0.685
3	0.695	0.448	0.446	0.551	0.692
4	0.666	0.245	0.242	0.564	0.657
5	0.604	0.318	0.314	0.437	0.639
6	0.653	0.263	0.262	0.415	0.641
7	0.689	0.268	0.269	0.424	0.673
8	0.689	0.253	0.252	0.400	0.660
9	0.687	0.244	0.241	0.406	0.661
Pencere Genişliği = 13					
2	0.641	0.409	0.412	0.572	0.618
3	0.676	0.407	0.408	0.510	0.673
4	0.649	0.357	0.342	0.527	0.644
5	0.692	0.389	0.383	0.415	0.693
6	0.664	0.252	0.245	0.372	0.668

Dikey-Yatay (DY) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 13					
7	0.662	0.252	0.251	0.404	0.652
8	0.675	0.242	0.264	0.389	0.656
9	0.686	0.258	0.254	0.388	0.670
Pencere Genişliği = 15					
2	0.594	0.381	0.378	0.504	0.559
3	0.682	0.373	0.372	0.463	0.676
4	0.635	0.340	0.331	0.491	0.626
5	0.679	0.384	0.384	0.384	0.678
6	0.674	0.243	0.372	0.348	0.651
7	0.685	0.248	0.236	0.377	0.684
8	0.685	0.247	0.240	0.352	0.683
9	0.697	0.263	0.249	0.362	0.698
Pencere Genişliği = 17					
2	0.579	0.349	0.297	0.431	0.548
3	0.718	0.330	0.324	0.432	0.672
4	0.645	0.334	0.321	0.491	0.631
5	0.653	0.338	0.326	0.468	0.684
6	0.668	0.335	0.366	0.374	0.665
7	0.700	0.238	0.247	0.387	0.667
8	0.699	0.257	0.278	0.369	0.686
9	0.696	0.260	0.273	0.376	0.708
Pencere Genişliği = 19					
2	0.591	0.315	0.207	0.368	0.821
3	0.748	0.299	0.286	0.425	0.658
4	0.665	0.339	0.314	0.477	0.711
5	0.644	0.341	0.328	0.470	0.693
6	0.663	0.368	0.357	0.376	0.690
7	0.681	0.262	0.315	0.384	0.717
8	0.678	0.238	0.256	0.370	0.704
9	0.709	0.269	0.277	0.378	0.708
Pencere Genişliği = 21					
2	0.626	0.315	0.193	0.607	0.884
3	0.738	0.284	0.265	0.419	0.915
4	0.679	0.336	0.312	0.454	0.891
5	0.646	0.338	0.320	0.457	0.817
6	0.680	0.354	0.350	0.385	0.812
7	0.701	0.300	0.321	0.401	0.813
8	0.673	0.247	0.340	0.387	0.817
9	0.683	0.271	0.372	0.392	0.820
Pencere Genişliği = 23					
2	0.652	0.220	0.279	0.603	0.884
3	0.724	0.282	0.263	0.409	0.695
4	0.693	0.322	0.295	0.437	0.686
5	0.663	0.334	0.318	0.421	0.721
6	0.689	0.315	0.342	0.412	0.731

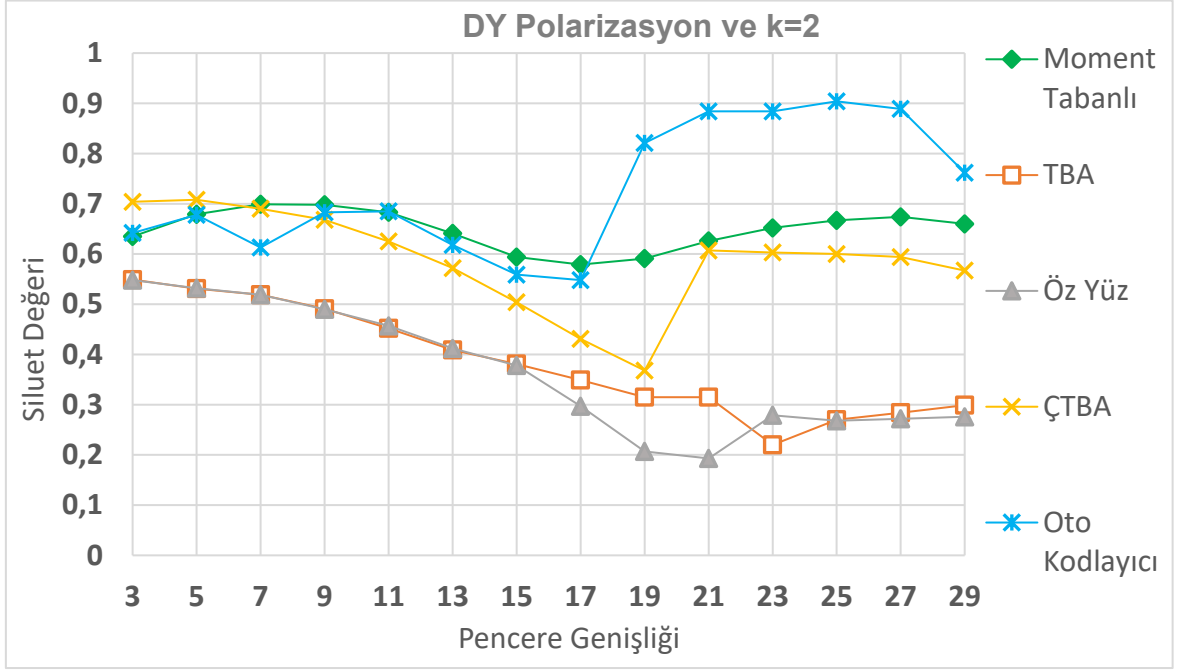
Dikey-Yatay (DY) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 23					
7	0.673	0.338	0.319	0.427	0.693
8	0.684	0.349	0.348	0.404	0.703
9	0.667	0.343	0.365	0.419	0.712
Pencere Genişliği = 25					
2	0.667	0.270	0.268	0.600	0.904
3	0.712	0.280	0.256	0.400	0.836
4	0.706	0.305	0.281	0.394	0.844
5	0.708	0.342	0.316	0.417	0.732
6	0.699	0.346	0.330	0.405	0.752
7	0.705	0.357	0.351	0.407	0.706
8	0.696	0.330	0.338	0.411	0.713
9	0.697	0.353	0.337	0.394	0.719
Pencere Genişliği = 27					
2	0.674	0.284	0.272	0.594	0.889
3	0.727	0.274	0.253	0.390	0.862
4	0.683	0.283	0.264	0.382	0.716
5	0.705	0.320	0.297	0.419	0.737
6	0.722	0.302	0.309	0.406	0.746
7	0.727	0.314	0.314	0.399	0.721
8	0.719	0.350	0.347	0.381	0.728
9	0.701	0.375	0.365	0.378	0.746
Pencere Genişliği = 29					
2	0.660	0.299	0.276	0.567	0.762
3	0.755	0.299	0.255	0.353	0.737
4	0.684	0.289	0.259	0.376	0.751
5	0.709	0.307	0.280	0.384	0.725
6	0.729	0.279	0.289	0.391	0.736
7	0.728	0.307	0.311	0.390	0.712
8	0.704	0.324	0.333	0.377	0.718
9	0.709	0.359	0.349	0.379	0.712

Çizelge 4-6'daki Dikey-Yatay (DY) polarizasyon sonuçlarına göre:

- TBA ve Özyüz yöntemlerine ait Siluet değerleri birbirine yakın çıkmış olup en düşük Siluet değerleri TBA ve Özyüz yöntemlerine aittir.
- Küçük pencere genişlikleri için çoğunlukla Moment Tabanlı özneliliklerin performansı iyidir ancak pencere genişliği arttıkça Oto Kodlayıcı performansının iyileştiği ve ön plana çıktığı görölmektedir.
- ÇTBA yönteminde ise grup sayısı arttıkça Siluet değerlerinin düştüğü gözlemlenmektedir.

- Siluet değerleri incelendiğinde, grup sayısı için uygun değer 2 ve 3 olabileceği görülmektedir.

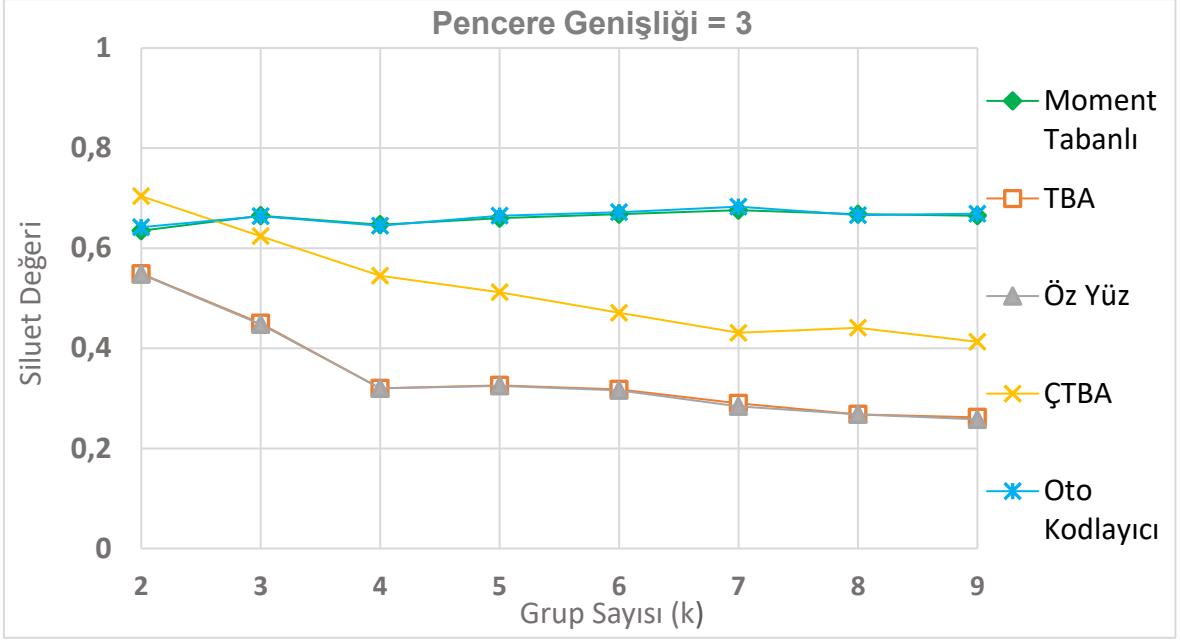
Çizelge 4-6'daki değerler kullanılarak öznelik çıkarma aşamasında kullanılan pencere genişliğinin Siluet değerlerine olan etkisi grup sayısı (k) 2 iken Şekil 4-27'de gösterilmiştir.



Şekil 4-27 Sentinel-1 DY SAR Verisi İkinci Çalışma Siluet Değerleri (k=2)

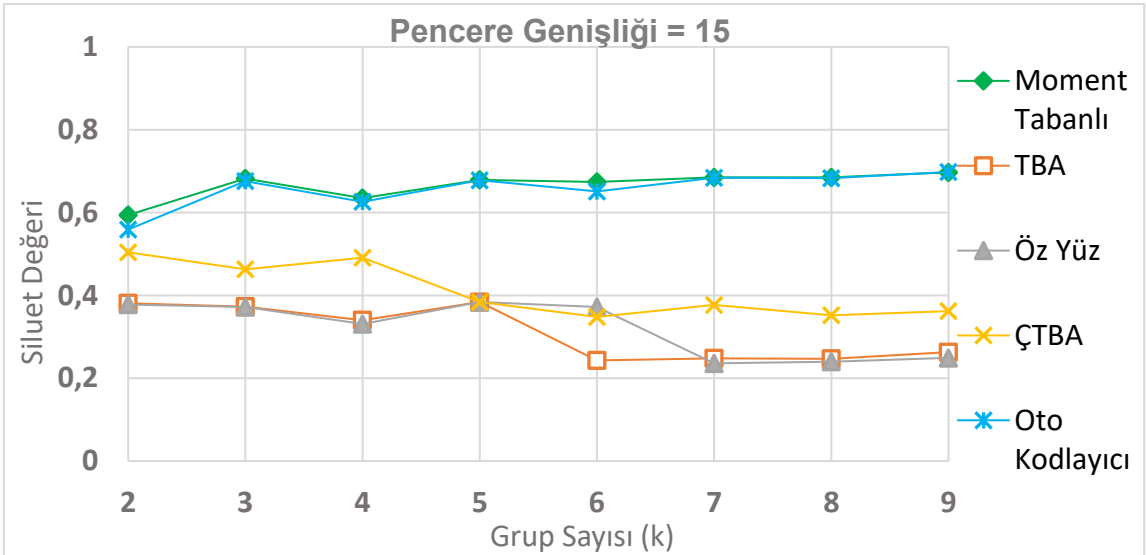
Şekil 4-27 incelendiğinde, grup sayısı 2 iken Moment Tabanlı, Oto Kodlayıcı ve ÇTBA yöntemlerinin performansının diğerlerine kıyasla daha iyi olduğu görülmektedir. Büyük pencere genişlikleri için Oto Kodlayıcı performansında belirgin bir artış olduğu görülmektedir. En düşük performans TBA ve Özyüz yöntemlerinde elde edilmekle beraber Siluet değerleri birbirine yakın çıkmıştır.

Öznelik çıkarma yöntemleri ile bulunan uygun grup sayılarının gözlemlenebilmesi için Şekil 4-28, Şekil 4-29 ve Şekil 4-30 oluşturulmuştur. Bu şekillerde pencere genişliği 3, 15 ve 27 iken grup sayılarına göre Siluet değerlerindeki değişim gözlemlenebilmektedir.



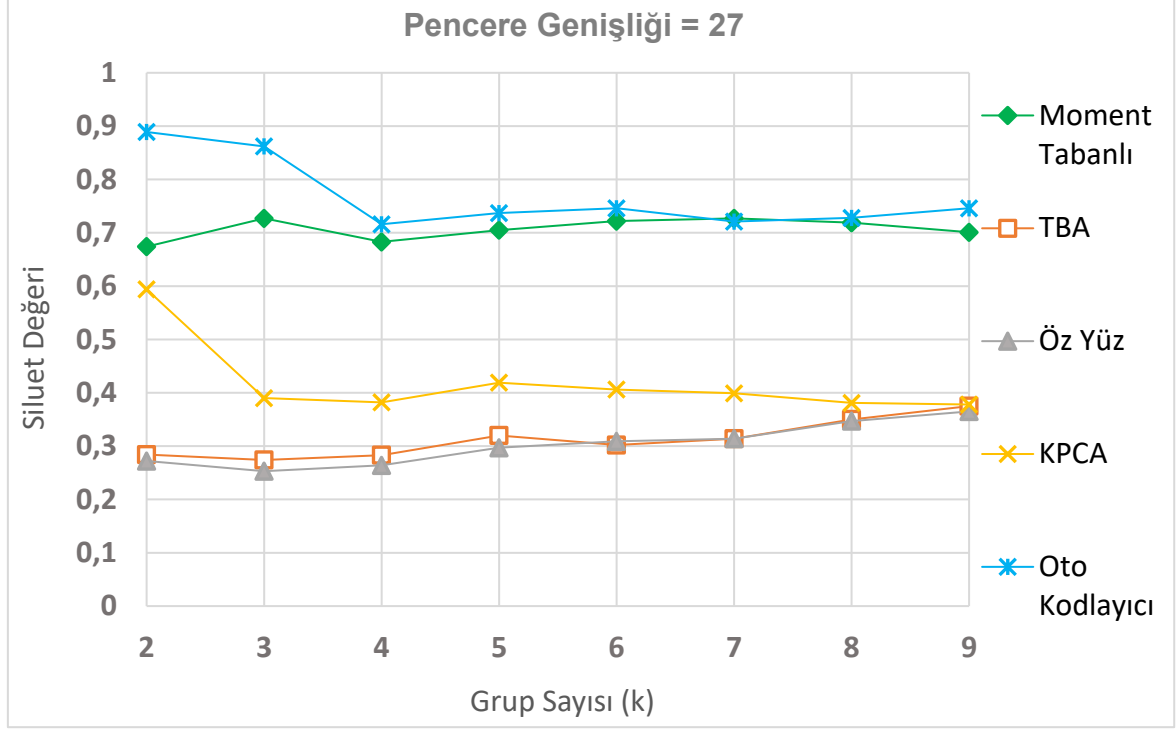
Şekil 4-28 Sentinel-1 DY SAR Verisi İkinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği=3)

Şekil 4-28'de pencere genişliği 3 iken verilen Siluet değerlerine göre uygun grup sayısının 2 olduğu görölmektedir. ÇTBA, TBA ve Özyüz yöntemlerinde grup sayısı arttıkça Siluet değerlerinin düştüğu ve performansın azaldığı görölmektedir. Ancak bu durum Oto Kodlayıcı ve Moment Tabanlı yöntemlerinde çoğunlukla performans artışı eğiliminde olup Siluet değerleri birbirine yakındır.



Şekil 4-29 Sentinel-1 DY SAR Verisi İkinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği=15)

Şekil 4-29'da pencere genişliği 15 iken verilen Siluet değerlerine göre uygun grup sayısının çoğunlukla 2 ve 3 olduğu görülmektedir. ÇTBA, TBA ve Özyüz yöntemlerinde grup sayısı arttıkça Siluet değerlerinin çoğunlukla düştüğü ve performansın azaldığı görülmektedir. Oto Kodlayıcı ve Moment Tabanlı özneliklerin Siluet değerlerinin birbirine yakın çıktığı gözlenmektedir.



Şekil 4-30 Sentinel-1 DY SAR Verisi İkinci Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği=27)

Şekil 4-28 ve Şekil 4-29'dan farklı olarak pencere genişliğinin 27 olması durumunda Oto Kodlayıcı yönteminin Siluet değerlerinin arttığı görülmektedir.

4.3.1.2.2. Dikey-Dikey Polarizasyon Çalışması

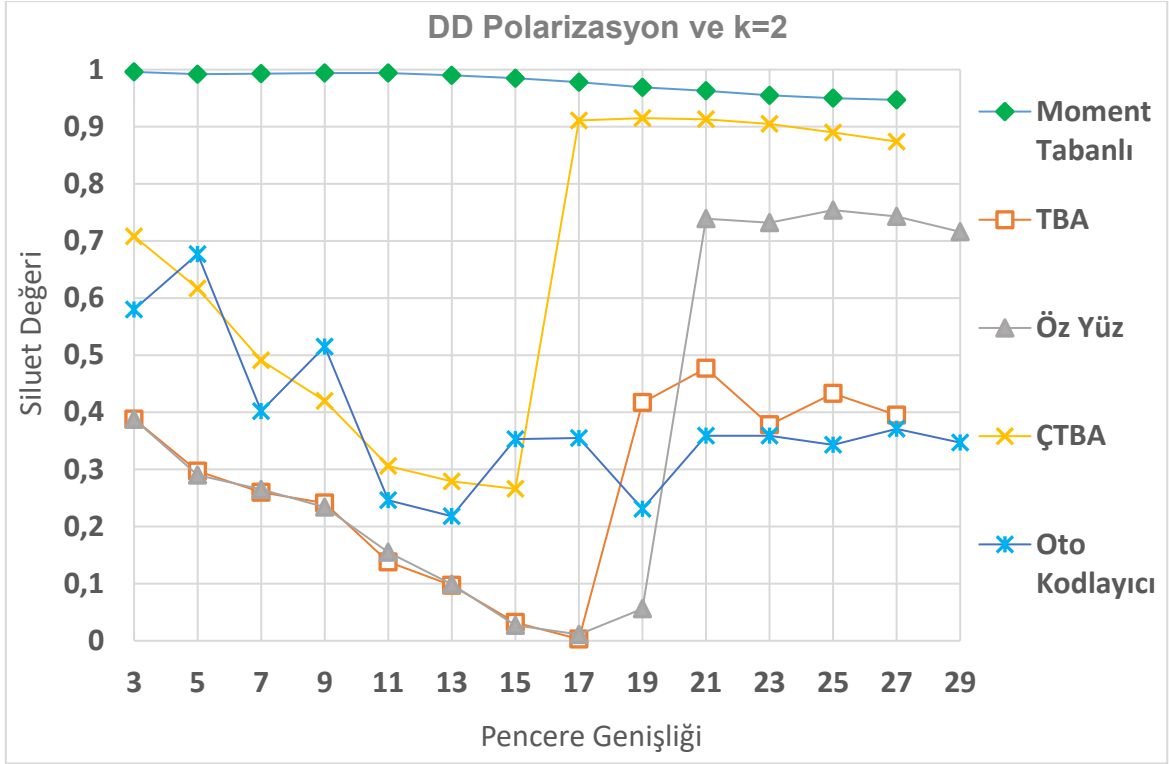
İkinci çalışma için seçilen bölgenin DD polarizasyonlu SAR görüntüsünden elde edilen Siluet değerleri Çizelge 4-7'de verilmiştir.

Çizelge 4-7 Sentinel-1 SAR Verisi İkinci Çalışma için Siluet Sonuçları (DY Polarizasyon)

Dikey –Dikey (DD) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 3					
2	0.996	0.388	0.388	0.708	0.580
3	0.994	0.454	0.455	0.677	0.654
4	0.995	0.460	0.455	0.615	0.681
5	0.996	0.409	0.407	0.581	0.668
6	0.994	0.409	0.410	0.531	0.672
7	0.994	0.376	0.376	0.501	0.684
8	0.986	0.368	0.379	0.477	0.679
9	0.987	0.288	0.278	0.484	0.677
Pencere Genişliği = 5					
2	0.992	0.297	0.290	0.617	0.677
3	0.990	0.392	0.371	0.638	0.278
4	0.990	0.379	0.382	0.560	0.276
5	0.991	0.268	0.277	0.567	0.397
6	0.992	0.316	0.311	0.504	0.369
7	0.989	0.299	0.299	0.424	0.439
8	0.989	0.357	0.357	0.442	0.412
9	0.989	0.319	0.356	0.461	0.391
Pencere Genişliği = 7					
2	0.993	0.260	0.265	0.491	0.402
3	0.989	0.391	0.391	0.622	0.320
4	0.986	0.262	0.247	0.547	0.345
5	0.988	0.275	0.262	0.524	0.360
6	0.989	0.272	0.274	0.513	0.342
7	0.985	0.278	0.277	0.478	0.395
8	0.985	0.275	0.278	0.503	0.393
9	0.975	0.277	0.299	0.491	0.383
Pencere Genişliği = 9					
2	0.994	0.241	0.234	0.420	0.515
3	0.977	0.339	0.338	0.589	0.359
4	0.981	0.349	0.348	0.511	0.505
5	0.986	0.361	0.358	0.472	0.519
6	0.981	0.274	0.275	0.480	0.453
7	0.980	0.284	0.281	0.492	0.529
8	0.970	0.273	0.276	0.452	0.477
9	0.969	0.288	0.287	0.483	0.456
Pencere Genişliği = 11					
2	0.994	0.138	0.155	0.306	0.246
3	0.990	0.309	0.303	0.563	0.177

Dikey –Dikey (DD) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 11					
4	0.981	0.337	0.337	0.480	0.191
5	0.982	0.352	0.347	0.508	0.214
6	0.922	0.264	0.269	0.442	0.234
7	0.928	0.262	0.268	0.484	0.246
8	0.967	0.279	0.281	0.482	0.301
9	0.964	0.295	0.296	0.434	0.279
Pencere Genişliği = 13					
2	0.990	0.097	0.099	0.279	0.218
3	0.988	0.290	0.284	0.521	0.229
4	0.978	0.332	0.327	0.545	0.245
5	0.980	0.335	0.333	0.489	0.269
6	0.919	0.313	0.307	0.502	0.264
7	0.917	0.325	0.329	0.442	0.259
8	0.917	0.274	0.275	0.445	0.277
9	0.949	0.294	0.295	0.479	0.284
Pencere Genişliği = 15					
2	0.985	0.032	0.027	0.266	0.353
3	0.987	0.279	0.279	0.390	0.292
4	0.975	0.250	0.317	0.532	0.300
5	0.974	0.283	0.328	0.449	0.336
6	0.908	0.313	0.311	0.473	0.244
7	0.907	0.308	0.285	0.459	0.249
8	0.907	0.347	0.332	0.406	0.247
9	0.938	0.318	0.332	0.440	0.252
Pencere Genişliği = 17					
2	0.978	0.003	0.011	0.911	0.355
3	0.987	0.273	0.272	0.382	0.280
4	0.973	0.318	0.288	0.523	0.283
5	0.969	0.259	0.221	0.420	0.302
6	0.890	0.313	0.310	0.439	0.230
7	0.886	0.291	0.287	0.445	0.209
8	0.890	0.348	0.348	0.443	0.211
9	0.890	0.328	0.315	0.441	0.219
Pencere Genişliği = 19					
2	0.969	0.417	0.056	0.915	0.231
3	0.988	0.272	0.267	0.401	0.240
4	0.973	0.290	0.277	0.477	0.277
5	0.967	0.237	0.236	0.433	0.303
6	0.874	0.312	0.306	0.407	0.286
7	0.866	0.281	0.350	0.411	0.223
8	0.867	0.342	0.313	0.403	0.222
9	0.863	0.310	0.336	0.389	0.234

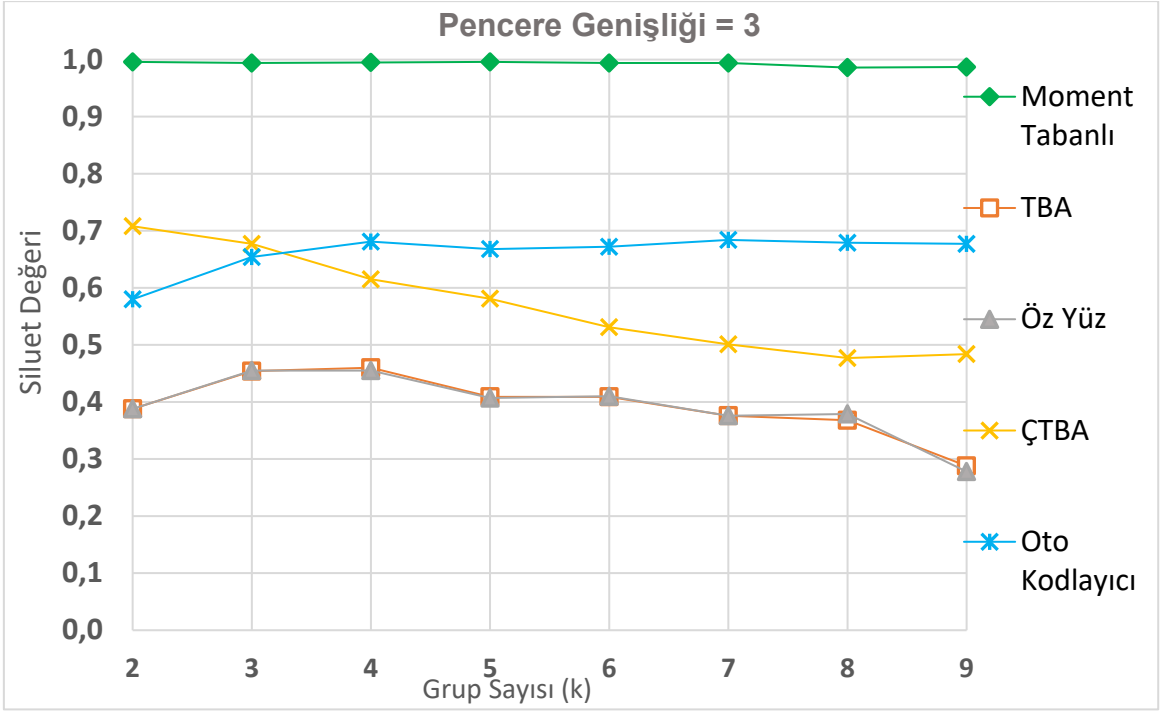
Dikey –Dikey (DD) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 21					
2	0.963	0.477	0.739	0.913	0.359
3	0.986	0.270	0.264	0.385	0.243
4	0.969	0.281	0.274	0.442	0.322
5	0.960	0.201	0.196	0.374	0.199
6	0.848	0.234	0.211	0.353	0.304
7	0.839	0.295	0.295	0.364	0.307
8	0.837	0.283	0.289	0.361	0.303
9	0.833	0.322	0.324	0.368	0.305
Pencere Genişliği = 23					
2	0.955	0.378	0.732	0.905	0.359
3	0.985	0.268	0.300	0.512	0.330
4	0.962	0.319	0.229	0.437	0.276
5	0.952	0.156	0.335	0.466	0.262
6	0.815	0.209	0.188	0.352	0.234
7	0.806	0.295	0.295	0.353	0.252
8	0.797	0.284	0.279	0.352	0.280
9	0.797	0.267	0.316	0.333	0.279
Pencere Genişliği = 25					
2	0.950	0.433	0.754	0.890	0.343
3	0.984	0.509	0.286	0.512	0.283
4	0.958	0.290	0.277	0.426	0.317
5	0.945	0.323	0.326	0.455	0.337
6	0.786	0.260	0.254	0.458	0.275
7	0.774	0.270	0.278	0.456	0.285
8	0.773	0.252	0.291	0.393	0.262
9	0.784	0.299	0.286	0.395	0.260
Pencere Genişliği = 27					
2	0.947	0.395	0.743	0.874	0.371
3	0.982	0.408	0.312	0.476	0.276
4	0.953	0.318	0.309	0.418	0.284
5	0.939	0.314	0.337	0.428	0.328
6	0.754	0.313	0.310	0.441	0.321
7	0.740	0.265	0.338	0.441	0.280
8	0.740	0.293	0.291	0.383	0.282
9	0.737	0.294	0.290	0.383	0.307
Pencere Genişliği = 29					
2	0.943	0.305	0.716	0.856	0.347
3	0.980	0.288	0.280	0.420	0.419
4	0.948	0.306	0.297	0.501	0.320
5	0.932	0.280	0.328	0.413	0.381
6	0.723	0.313	0.308	0.400	0.385
7	0.724	0.339	0.337	0.389	0.326
8	0.708	0.282	0.344	0.417	0.378
9	0.709	0.301	0.288	0.373	0.359



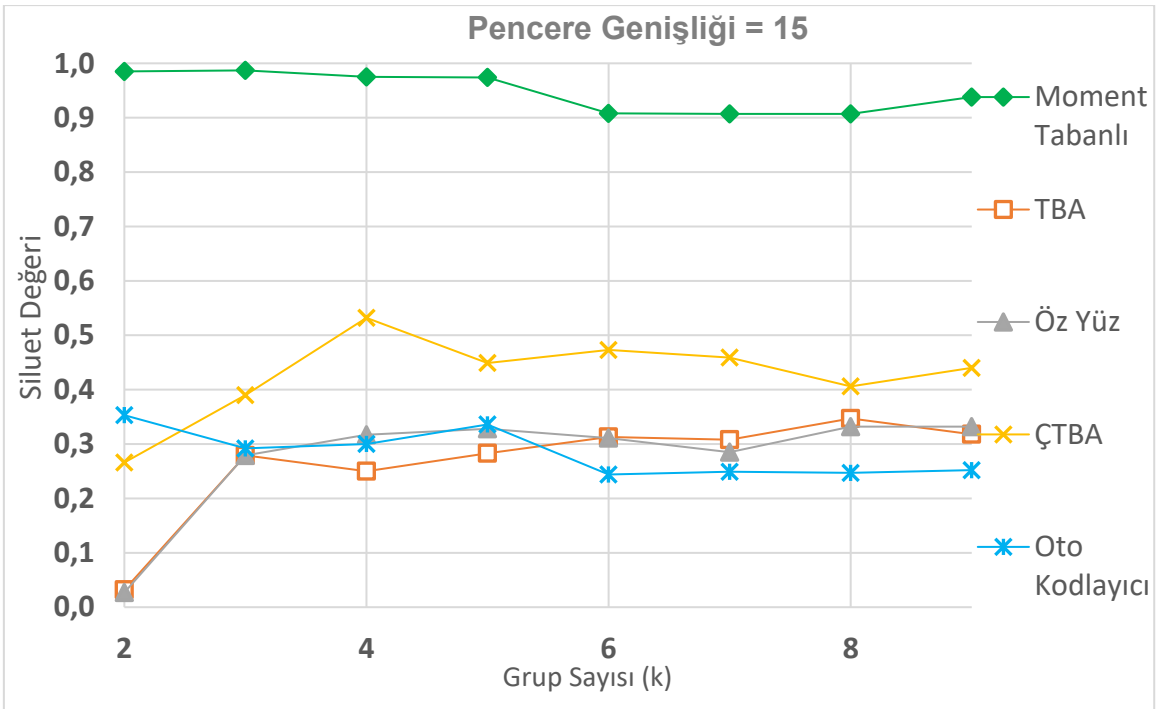
Şekil 4-31 Sentinel-1 DD SAR Verisi Birinci Çalışma Siluet Değerleri (k=2)

Şekil 4-31 incelendiğinde grup sayısı 2 iken en iyi performansın Moment Tabanlı özniteliklerle sağlandığı ve farklı pencere genişliklerindeki Siluet değerlerinin birbirine oldukça yakın olduğu gözlemlenmektedir. ÇTBA, TBA ve Özyüz yöntemlerinin Siluet değerlerindeki artış ve azalış eğilimlerinin birbirine yakın olduğu görülmektedir. Öznitelik çıkarma yöntemleri ile uygun grup sayılarının bulunabilmesi için Şekil 4-32, Şekil 4-33 ve Şekil 4-34 oluşturulmuştur. Bu şekillerde pencere genişliği 3, 15 ve 27 iken grup sayılarına göre Siluet değerlerindeki değişim gözlemlenebilmektedir.

Şekil 4-32 incelendiğinde, öbikleme performansının en iyi Moment Tabanlı özniteliklerle, sonrasında Oto Kodlayıcı ve ÇTBA ile elde edildiği gözlemlenmektedir. Pencere genişliği arttıkça Oto Kodlayıcının performansında artış olduğu görülmektedir. En düşük Siluet değerleri TBA ve Özyüz yöntemlerinde elde edilmiştir.

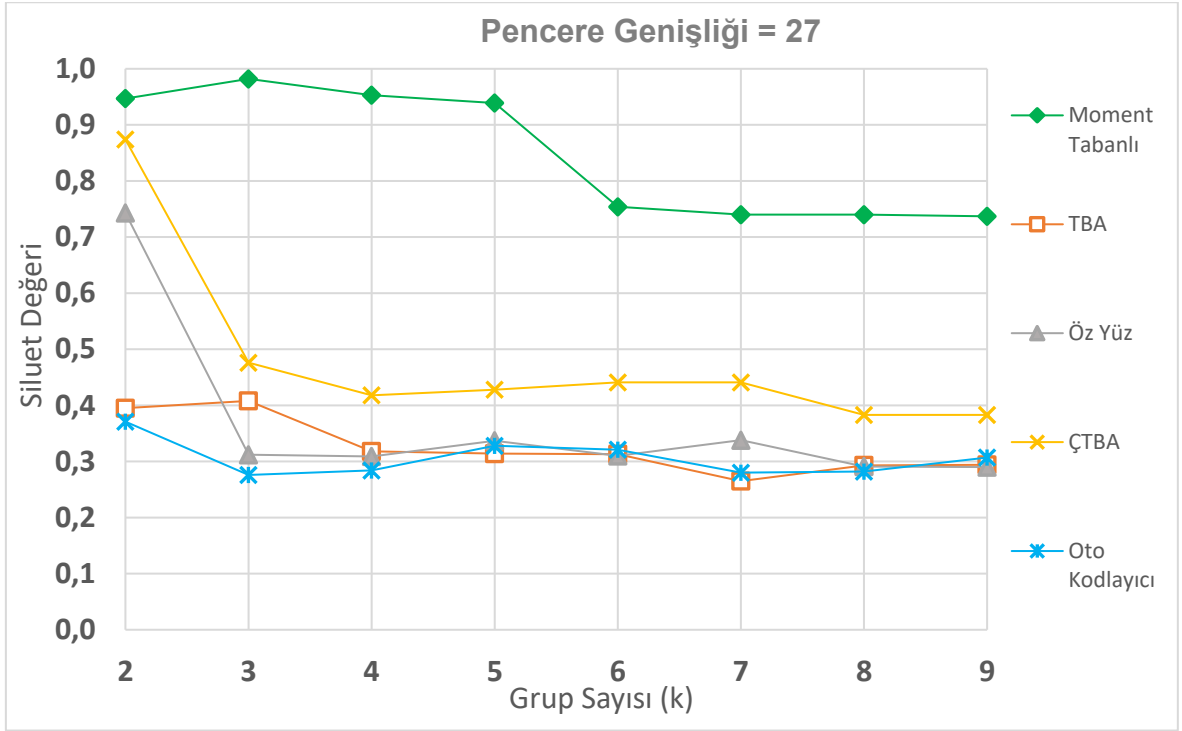


şekil 4-32 Sentinel-1 DD SAR Verisi İkinci Çalışma Siluet Değerleri
(pencere genişliği=3)



şekil 4-33 Sentinel-1 SAR Verisi DY Polarizasyon İkinci Çalışma Siluet Değerleri
(pencere genişliği=15)

Şekil 4-33'te pencere genişliği 15 olduğunda pencere genişliğinin 3 olduğu durumdan farklı olarak Siluet değerlerinde genel bir düşüşün olduğu görülmektedir.



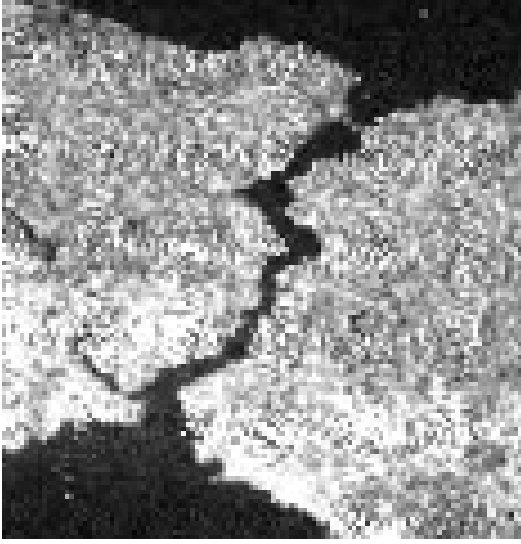
Şekil 4-34 Sentinel-1 DY SAR Verisi İkinci Çalışma Siluet Değerleri
(pencere genişliği=27)

Şekil 4-34'te pencere genişliği 27 iken verilen Siluet değerlerine göre uygun grup sayısının çoğunlukla 2 olduğu görülmektedir. Pencere genişliğinin 15 olduğu duruma kıyasla, Oto Kodlayıcının performansında düşüş olduğu görülmektedir.

4.3.1.3. C- Bant SENTINEL-1 SAR Verisi için Arazi Örtüsü Haritalaması

Bu bölümde, Şekil 4-4 *Sentinel-1* DY Polarizasyon SAR İmgesi'nin ve Şekil 4-5 *Sentinel-1* DD Polarizasyon SAR İmgesinin K-Ortalamlar öbekleme algoritması ile bulunan grup indisleri kullanılarak yapılan görselleştirme sonucu oluşturulan arazi örtüsü haritaları gösterilecektir. Arazi örtüsü haritalarının, algoritma çalışmalarında grup sayısı (k) ve pencere genişliklerinin tüm değerleri için oluşturulması hem zaman hem de örnek sayısı açısından çok fazla olacağı için bu başlık altında sadece bazı grup sayısı (k) ve pencere genişlikleri için örnek arazi örtüsü haritaları verilecektir.

Bu bölümde Oto Kodlayıcı yöntemi ile pencere boyutu 3 ve 15 için grup sayısının 2, 3 ve 4 olduğu durumlarda Şekil 4-4 Sentinel-1 DY Polarizasyon SAR İmgesi'nden ve Şekil 4-5 Sentinel-1 DD Polarizasyon SAR İmgesi'nden alınan kesitler (Şekil 4-35 ve Şekil 4-36) için oluşturulan arazi örtüleri verilecektir.



Şekil 4-35 Sentinel-1 SAR İmgesi



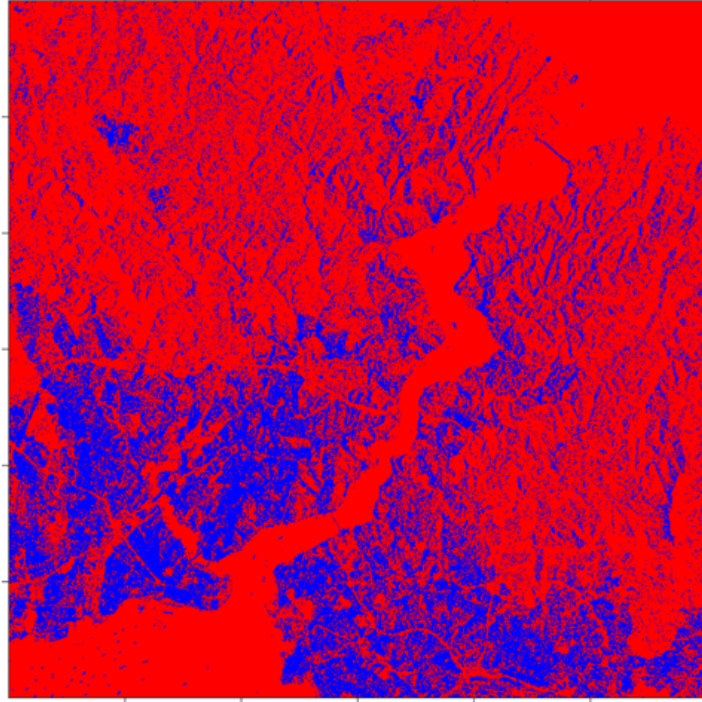
Şekil 4-36 Google Earth Görüntüsü

Dikey - Yatay Polarizasyon (Pencere Genişliği = 3)

Şekil 4-35'te verilen *SENTINEL-1* SAR imgesinin DY Polarizasyonu için Oto Kodlayıcı yöntemi ile pencere genişliği 3 ve grup sayısı (k) 2, 3 ve 4 olduğu durumda elde edilen arazi örtüsü haritaları aşağıda verilmiştir.

Aşağıdaki şekillerde, kırmızı renkli alanlar deniz ve suyolları ile mavi renkli alanlar çoğunlukla kentsel alanlarla, yeşil renkli alanlar ormanlık ve yeşillik alanlarla ilişkili olup, bunlar dışındaki alanlar ise lacivert renk ile gösterilmiştir. $k=3$ için bu kümeler sulak alan, orman ve kentsel alan (şehrin inşası) olarak yorumlanabilir. Küme sayısı üçe eşit olduğunda, orman ve deniz ayrılabilir hale gelmektedir. $k=4$ olduğu durumda ise kentsel alanın içindeki bazı detaylar ortaya çıkmaktadır. Öznitelik çıkarma aşamasında kullanılan pencerenin genişliği 3 olduğu için figürlerde de görüldüğü üzere görüntüdeki detaylar daha belirgindir

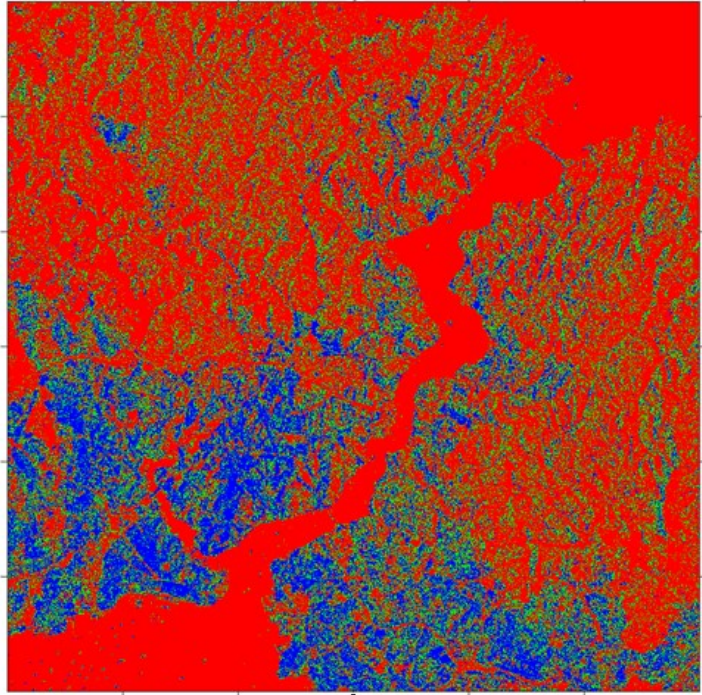
41° 00' 23.41" K, 28° 45' 18.80" D



40° 58' 10.92" K, 29° 02' 53.82" D

Şekil 4-37 Sentinel-1 DY SAR İmgesi (k=2, pencere genişliği = 3)

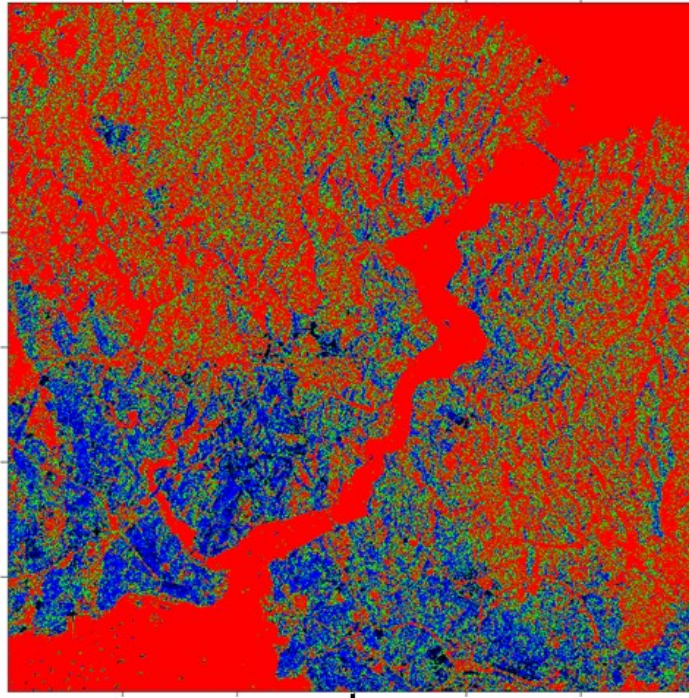
41° 00' 23.41" K, 28° 45' 18.80" D



40° 58' 10.92" K, 29° 02' 53.82" D

Şekil 4-38 Sentinel-1 DY SAR İmgesi (k=3, pencere genişliği = 3)

41° 00' 23.41" K, 28° 45' 18.80" D



40° 58' 10.92" K, 29° 02' 53.82" D

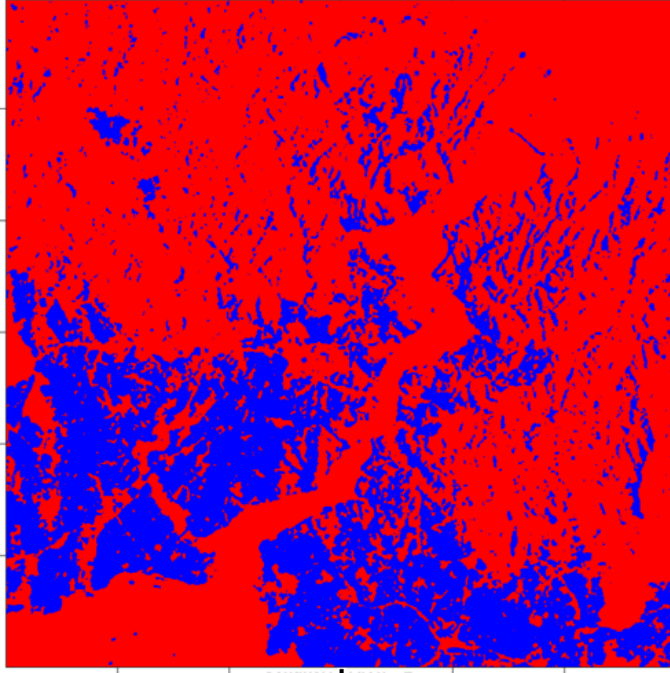
Şekil 4-39 Sentinel-1 DY SAR İmgesi (k=4, pencere genişliği = 3)

Dikey–Yatay Polarizasyon (Pencere Genişliği=15)

Şekil 4-35' te verilen *SENTINEL-1* SAR imgesinin DY Polarizasyonu için Oto Kodlayıcı yöntemi ile pencere genişliği 15 ve grup sayısı (k) 2, 3 ve 4 olduğu durumda elde edilen arazi örtüsü haritaları aşağıda verilmiştir.

Pencere genişliğinin 3 olduğu durumdan farklı olarak, figürlerde de görüldüğü üzere görüntülerde yer alan detaylar arasındaki geçiş daha yumuşaktır ve görüntülerdeki detaylar daha azalmıştır.

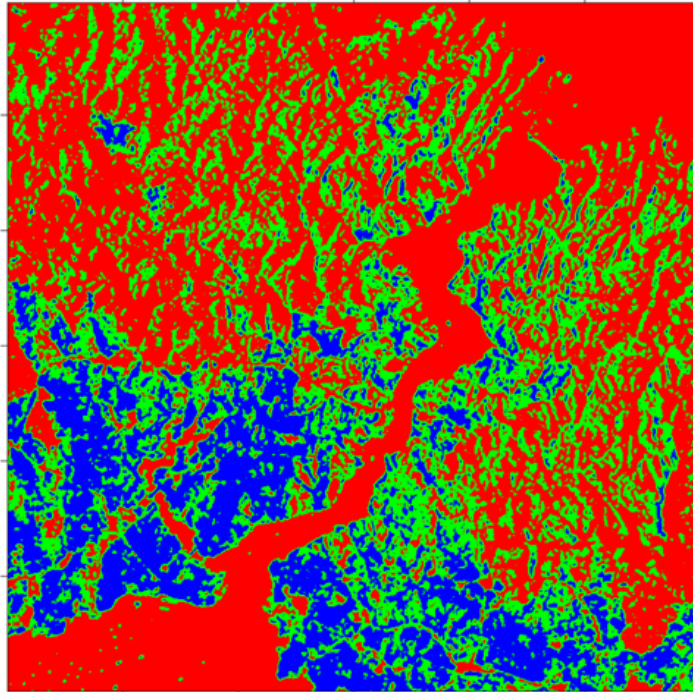
41° 00' 23.41" K, 28° 45' 18.80" D



40° 58' 10.92" K, 29° 02' 53.82" D

Şekil 4-40 Sentinel-1 DY SAR İmgesi (k=2, pencere genişliği = 15)

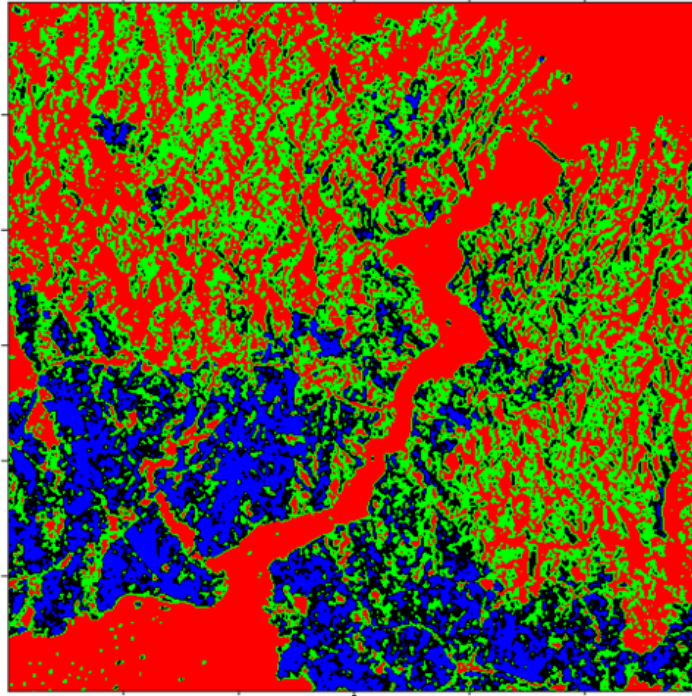
41° 00' 23.41" K, 28° 45' 18.80" D



40° 58' 10.92" K, 29° 02' 53.82" D

Şekil 4-41 Sentinel-1DY SAR İmgesi (k=3, pencere genişliği = 15)

41° 00' 23.41" K, 28° 45' 18.80" D



40° 58' 10.92" K, 29° 02' 53.82" D

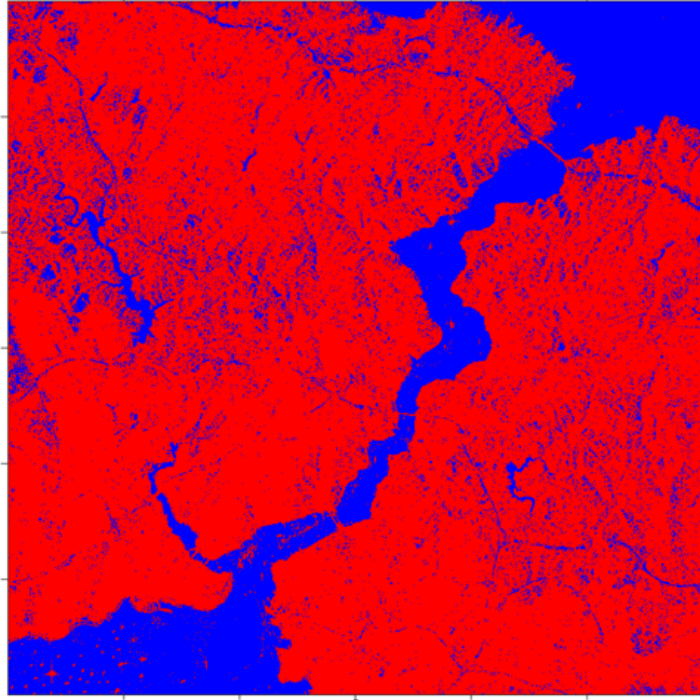
Şekil 4-42 Sentinel-1 DY SAR İmgesi (k=4, pencere genişliği = 15)

Dikey – Dikey Polarizasyon (Pencere Genişliği = 3)

Şekil 4-35'te verilen *SENTINEL-1* SAR imgesinin DD Polarizasyonu için Oto Kodlayıcı yöntemi ile pencere genişliği 3 ve grup sayısı (k) 2, 3 ve 4 olduğu durumda elde edilen arazi örtüsü haritaları aşağıda verilmiştir.

Aşağıdaki şekillerde görüldüğü gibi, kırmızı renkli alanlar çoğunlukla kentsel alanlarla, mavi renkli alanlar deniz ve suyollarıyla, yeşil renkli alanlar ormanlık ve yeşillik alanlarla ilişkilidir.

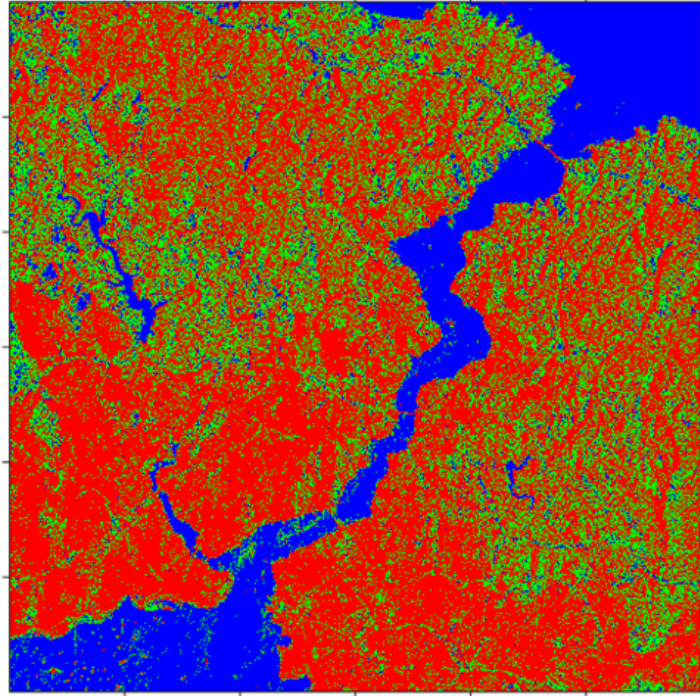
41° 00' 23.41" K, 28° 45' 18.80" D



40° 58' 10.92" K, 29° 02' 53.82" D

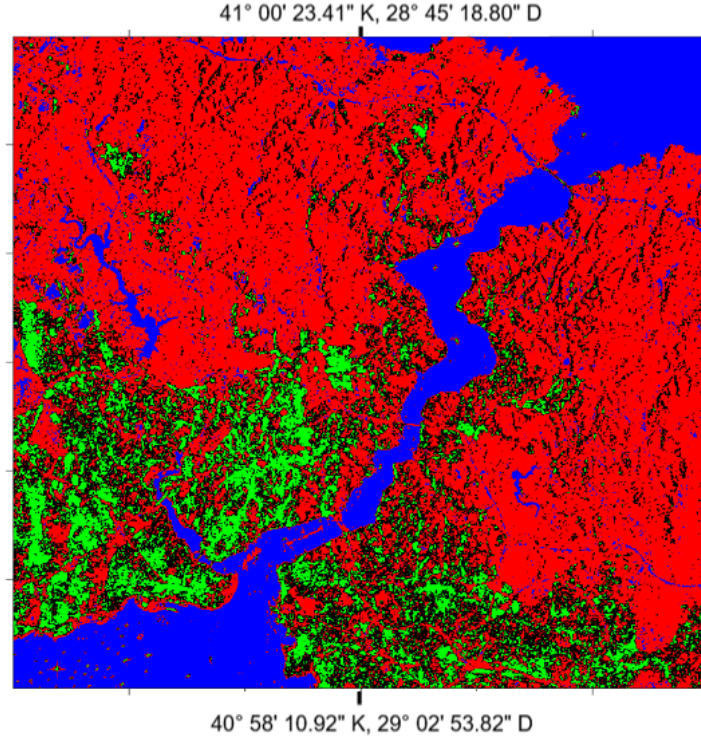
Şekil 4-43 Sentinel-1 DD SAR İmgesi (k=2, pencere genişliği = 3)

41° 00' 23.41" K, 28° 45' 18.80" D



40° 58' 10.92" K, 29° 02' 53.82" D

Şekil 4-44 Sentinel-1 DD SAR İmgesi (k=3, pencere genişliği = 3)



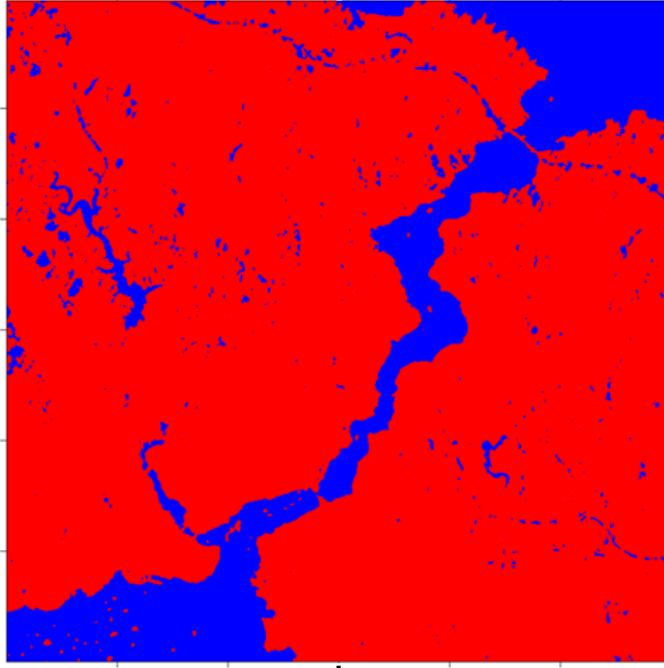
Şekil 4-45 Sentinel-1 DD SAR İmgesi (k=4, pencere genişliği = 3)

Dikey – Dikey Polarizasyon (Pencere Genişliği = 15)

Şekil 4-35'te verilen *SENTINEL-1* SAR imgesinin DD Polarizasyonu için Oto Kodlayıcı yöntemi ile pencere genişliği 15 ve grup sayısı (k) 2 ve 3 olduğu durumda elde edilen arazi örtüsü haritaları aşağıda verilmiştir.

Pencere genişliğinin 3 olduğu durumdan farklı olarak, figürlerde de görüldüğü üzere görüntülerde yer alan detaylar arasındaki geçiş daha yumuşaktır ve görüntülerdeki detaylar daha azalmıştır.

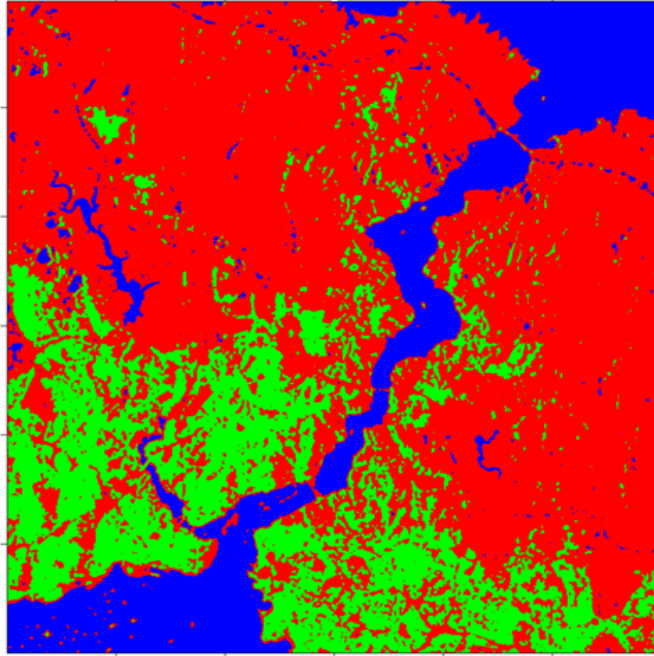
41° 00' 23.41" K, 28° 45' 18.80" D



40° 58' 10.92" K, 29° 02' 53.82" D

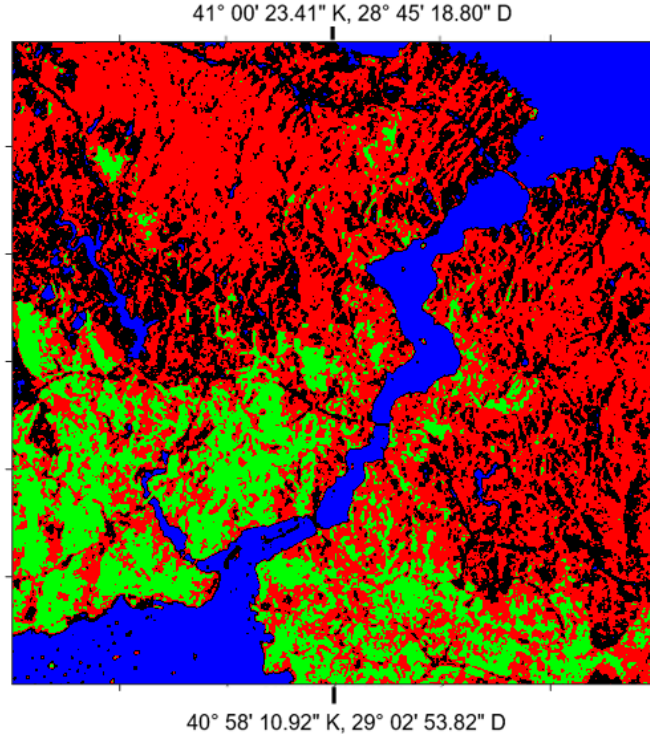
Şekil 4-46 Sentinel-1 DD SAR İmgesi (k=2, pencere genişliği = 15)

41° 00' 23.41" K, 28° 45' 18.80" D



40° 58' 10.92" K, 29° 02' 53.82" D

Şekil 4-47 Sentinel-1 DD SAR İmgesi (k=3, pencere genişliği = 15)



Şekil 4-48 Sentinel-1 DD SAR İmgesi (k=4, pencere genişliği = 15)

4.3.2. X-Bant AFRL SAR Verisi

Bu başlık altındaki çalışmalarda özellikleri 4.2.1.2 başlığı altında verilen X-Bant AFRL SAR imgeleri kullanılmıştır. 4501x4501 boyutlu farklı polarizasyondaki SAR imgelerinden alınan bir kesit (bkz. 4.3.2.1 Örnek Çalışma) üzerinde çalışılmıştır.

4.3.2.1. Örnek Çalışma

Örnek çalışma için X-Bant AFRL SAR verilerinin farklı polarizasyonlu imgelerinden 91x91 boyunda kesitler alınmıştır. Örnek çalışma olarak seçilen bölgeye grup sayısının ve pencere genişliğinin farklı değerleri için 4.2.2'de verilen öznitelik yöntemleri uygulandığında elde edilen Siluet değerleri bu başlık altında verilecektir.

4.3.2.1.1. Dikey-Yatay Polarizasyon Çalışması

Örnek çalışma için seçilen bölgenin DY polarizasyonlu SAR görüntüsünden elde edilen Siluet değerleri Çizelge 4-8'de verilmiştir.

Çizelge 4-8 AFRL SAR Verisi Örnek Çalışma için Siluet Sonuçları (DY Polarizasyon)

Dikey – Yatay (DY) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 3					
2	0.993	0.656	0.656	0.811	0.794
3	0.531	0.559	0.528	0.697	0.791
4	0.615	0.429	0.431	0.606	0.719
5	0.687	0.338	0.336	0.553	0.69
6	0.694	0.334	0.338	0.517	0.646
7	0.701	0.277	0.276	0.453	0.635
8	0.69	0.276	0.278	0.456	0.634
9	0.563	0.275	0.229	0.413	0.599
Pencere Genişliği = 5					
2	0.994	0.594	0.595	0.826	0.75
3	0.929	0.557	0.556	0.746	0.759
4	0.794	0.518	0.518	0.589	0.599
5	0.795	0.304	0.303	0.535	0.559
6	0.789	0.306	0.306	0.464	0.506
7	0.684	0.309	0.309	0.434	0.493
8	0.728	0.308	0.308	0.434	0.429
9	0.728	0.297	0.293	0.427	0.438
Pencere Genişliği = 7					
2	0.992	0.577	0.576	0.826	0.696
3	0.885	0.547	0.547	0.762	0.804
4	0.755	0.561	0.556	0.571	0.821
5	0.781	0.279	0.278	0.524	0.693
6	0.805	0.27	0.27	0.495	0.688
7	0.808	0.289	0.286	0.473	0.693
8	0.706	0.296	0.294	0.407	0.702
9	0.738	0.293	0.293	0.408	0.69
Pencere Genişliği = 9					
2	0.991	0.591	0.591	0.839	0.716
3	0.81	0.552	0.553	0.75	0.825
4	0.854	0.563	0.539	0.642	0.8
5	0.754	0.544	0.55	0.541	0.796
6	0.75	0.344	0.342	0.501	0.777
7	0.782	0.334	0.334	0.498	0.739
8	0.796	0.321	0.317	0.483	0.71
9	0.803	0.277	0.277	0.49	0.709

Dikey – Yatay (DY) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 11					
2	0.989	0.605	0.606	0.834	0.8
3	0.793	0.559	0.559	0.733	0.833
4	0.819	0.553	0.553	0.649	0.793
5	0.817	0.37	0.371	0.56	0.795
6	0.739	0.375	0.376	0.518	0.766
7	0.769	0.375	0.375	0.494	0.768
8	0.776	0.373	0.372	0.492	0.724
9	0.795	0.332	0.331	0.489	0.727
Pencere Genişliği = 13					
2	0.984	0.619	0.621	0.837	0.852
3	0.793	0.504	0.504	0.742	0.836
4	0.79	0.543	0.544	0.638	0.799
5	0.792	0.39	0.391	0.579	0.795
6	0.848	0.376	0.377	0.553	0.776
7	0.739	0.381	0.379	0.535	0.74
8	0.737	0.425	0.432	0.466	0.741
9	0.739	0.389	0.387	0.457	0.749
Pencere Genişliği = 15					
2	0.978	0.632	0.634	0.833	0.808
3	0.749	0.482	0.483	0.75	0.599
4	0.787	0.494	0.493	0.648	0.611
5	0.789	0.394	0.396	0.596	0.626
6	0.797	0.392	0.391	0.549	0.65
7	0.671	0.388	0.388	0.531	0.655
8	0.708	0.423	0.422	0.541	0.515
9	0.736	0.41	0.41	0.528	0.525
Pencere Genişliği = 17					
2	0.97	0.626	0.633	0.851	0.782
3	0.739	0.458	0.461	0.756	0.804
4	0.79	0.472	0.469	0.676	0.76
5	0.766	0.457	0.459	0.639	0.766
6	0.804	0.402	0.4	0.567	0.516
7	0.677	0.434	0.429	0.566	0.51
8	0.699	0.445	0.442	0.572	0.522
9	0.721	0.446	0.443	0.476	0.523
Pencere Genişliği = 19					
2	0.962	0.636	0.642	0.851	0.736
3	0.720	0.451	0.451	0.748	0.755
4	0.763	0.560	0.509	0.710	0.776
5	0.796	0.565	0.512	0.662	0.740
6	0.827	0.502	0.503	0.615	0.756
7	0.675	0.468	0.473	0.599	0.462
8	0.696	0.464	0.462	0.607	0.460
9	0.715	0.501	0.498	0.569	0.468

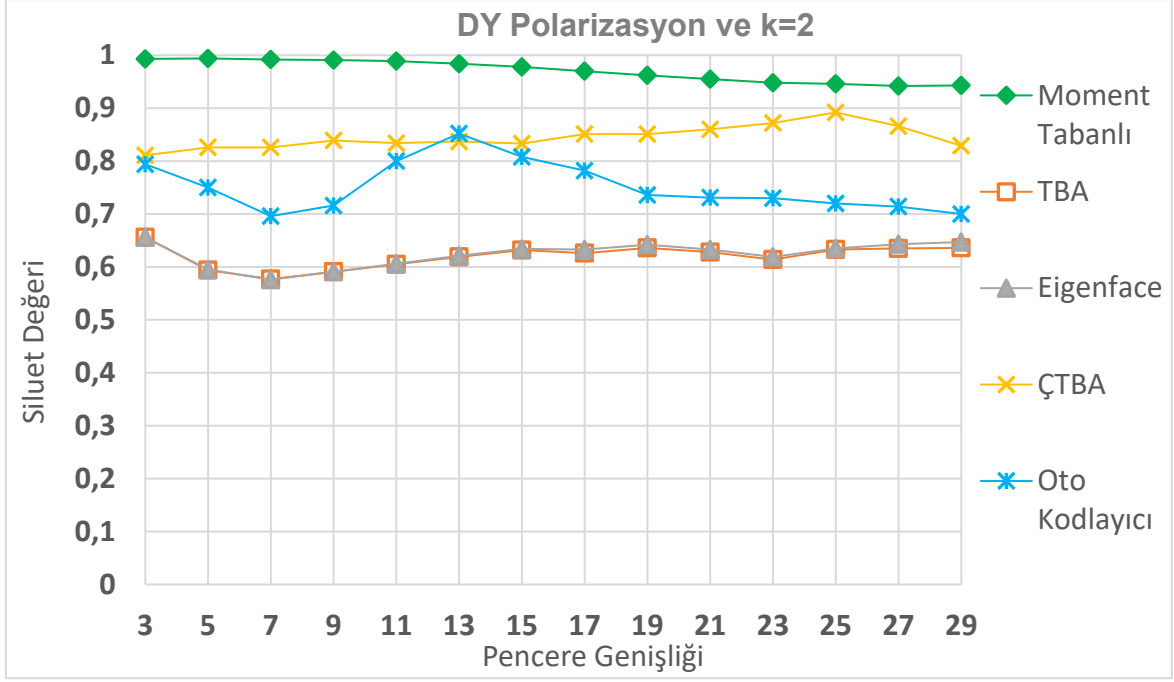
Dikey – Yatay (DY) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 21					
2	0.955	0.628	0.633	0.86	0.731
3	0.702	0.426	0.43	0.798	0.747
4	0.75	0.586	0.582	0.735	0.708
5	0.798	0.599	0.469	0.669	0.727
6	0.825	0.511	0.51	0.653	0.729
7	0.67	0.539	0.542	0.622	0.739
8	0.687	0.47	0.469	0.63	0.409
9	0.712	0.493	0.493	0.64	0.43
Pencere Genişliği = 23					
2	0.948	0.614	0.619	0.872	0.73
3	0.696	0.579	0.584	0.821	0.734
4	0.731	0.594	0.592	0.756	0.763
5	0.791	0.614	0.613	0.687	0.8
6	0.806	0.521	0.522	0.65	0.796
7	0.667	0.522	0.521	0.649	0.792
8	0.697	0.536	0.53	0.643	0.776
9	0.695	0.536	0.535	0.646	0.751
Pencere Genişliği = 25					
2	0.946	0.633	0.635	0.892	0.72
3	0.703	0.6	0.599	0.816	0.727
4	0.722	0.602	0.605	0.744	0.759
5	0.793	0.625	0.624	0.682	0.826
6	0.802	0.533	0.534	0.651	0.78
7	0.697	0.549	0.545	0.643	0.759
8	0.681	0.558	0.558	0.643	0.744
9	0.706	0.562	0.562	0.66	0.741
Pencere Genişliği = 27					
2	0.942	0.635	0.643	0.866	0.714
3	0.687	0.591	0.588	0.767	0.737
4	0.699	0.597	0.598	0.722	0.82
5	0.792	0.486	0.489	0.643	0.841
6	0.799	0.516	0.513	0.598	0.83
7	0.782	0.556	0.551	0.625	0.78
8	0.704	0.57	0.564	0.633	0.755
9	0.731	0.592	0.593	0.646	0.749

Dikey – Yatay (DY) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 29					
2	0.943	0.636	0.647	0.829	0.7
3	0.671	0.597	0.593	0.758	0.736
4	0.664	0.599	0.6	0.635	0.816
5	0.795	0.519	0.521	0.681	0.856
6	0.787	0.531	0.535	0.663	0.849
7	0.774	0.573	0.572	0.562	0.799
8	0.789	0.592	0.588	0.474	0.79
9	0.75	0.593	0.592	0.474	0.749

Çizelge 4-8'deki Dikey-Yatay (DY) polarizasyon sonuçlarına göre:

- En düşük Siluet değerleri TBA ve Özyüz yöntemlerine ait olup Siluet değerleri birbirine yakın çıkmıştır. Dolayısıyla diğer yöntemlerle kıyaslandığında en düşük performans bu iki yöntem ile elde edilmiştir.
- Moment Tabanlı öznelikler ile elde edilen Siluet değerlerinin, diğer yöntemlerle kıyaslayınca büyük çoğunlukla daha yüksek Siluet değerlerine ulaştığı görülmektedir.
- Oto Kodlayıcı yöntemi, büyük pencere genişliklerinde daha büyük Siluet değerlerine ulaşabilmekte ve Moment Tabanlı yöntem ile elde edilen performansa yaklaşmaktadır.
- ÇTBA yönteminde, farklı pencere genişliklerinde elde edilen Siluet değerleri arasındaki geçiş diğer yöntemlerdeki kadar dramatik değildir.
- Siluet değerleri incelendiğinde grup sayısı için uygun değer 2 olabileceği görülmektedir.

Çizelge 4-8'deki değerler kullanılarak öznelik çıkarma aşamasında kullanılan pencere genişliğinin Siluet değerlerine olan etkisi grup sayısı (k) 2 için Şekil 4-49'da gösterilmiştir.



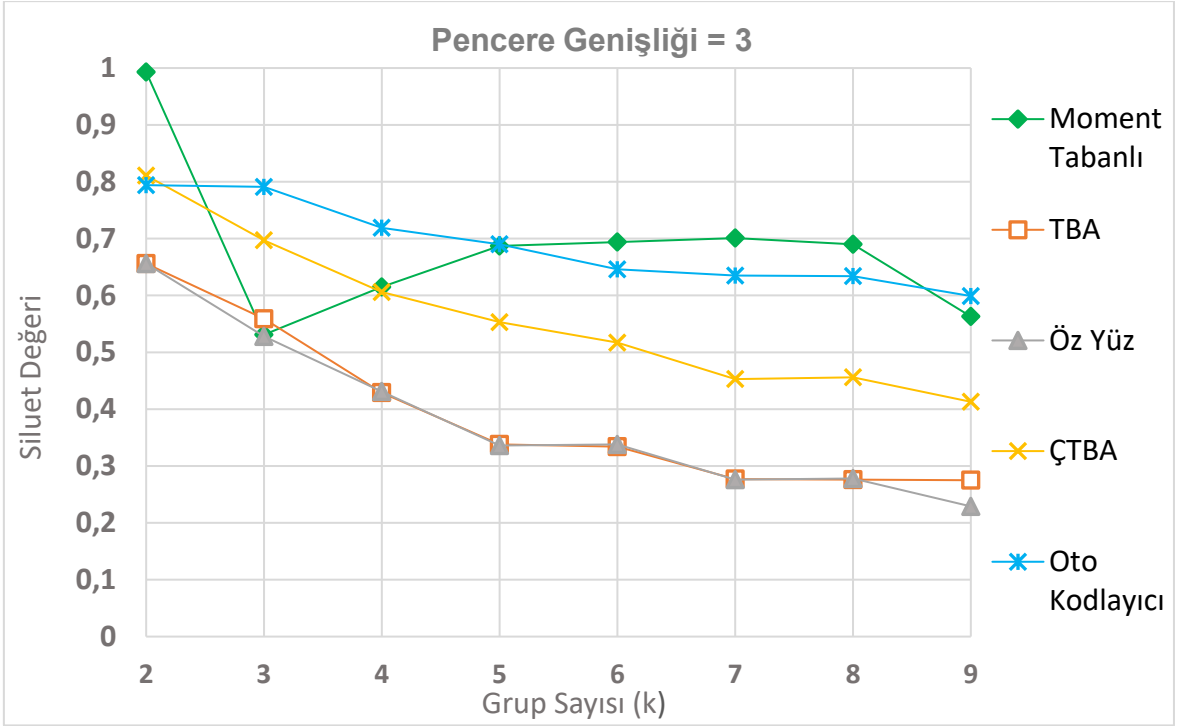
Şekil 4-49 X-Bant AFRL DY SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (k=2)

Şekil 4-49 incelendiğinde grup sayısı (k) 2 iken en iyi performansın Moment Tabanlı öznelikle elde edildiği görülmektedir. ÇTBA'nın Siluet değerleri Oto Kodlayıcıdan daha iyi olmakla birlikte pencere genişliği 15 etrafındaki Siluet değerleri birbirine yakındır. Oto Kodlayıcının parametre optimizasyonunun pencere genişliği 15 iken yapıldığı göz önüne alındığında bu durum beklenen bir sonuçtur. Grup sayısı 2 iken öznelik çıkarma aşamasında kullanılacak olan pencere genişliğinin uygun değerinin 11 ile 15 arasında olduğu söylenebilir.

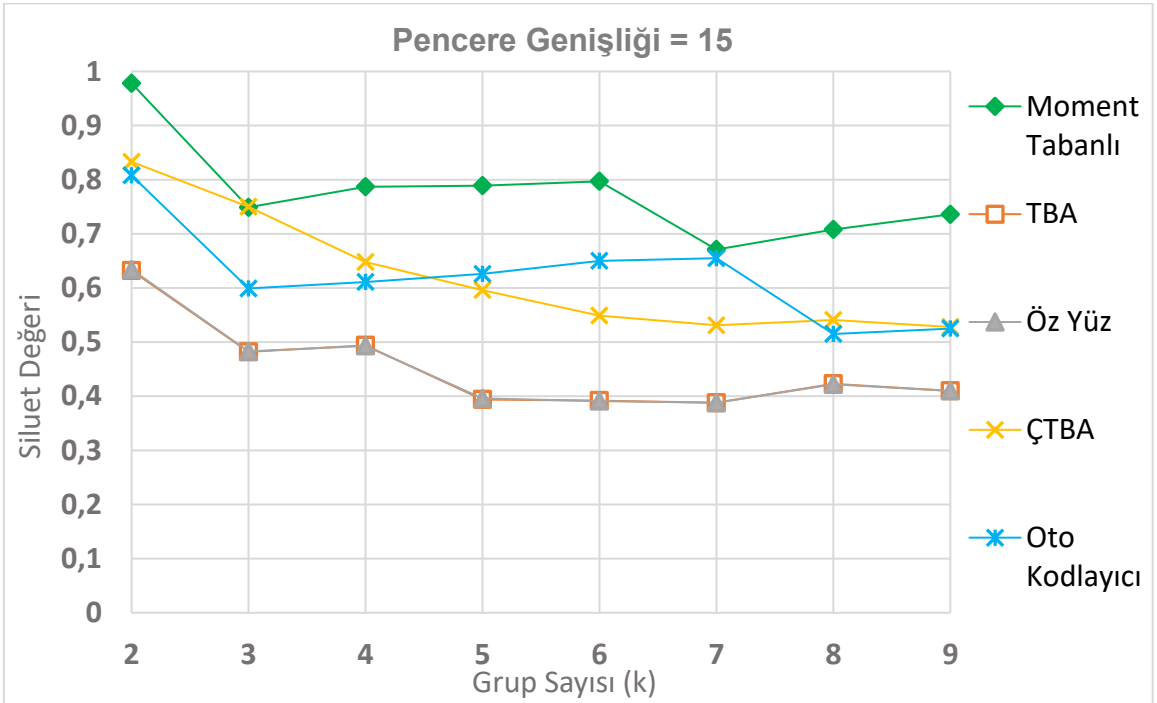
Öznelik çıkarma yöntemleri ile bulunan uygun grup sayılarının gözlemlenebilmesi için Şekil 4-50, Şekil 4-51 ve Şekil 4-52 oluşturulmuştur. Bu şekillerde pencere genişliği 3, 15 ve 27 iken grup sayılarına göre Siluet değerlerindeki değişim gözlemlenebilmektedir.

Şekil 4-50'ye göre uygun grup sayısının 2 olduğu söylenebilmektedir. Moment Tabanlı yöntem hariç grup sayısı arttıkça Siluet değerlerinde genel bir düşüş gözlemlenmektedir.

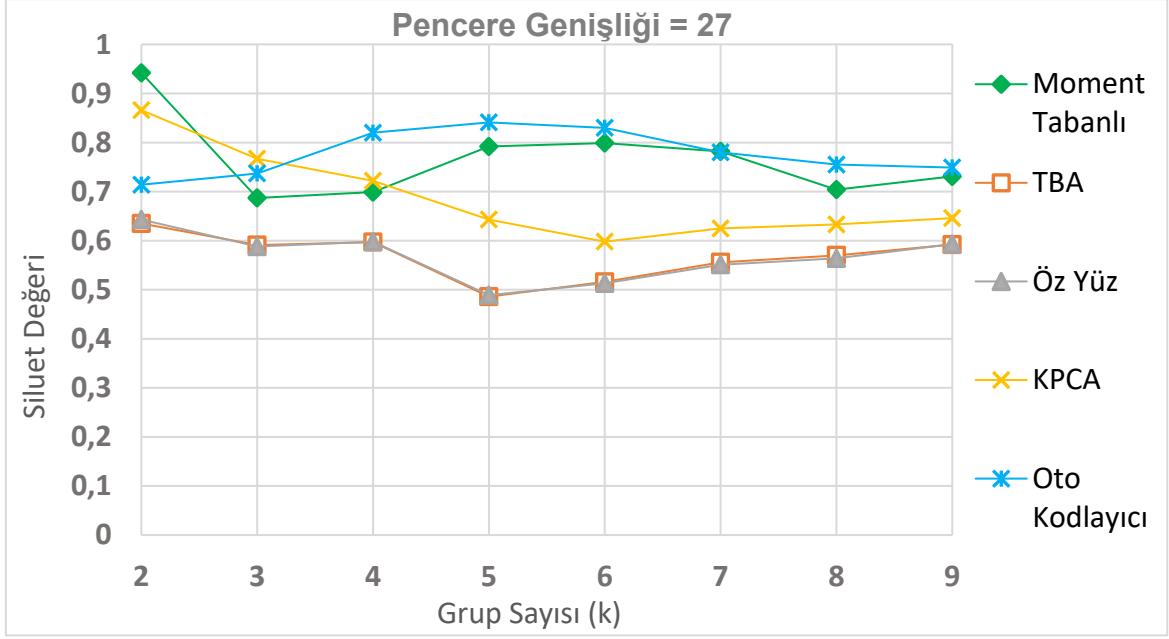
Şekil 4-51 pencere genişliğinin 3 olduğu durumdaki sonuçlar ile karşılaştırılınca Siluet değerlerinin genel olarak arttığı görülmektedir.



şekil 4-50 X-Bant AFRL DY SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri
(pencere genişliği =3)



şekil 4-51 X-Bant AFRL DY SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri
(pencere genişliği =15)



Şekil 4-52 X-Bant AFRL DY SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri
(pencere genişliği =27)

Şekil 4-52’de görüldüğü üzere pencere genişliği 27 olduğu durumda Oto Kodlayıcı performansında belirgin bir artış olmuştur.

4.3.2.1.2. Dikey-Dikey Polarizasyon Çalışması

Örnek çalışma için seçilen bölgenin DD polarizasyonlu SAR görüntüsünden elde edilen Siluet değerleri Çizelge 4-9’da verilmiştir.

Çizelge 4-9 AFRL DD SAR Verisi Örnek Çalışma için Siluet Sonuçları

Dikey – Dikey (DD) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 3					
2	0.998	0.637	0.639	0.72	0.735
3	0.994	0.428	0.428	0.644	0.369
4	0.989	0.388	0.388	0.563	0.536
5	0.990	0.269	0.269	0.52	0.427
6	0.991	0.270	0.270	0.460	0.395
7	0.935	0.258	0.275	0.406	0.42
8	0.915	0.239	0.249	0.373	0.418
9	0.914	0.265	0.265	0.376	0.444

Dikey – Dikey (DD) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 5					
2	0.997	0.619	0.618	0.813	0.783
3	0.984	0.514	0.513	0.636	0.675
4	0.979	0.321	0.322	0.550	0.662
5	0.981	0.308	0.322	0.480	0.669
6	0.984	0.274	0.265	0.435	0.663
7	0.950	0.238	0.255	0.366	0.65
8	0.951	0.260	0.257	0.345	0.657
9	0.953	0.253	0.254	0.343	0.651
Pencere Genişliği = 7					
2	0.996	0.608	0.608	0.813	0.827
3	0.973	0.584	0.584	0.777	0.671
4	0.976	0.262	0.510	0.560	0.674
5	0.967	0.273	0.279	0.525	0.636
6	0.972	0.284	0.278	0.426	0.644
7	0.915	0.277	0.278	0.411	0.632
8	0.885	0.278	0.275	0.411	0.606
9	0.885	0.241	0.228	0.355	0.599
Pencere Genişliği = 9					
2	0.996	0.612	0.613	0.825	0.855
3	0.958	0.612	0.612	0.814	0.679
4	0.947	0.581	0.579	0.569	0.689
5	0.946	0.282	0.278	0.558	0.64
6	0.963	0.288	0.28	0.529	0.624
7	0.867	0.290	0.276	0.407	0.616
8	0.872	0.293	0.292	0.398	0.592
9	0.881	0.218	0.217	0.395	0.578
Pencere Genişliği = 11					
2	0.994	0.635	0.633	0.853	0.881
3	0.938	0.62	0.62	0.822	0.704
4	0.932	0.628	0.629	0.54	0.711
5	0.934	0.603	0.611	0.54	0.717
6	0.956	0.275	0.277	0.52	0.69
7	0.938	0.292	0.297	0.523	0.686
8	0.846	0.306	0.306	0.522	0.663
9	0.865	0.229	0.225	0.41	0.676
Pencere Genişliği = 13					
2	0.993	0.656	0.658	0.868	0.892
3	0.897	0.678	0.677	0.814	0.727
4	0.897	0.669	0.669	0.54	0.71
5	0.914	0.619	0.62	0.517	0.686
6	0.932	0.291	0.294	0.515	0.702
7	0.924	0.31	0.312	0.518	0.689
8	0.839	0.31	0.309	0.52	0.664
9	0.864	0.219	0.222	0.413	0.676

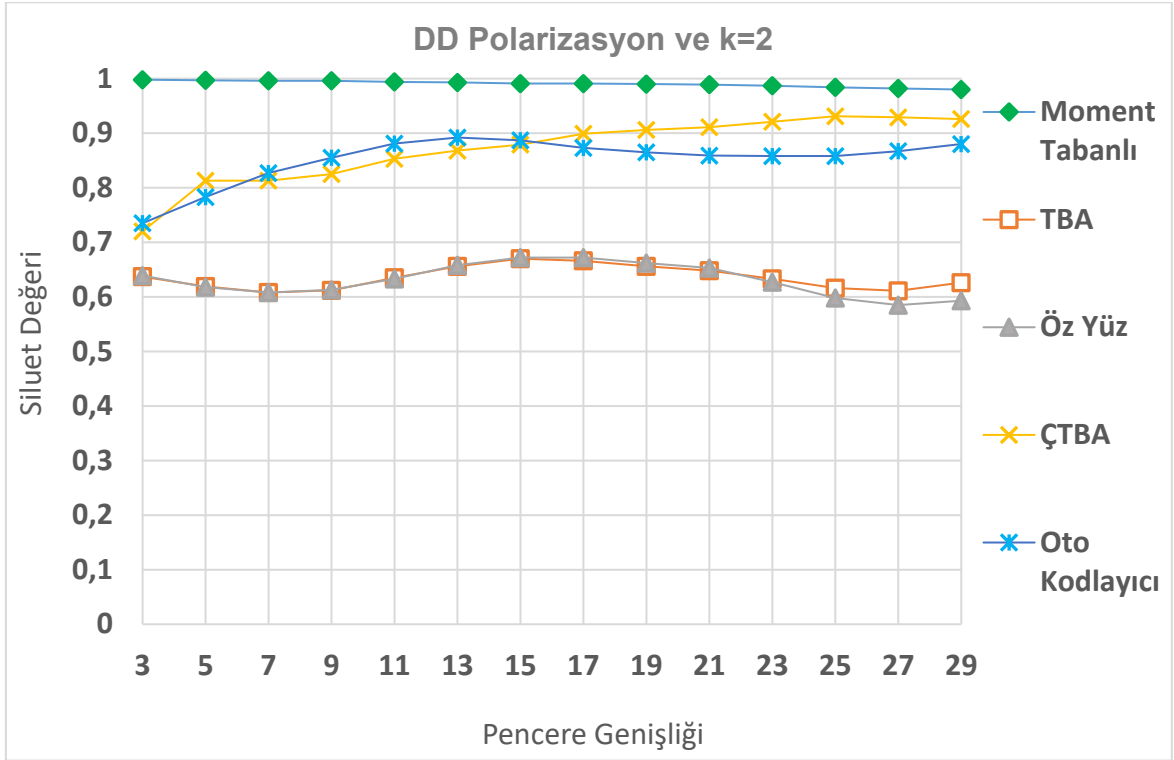
Dikey – Dikey (DD) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 15					
2	0.991	0.67	0.672	0.879	0.887
3	0.877	0.695	0.693	0.811	0.761
4	0.88	0.691	0.692	0.548	0.748
5	0.874	0.63	0.63	0.52	0.719
6	0.925	0.308	0.308	0.508	0.706
7	0.79	0.331	0.331	0.523	0.688
8	0.82	0.327	0.327	0.519	0.689
9	0.853	0.338	0.336	0.519	0.679
Pencere Genişliği = 17					
2	0.991	0.666	0.672	0.899	0.873
3	0.865	0.697	0.695	0.817	0.772
4	0.883	0.688	0.69	0.75	0.764
5	0.877	0.665	0.594	0.692	0.728
6	0.93	0.572	0.346	0.713	0.709
7	0.915	0.366	0.361	0.524	0.704
8	0.833	0.358	0.357	0.528	0.685
9	0.836	0.348	0.349	0.513	0.68
Pencere Genişliği = 19					
2	0.99	0.656	0.662	0.906	0.865
3	0.855	0.660	0.652	0.799	0.784
4	0.883	0.676	0.675	0.746	0.761
5	0.871	0.685	0.681	0.75	0.725
6	0.886	0.601	0.600	0.700	0.710
7	0.783	0.609	0.598	0.536	0.713
8	0.806	0.612	0.584	0.53	0.718
9	0.828	0.390	0.386	0.541	0.707
Pencere Genişliği = 21					
2	0.989	0.648	0.653	0.911	0.859
3	0.834	0.655	0.639	0.802	0.781
4	0.892	0.684	0.678	0.754	0.745
5	0.876	0.708	0.703	0.753	0.705
6	0.862	0.713	0.712	0.714	0.697
7	0.777	0.615	0.606	0.528	0.715
8	0.78	0.643	0.628	0.521	0.716
9	0.816	0.574	0.579	0.511	0.714
Pencere Genişliği = 23					
2	0.987	0.633	0.627	0.921	0.858
3	0.815	0.63	0.619	0.812	0.769
4	0.898	0.69	0.679	0.788	0.733
5	0.877	0.709	0.703	0.774	0.703
6	0.839	0.731	0.73	0.68	0.693
7	0.771	0.623	0.615	0.606	0.709
8	0.815	0.653	0.633	0.598	0.713
9	0.827	0.594	0.599	0.557	0.71

Dikey – Dikey (DD) Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 25					
2	0.984	0.616	0.598	0.931	0.858
3	0.798	0.634	0.632	0.807	0.786
4	0.905	0.672	0.666	0.803	0.719
5	0.877	0.697	0.696	0.787	0.716
6	0.828	0.720	0.721	0.733	0.73
7	0.78	0.636	0.624	0.643	0.718
8	0.829	0.654	0.641	0.626	0.72
9	0.816	0.588	0.596	0.422	0.713
Pencere Genişliği = 27					
2	0.982	0.611	0.585	0.929	0.867
3	0.843	0.618	0.61	0.818	0.793
4	0.914	0.655	0.652	0.813	0.785
5	0.878	0.688	0.685	0.806	0.72
6	0.818	0.706	0.708	0.759	0.72
7	0.779	0.644	0.633	0.638	0.69
8	0.776	0.655	0.648	0.627	0.705
9	0.819	0.650	0.644	0.629	0.697
Pencere Genişliği = 29					
2	0.98	0.626	0.593	0.926	0.88
3	0.853	0.596	0.589	0.823	0.829
4	0.922	0.642	0.641	0.820	0.802
5	0.876	0.599	0.598	0.811	0.798
6	0.798	0.643	0.636	0.751	0.671
7	0.764	0.635	0.634	0.616	0.676
8	0.752	0.639	0.636	0.616	0.694
9	0.816	0.632	0.630	0.635	0.698

Çizelge 4-9'daki Dikey-Dikey (DD) polarizasyon türlerine göre:

- En düşük Siluet değerleri TBA ve Özyüz yöntemlerine ait olup Siluet değerleri birbirine yakın çıkmıştır.
- Moment Tabanlı öznelilikler ile elde edilen Siluet değerlerinin, diğer yöntemlerle kıyaslayınca, büyük çoğunluğunun daha yüksek Siluet değerlerine ulaştığı görülmektedir.
- ÇTBA ve Oto Kodlayıcı ile elde edilen Siluet değerleri büyük pencere genişliklerinde daha yüksektir.
- Siluet değerleri incelendiğinde grup sayısı için uygun değer büyük çoğunlukla 2 veya 3 olabileceği görülmektedir.

Çizelge 4-9 kullanılarak, pencere genişliğinin Siluet değerlerine olan etkisi grup sayısı 2 iken Şekil 4-53'te gösterilmiştir.

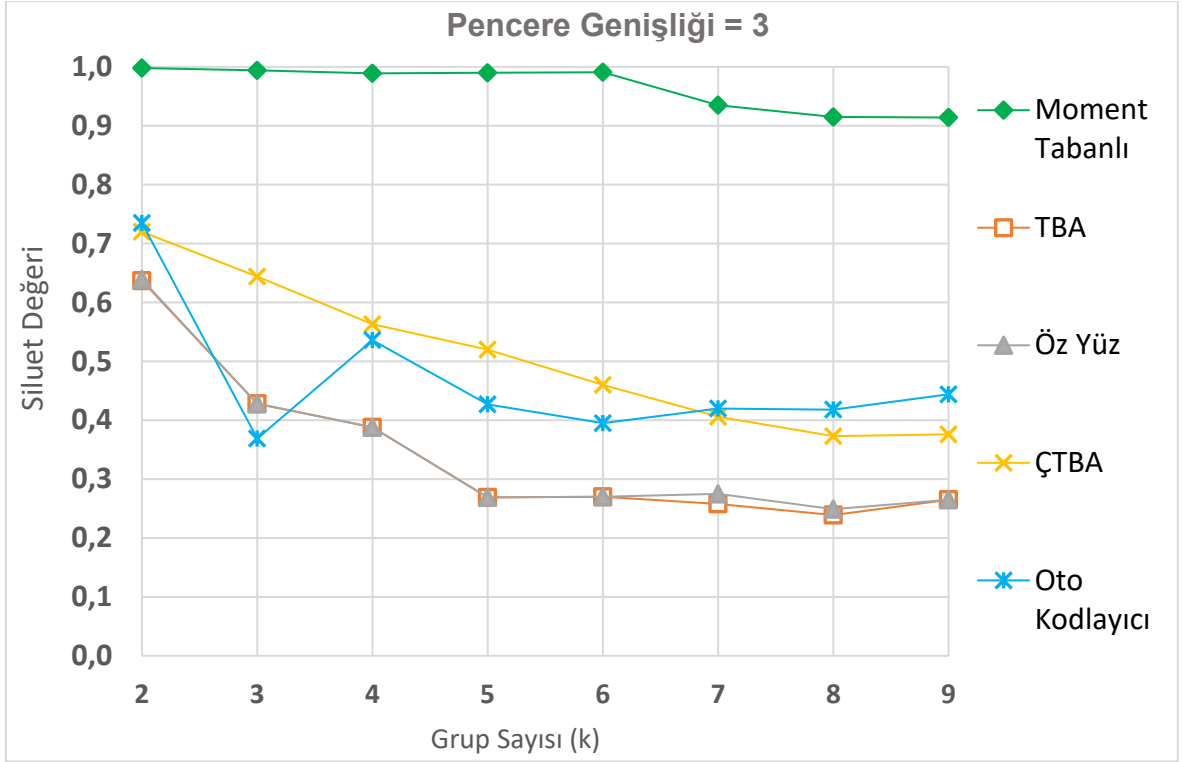


Şekil 4-53 X-Bant AFRL DD SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (k=2)

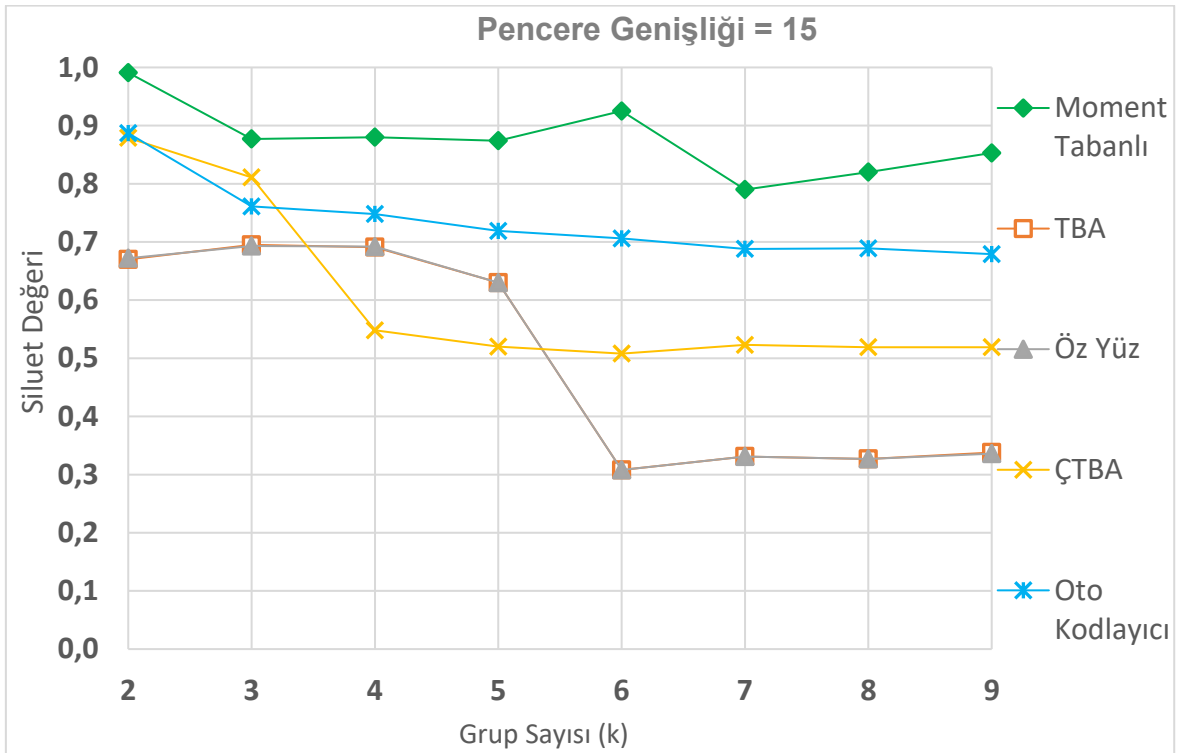
Şekil 4-53 incelendiğinde, grup sayısı (k) 2 iken en iyi performansın Moment Tabanlı öznelikle elde edildiği görülmektedir. ÇTBA ve Oto Kodlayıcı ile elde edilen Siluet değerleri birbirine yakın olup büyük pencere genişliklerinde performanslarında çoğunlukla iyileşme gözlenmektedir.

Öznelik çıkarma yöntemleri ile bulunan uygun grup sayılarının gözlemlenebilmesi için Şekil 4-54, Şekil 4-55, Şekil 4-56 oluşturulmuştur. Bu şekillerde pencere genişliği 3, 15 ve 27 iken grup sayılarına göre Siluet değerlerindeki değişim gözlemlenebilmektedir.

Şekil 4-54 ile Şekil 4-50'de verilen DY polarizasyon Siluet değerleri karşılaştırıldığında, DD polarizasyonda Moment Tabanlı Siluet değerleri daha yüksek iken diğer yöntemlerle elde edilen Siluet değerlerinde genel bir azalma olduğu görülmektedir.

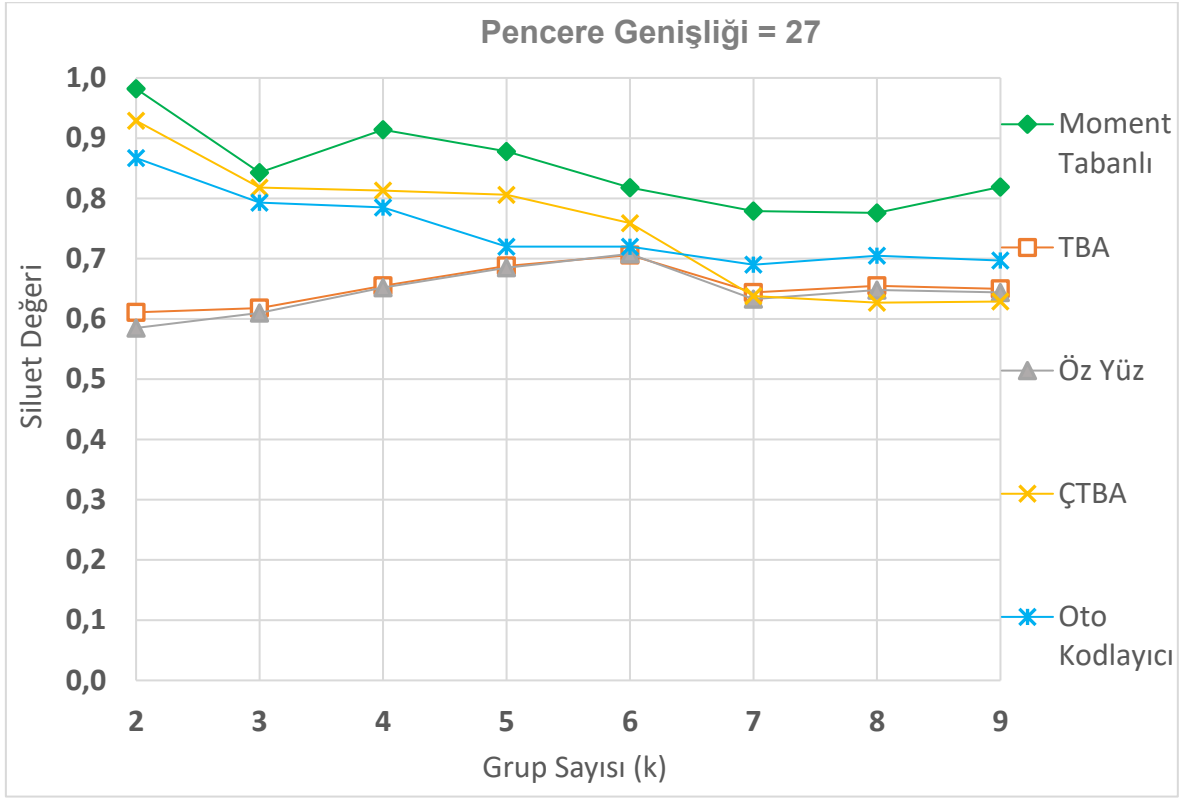


şekil 4-54 X-Bant AFRL SAR Verisi DD Polarizasyon Örnek Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =3)



şekil 4-55 X-Bant AFRL DD SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (pencere genişliği =15)

Pencere genişliği 15 olduğunda, pencere genişliği 3'e göre Siluet değerlerinde artış olmuştur.



Şekil 4-56 X-Bant AFRL DD SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri
(pencere genişliği =27)

Pencere genişliği 27 olduğunda, grup sayısının artışına bağlı Siluet değerlerindeki anlık değişimlerin azaldığı ve Siluet değerlerinde genel bir artış olduğu görülmektedir.

4.3.2.1.3. Dikey Yatay + Dikey Dikey Polarizasyon Çalışması

Örnek çalışma için seçilen bölgenin DY ve DD polarizasyonlu SAR görüntülerinden çıkarılan 4'er öznitelik ile toplamda 8 adet öznitelik kullanılarak elde edilen Siluet değerleri Çizelge 4-10'da verilmiştir.

Çizelge 4-10 AFRL SAR Verisi Örnek Çalışma için Siluet Sonuçları (DY+DD Polarizasyon)

DY + DD Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 3					
2	0.998	0.576	0.596	0.706	0.806
3	0.994	0.542	0.484	0.472	0.515
4	0.989	0.288	0.254	0.442	0.631
5	0.990	0.220	0.268	0.426	0.478
6	0.991	0.202	0.278	0.448	0.428
7	0.932	0.208	0.162	0.383	0.338
8	0.910	0.213	0.170	0.363	0.383
9	0.902	0.183	0.192	0.378	0.416
Pencere Genişliği = 5					
2	0.997	0.537	0.541	0.768	0.774
3	0.984	0.531	0.505	0.682	0.808
4	0.979	0.483	0.415	0.429	0.779
5	0.980	0.466	0.174	0.443	0.680
6	0.984	0.159	0.177	0.375	0.678
7	0.949	0.184	0.197	0.364	0.661
8	0.950	0.154	0.207	0.369	0.607
9	0.950	0.121	0.161	0.311	0.604
Pencere Genişliği = 7					
2	0.996	0.534	0.542	0.781	0.705
3	0.973	0.539	0.527	0.722	0.800
4	0.976	0.512	0.497	0.486	0.812
5	0.966	0.517	0.491	0.422	0.694
6	0.972	0.507	0.464	0.430	0.686
7	0.914	0.206	0.183	0.390	0.691
8	0.866	0.190	0.184	0.313	0.706
9	0.866	0.200	0.181	0.309	0.683
Pencere Genişliği = 9					
2	0.996	0.567	0.582	0.799	0.716
3	0.959	0.556	0.571	0.732	0.822
4	0.948	0.541	0.545	0.607	0.820
5	0.946	0.526	0.505	0.502	0.803
6	0.963	0.282	0.412	0.490	0.771
7	0.864	0.293	0.293	0.431	0.761
8	0.869	0.275	0.304	0.417	0.707
9	0.879	0.273	0.211	0.411	0.705

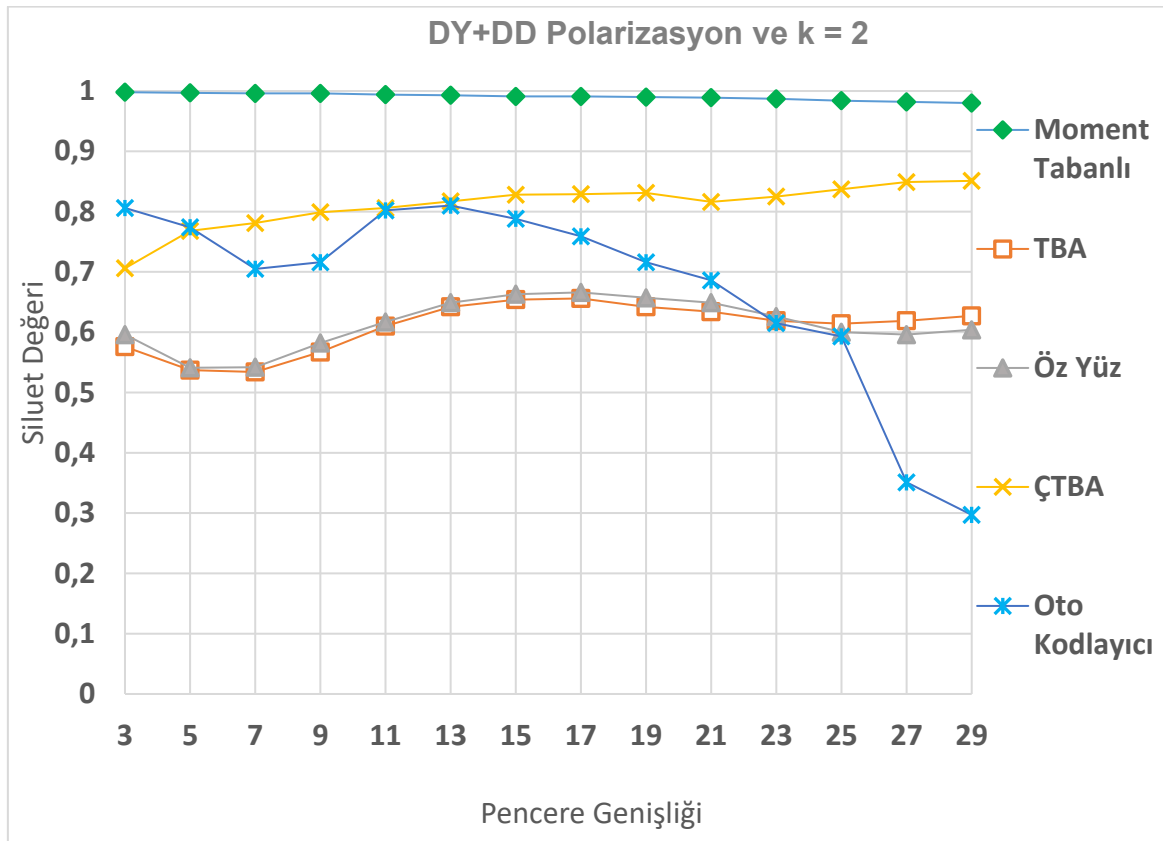
DY + DD Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 11					
2	0.994	0.610	0.617	0.806	0.802
3	0.938	0.543	0.586	0.726	0.833
4	0.925	0.538	0.595	0.628	0.791
5	0.934	0.385	0.331	0.512	0.794
6	0.932	0.372	0.337	0.495	0.748
7	0.938	0.384	0.353	0.486	0.747
8	0.845	0.353	0.312	0.426	0.725
9	0.864	0.358	0.309	0.430	0.737
Pencere Genişliği = 13					
2	0.993	0.642	0.649	0.817	0.810
3	0.897	0.641	0.662	0.734	0.780
4	0.900	0.452	0.603	0.636	0.710
5	0.916	0.415	0.372	0.519	0.635
6	0.933	0.420	0.370	0.509	0.613
7	0.924	0.350	0.376	0.518	0.553
8	0.836	0.350	0.384	0.522	0.571
9	0.860	0.361	0.335	0.462	0.536
Pencere Genişliği = 15					
2	0.991	0.654	0.663	0.828	0.788
3	0.878	0.663	0.684	0.732	0.582
4	0.885	0.460	0.662	0.634	0.539
5	0.878	0.444	0.415	0.641	0.584
6	0.926	0.439	0.372	0.539	0.610
7	0.909	0.355	0.377	0.504	0.601
8	0.822	0.349	0.394	0.515	0.431
9	0.852	0.354	0.358	0.516	0.430
Pencere Genişliği = 17					
2	0.991	0.656	0.666	0.829	0.759
3	0.868	0.660	0.681	0.756	0.490
4	0.884	0.441	0.671	0.630	0.434
5	0.878	0.427	0.414	0.553	0.466
6	0.930	0.450	0.422	0.574	0.419
7	0.915	0.409	0.435	0.561	0.455
8	0.832	0.420	0.383	0.559	0.338
9	0.834	0.422	0.383	0.571	0.364
Pencere Genişliği = 19					
2	0.990	0.642	0.657	0.831	0.716
3	0.854	0.630	0.645	0.752	0.503
4	0.884	0.636	0.651	0.631	0.475
5	0.872	0.656	0.672	0.570	0.516
6	0.885	0.459	0.442	0.550	0.448
7	0.781	0.452	0.410	0.575	0.458
8	0.804	0.466	0.410	0.563	0.357
9	0.826	0.458	0.426	0.590	0.347

DY + DD Polarizasyon					
K	Moment Tabanlı	TBA	Özyüz	ÇTBA	Oto Kodlayıcı
Pencere Genişliği = 21					
2	0.989	0.634	0.649	0.816	0.686
3	0.833	0.622	0.632	0.773	0.525
4	0.890	0.649	0.664	0.689	0.693
5	0.874	0.671	0.692	0.638	0.723
6	0.862	0.464	0.640	0.620	0.517
7	0.777	0.446	0.397	0.565	0.528
8	0.777	0.461	0.418	0.575	0.391
9	0.812	0.472	0.443	0.568	0.404
Pencere Genişliği = 23					
2	0.987	0.619	0.626	0.825	0.615
3	0.815	0.616	0.613	0.813	0.667
4	0.895	0.649	0.665	0.721	0.711
5	0.874	0.668	0.688	0.671	0.773
6	0.837	0.470	0.700	0.605	0.583
7	0.768	0.480	0.416	0.607	0.466
8	0.813	0.490	0.428	0.614	0.460
9	0.826	0.507	0.475	0.630	0.458
Pencere Genişliği = 25					
2	0.984	0.614	0.600	0.837	0.593
3	0.798	0.607	0.616	0.832	0.662
4	0.904	0.637	0.655	0.737	0.719
5	0.877	0.663	0.681	0.674	0.751
6	0.828	0.477	0.683	0.594	0.634
7	0.779	0.490	0.686	0.604	0.460
8	0.829	0.499	0.601	0.600	0.442
9	0.816	0.525	0.470	0.637	0.435
Pencere Genişliği = 27					
2	0.982	0.619	0.596	0.849	0.351
3	0.846	0.592	0.599	0.811	0.420
4	0.914	0.625	0.639	0.733	0.562
5	0.878	0.645	0.666	0.684	0.644
6	0.820	0.574	0.589	0.694	0.673
7	0.780	0.483	0.601	0.704	0.569
8	0.774	0.507	0.595	0.609	0.559
9	0.816	0.509	0.473	0.630	0.563
Pencere Genişliği = 29					
2	0.980	0.627	0.604	0.851	0.297
3	0.854	0.605	0.585	0.775	0.557
4	0.922	0.614	0.629	0.720	0.600
5	0.876	0.567	0.648	0.736	0.647
6	0.798	0.587	0.605	0.703	0.706
7	0.762	0.497	0.599	0.611	0.638
8	0.749	0.525	0.592	0.622	0.635
9	0.812	0.538	0.476	0.574	0.625

Çizelge 4-10'daki DD+DY polarizasyon türlerine göre:

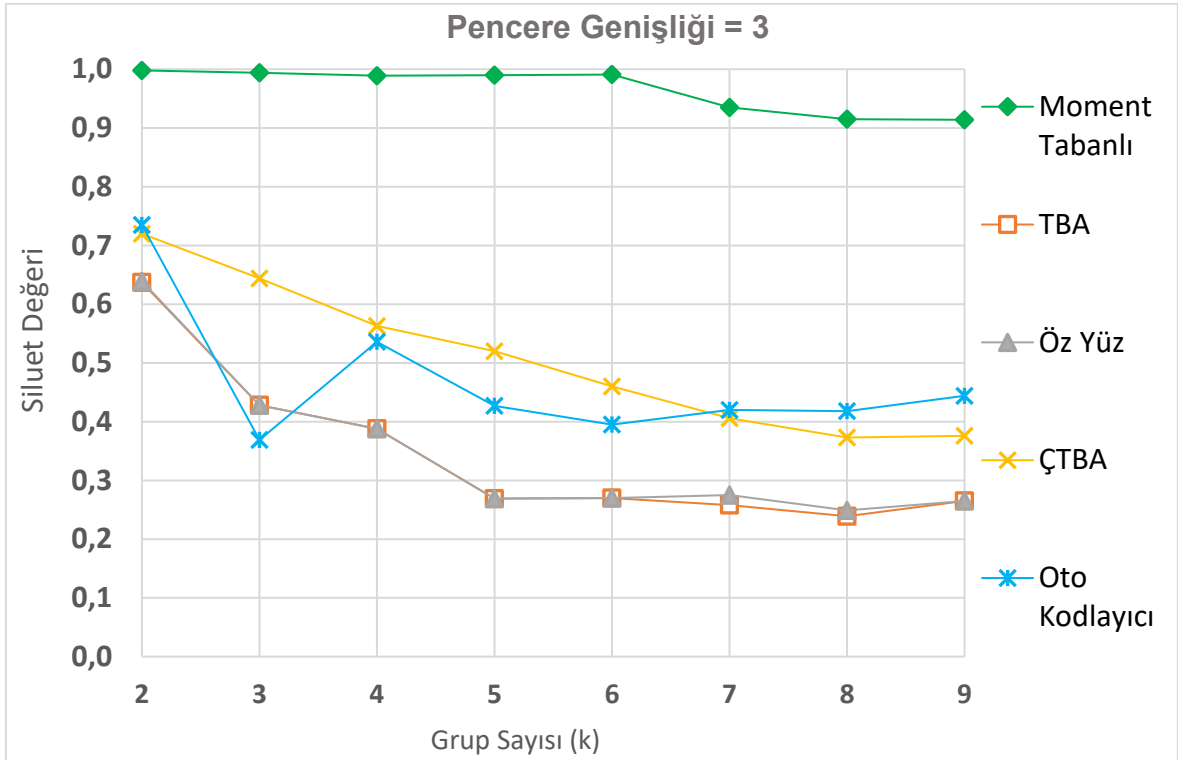
- En düşük Siluet değerleri TBA ve Özyüz yöntemlerine ait olup Siluet değerleri birbirine yakın çıkmıştır.
- Moment Tabanlı öznelikler ile en yüksek Siluet değerlerine ulaşıldığı görülmektedir.
- ÇTBA ile elde edilen Siluet değerlerinin pencere genişliği arttıkça artan Siluet değerlerine sahip olduğu gözlemlenmektedir.
- Oto Kodlayıcı ile elde edilen Siluet değerlerinde, DD ve DY polarizasyon sonuçlarından farklı olarak pencere genişliği arttıkça düşük Siluet değerlerine ulaşıldığı durumlar gözlenmiştir.
- Siluet değerleri incelendiğinde en uygun grup sayısının büyük çoğunlukla 2 veya 3 olabileceği görülmektedir.

Çizelge 4-10 kullanılarak, pencere genişliğinin Siluet değerlerine olan etkisi grup sayısı 2 iken Şekil 4-57'de gösterilmiştir.



Şekil 4-57 X-Bant AFRL DY+DD SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri (k=2)

Şekil 4-57’de verilen sonuçlar incelendiğinde, Moment Tabanlı öznelilikler ile elde edilen Siluet değerlerinin artan pencere genişliklerinden etkilenmediği ve yüksek değerlere sahip olduğu görülmektedir. TBA ve Özyüz Siluet değerlerinin birbirine yakın sonuçlar verdiği ve büyük pencere genişliklerindeki değerlerinin daha yüksek olduğu görülmektedir. ÇTBA’nın Siluet değerlerindeki değişimin DD ve DY polarizasyondaki sonuçlarına benzer olduğu ve Siluet değerlerinde bir miktar azalma olduğu görülmektedir. Oto Kodlayıcının Siluet değerlerinde, pencere genişliği arttıkça bir düşüşün olduğu görülmektedir.

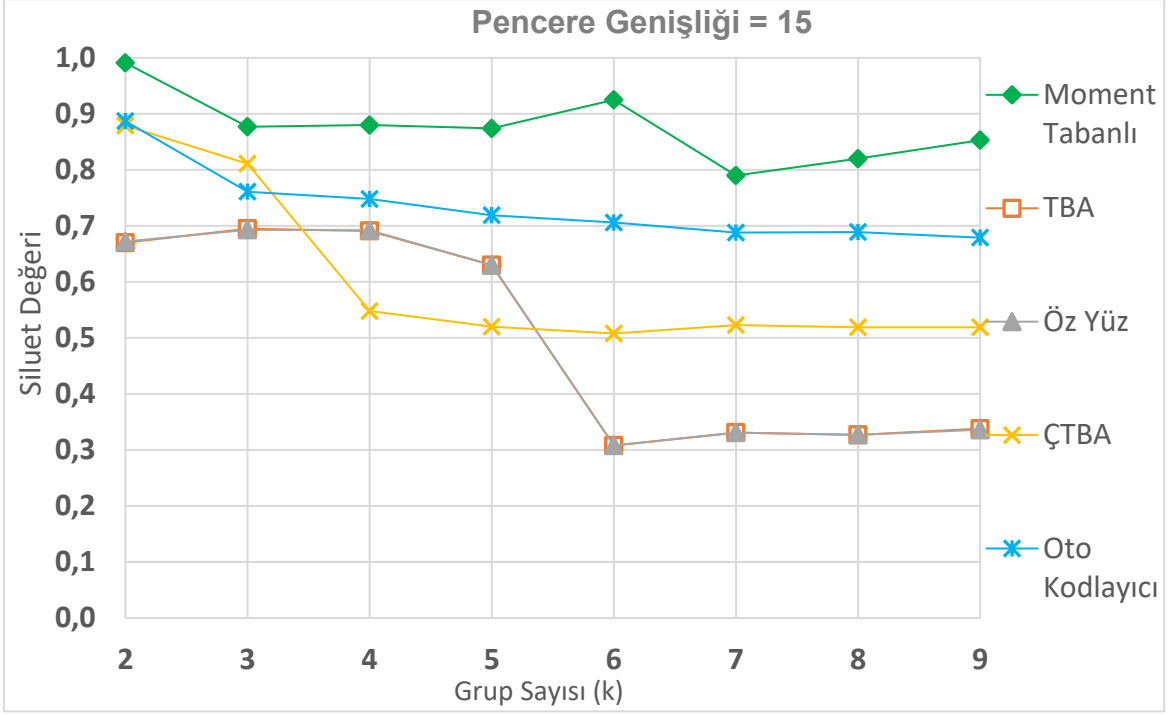


Şekil 4-58 X-Bant AFRL DY+DD SAR Verisi Örnek Çalışma Siluet Değerleri
(pencere genişliği = 3)

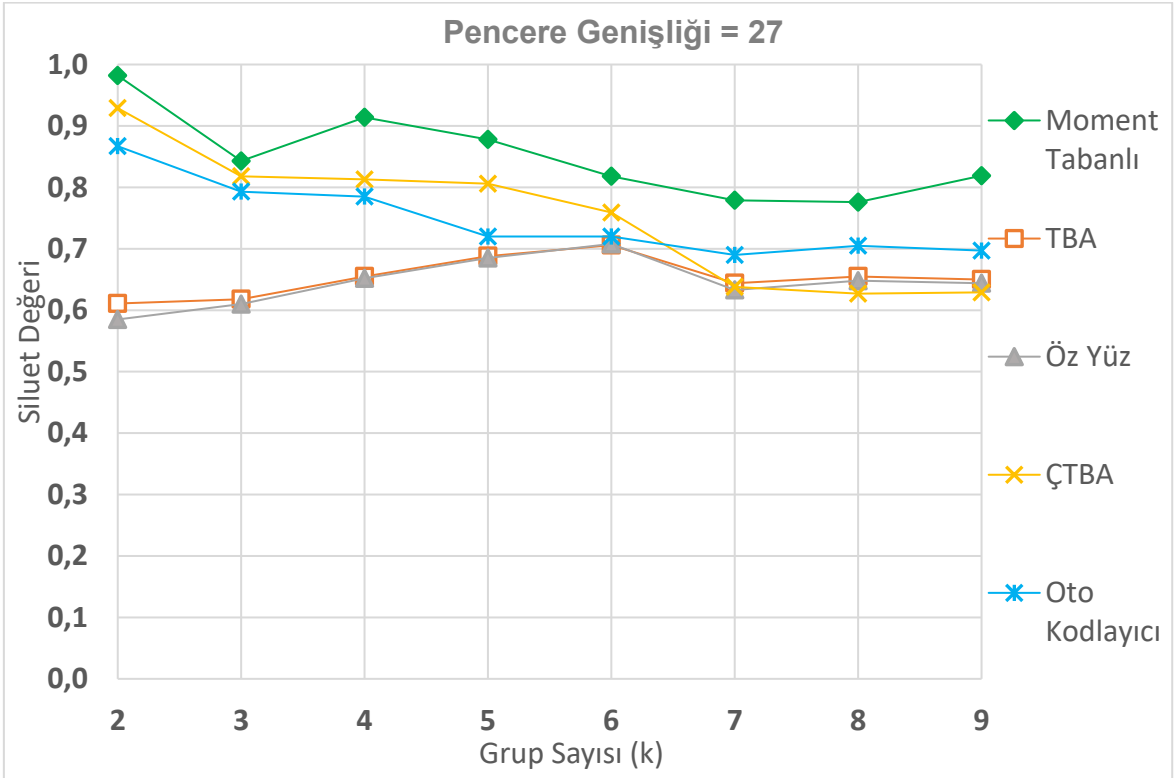
Şekil 4-58’de pencere genişliği 3 iken uygun grup sayısının 2 olduğu görülmektedir.

Şekil 4-59’da pencere genişliği 15 iken, pencere genişliğinin 3 olduğu duruma göre Siluet değerlerinde genel bir artışın olduğu görülmektedir.

Şekil 4-60’ta pencere genişliği 27 iken, ÇTBA, TBA ve Özyüz Siluet değerlerinde belirgin bir artış olduğu görülmektedir.



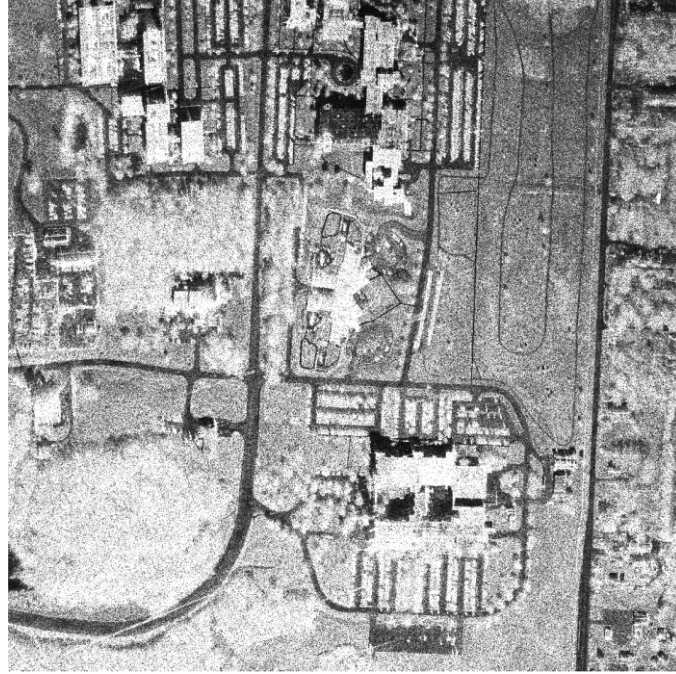
şekil 4-59 X-Bant AFRL DY+DD SAR Verisi Örnek alışma Siluet Değerleri
(pencere genişliği =15)



şekil 4-60 X-Bant AFRL DY+DD SAR Verisi Örnek alışma Siluet Değerleri
(pencere genişliği =27)

4.3.2.2. X-Bant AFRL SAR Verisi için Arazi Örtüsü Haritalaması

Bu bölümde, 4.2.1.2'de verilen X-Bant AFRL SAR sensörü ile elde edilen DY Polarizasyon SAR imgelerinin K-Ortalamlar öbekleme algoritması ile bulunan grup indisleri kullanılarak yapılan görselleştirme sonucu elde edilen arazi örtüsü haritaları gösterilecektir. Arazi örtüsü haritalarının, algoritmalarda grup sayısı (k) ve pencere genişliklerinin tüm değerleri için oluşturulması hem zaman hem de örnek sayısı açısından çok fazla olacağı için bu başlık altında sadece DY polarizasyona ait grup sayısı (k) 2,3 ve 4 olduğunda Siluet değerlerinin en iyi çıktığı yöntemler için oluşturulan örnek arazi örtüsü haritaları verilecektir.



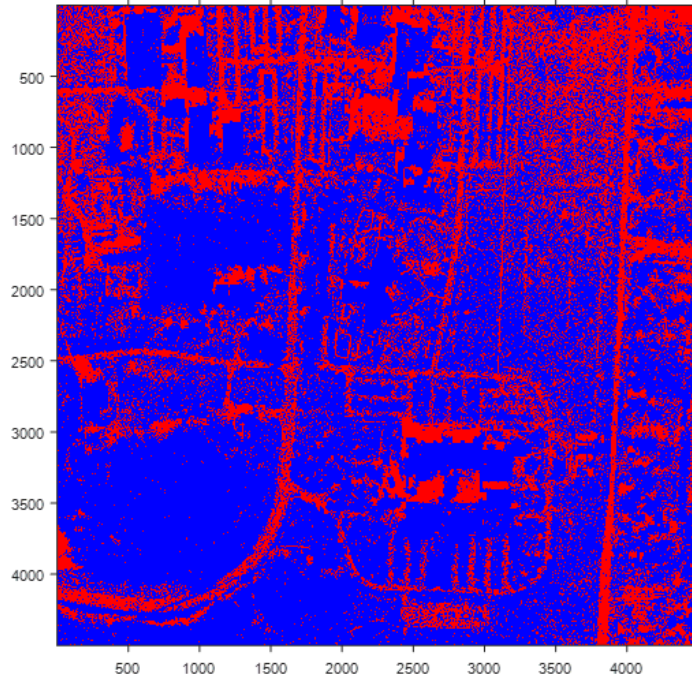
Şekil 4-61 X-Bant AFRL SAR İmgesi

Bu bölümde pencere genişliği 3 ve 15 iken grup sayısı 2, 3 ve 4 olduğu durumlarda Şekil 4-61'de verilen DY polarizasyon SAR imgesi için Siluet sonuçlarının en yüksek çıktığı yöntemlerle oluşturulan arazi örtüleri verilecektir. Şekil 4-50, Şekil 4-51 ve Şekil 4-52'deki sonuçlara göre grup sayısı (k) 2 iken en iyi Siluet değeri Moment Tabanlı yöntemden pencere genişliği 3 olduğunda; grup sayısı 3 iken en iyi Siluet değeri Oto Kodlayıcıdan pencere genişliği 3 olduğunda ve grup sayısı 4 iken en iyi Siluet değeri Oto Kodlayıcıdan pencere genişliği 27 olduğunda elde edilmiştir.

Ancak pencere genişliği 27 iken Oto Kodlayıcı yöntemi ile arazi örtüsünün oluşturulmasında, algoritmaların çalıştırılmasında kullanılan aracın RAM yetersizliğinden ve işlem hızının çok düşük olmasından kaynaklı arazi örtüsü oluşturulamamıştır. Bu sebeple grup sayısı 4 iken Siluet değerinin ikinci en yüksek değerine ulaştığı durum (pencere genişliği 15 iken ve Moment Tabanlı yöntem için) arazi örtüsü oluşturulmuştur. Farklı durumlar için oluşturulan bu arazi örtüleri aşağıda verilmiştir.

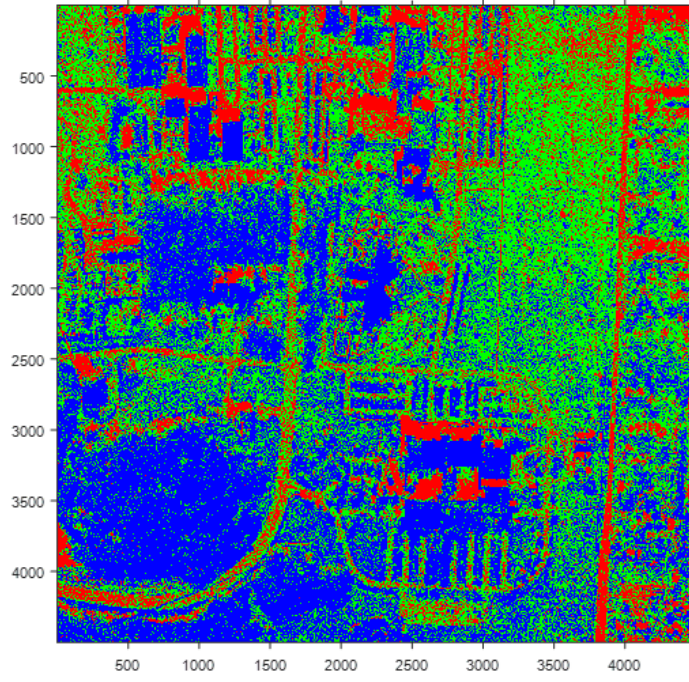
Dikey - Yatay Polarizasyon

Grup sayısı (k) 2 için en iyi Siluet değeri Moment Tabanlı yöntemden pencere genişliği 3 iken elde edilmiştir. Oluşturulan arazi örtüsü haritası aşağıda verilmiştir.

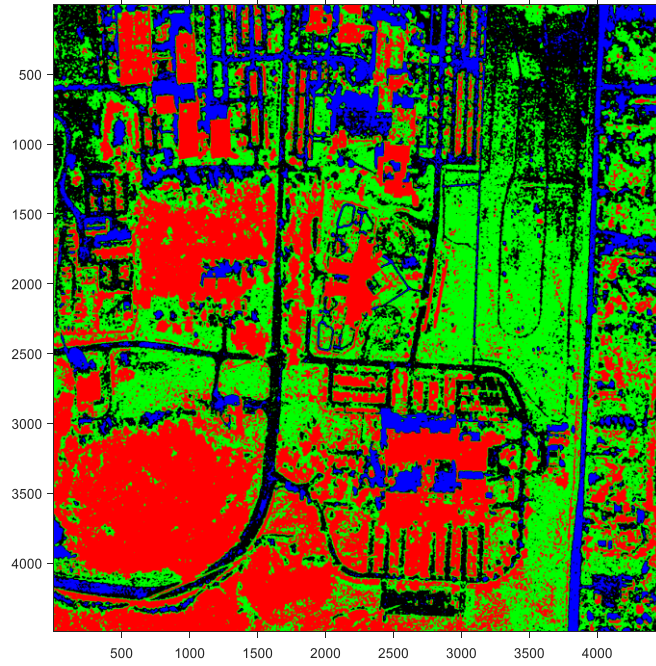


Şekil 4-62 X-Bant AFRL DY SAR İmgesi (k=2, pencere genişliği = 3, Moment Tabanlı)

Aşağıda verilen şekiller incelendiğinde, kentsel alan (binalar, yollar vs.), yeşillik alan ve diğer alanlar olmak üzere farklı gruplar elde edilmiştir. Grup sayısı arttıkça imgedeki farklı dokuya sahip alanlar ayrılabilmiştir. Öznitelik çıkarma aşamasında kullanılan pencerenin genişliği 3 olduğunda figürlerde de görüldüğü üzere görüntüdeki detaylar daha belirgindir



Şekil 4-63 X-Bant AFRL DY SAR İmgesi ($k=3$, pencere genişliği = 3, Oto Kodlayıcı)



Şekil 4-64 X-Bant AFRL DY SAR İmgesi ($k=4$, pencere genişliği=15, Moment Tabanlı)

Pencere genişliği 15 olduğunda, Şekil 4-64'te görüldüğü gibi görüntüde yer alan detaylar arasındaki geçiş daha yumuşaktır ve görüntüdeki detaylar daha azalmıştır.

5. SONUÇLAR

Tez kapsamında, gözetimsiz sınıflandırma yöntemlerinin teorisi araştırılmış ve bu yöntemlerin arazi örtüsü sınıflandırması için SAR imgelerine uygulanma biçimleri incelenmiştir. Sınıflandırma yaklaşımları, günümüzde uzaktan algılanmış verilerin kıymetlendirilmesinde kullanılan yaklaşımlardan biridir. Havadan ve uydudan alınan SAR imgelerinin kalitesinin ve sayısının giderek artması sebebiyle, imgelerin kıymetlendirilmesi giderek önem kazanmaktadır. Ancak çok sayıda etiketli SAR imgesinin elde edilmesi ve yorumlanması uzaktan algılama için zorlu bir sorundur. Bu nedenle, bu çalışmada etiketlenmemiş veri gerektiren gözetimsiz sınıflandırma yöntemlerinin SAR imgelerine uygulanması ve performanslarının karşılaştırılması üzerine çalışılmıştır. Bu sayede SAR imgelerinde arazi örtüsü sınıflandırması yapılarak imgedeki farklı arazi bölgeleri gözetimsiz yöntemlerle belirlenmeye çalışılmıştır.

Tez çalışması kapsamında 5 tane öznitelik çıkarma yöntemi (Moment Tabanlı, Temel Bileşenler Analizi, Özyüz, ÇTBA ve Oto Kodlayıcı) kullanılarak SAR imgelerine ait öznitelikler çıkarılmıştır. SAR imgeleri olarak Dikey-Dikey (DD) ve Dikey-Yatay (DY) polarizasyona sahip 2 farklı veri kümesi, C Bant *SENTINEL-1* SAR ve X-Bant *AFRL* SAR, kullanılmıştır. Bu veri kümelerinin her bir öznitelik çıkarma yöntemindeki farklı grup sayıları ($k = 2$ 'den 9 'a) ve öznitelik çıkarma aşamasında kullanılan farklı pencere genişlikleri (3 'den 29 'a) iken performansları incelenmiştir. Moment Tabanlı yöntemde, en yaygın kullanıma sahip istatistiksel momentler olan ortalama, varyans, çarpıklık ve kurtosis kullanıldığı için diğer öznitelik çıkarma yöntemleri ile elde edilen özniteliklerden de ilk 4 tanesi alınmıştır. Böylece aynı sayıda öznitelik kullanıldığı durumda farklı öznitelik çıkarma yöntemlerinin performansları gözlemlenebilmiştir. Yöntemlerin performanslarının karşılaştırılmasında, K-Ortalamalar öbekleme yöntemi ile elde edilen grup indisleri kullanılarak bir öbekleme geçerlilik indisi olan Siluet İndisleri hesaplanmış ve performans kriteri olarak kullanılmıştır. Gözetimsiz sınıflandırmada kullanılan yöntemlerdeki en temel problemlerden biri, incelenen bölge hakkında ön bilgiye sahip olunmadığı durumlarda, incelenen imgenin kaç gruba ayrılacağı konusunda net bir dayanak olmamasıdır. Bu tür durumlarda grup sayısı genellikle kullanıcı tarafından, nesnel bir kritere başvurmaksızın, belirlenmektedir. Onun için tez

kapsamında da K-Ortalamlar yöntemi, grup sayısının 2 ile 9 arasındaki değerleri için çalıştırılmış ve elde edilen Siluet değerlerine göre en uygun grup sayısı belirlenmiştir.

Tez çalışmasında kullanılan SAR veri kümelerinden elde edilen tüm sonuçlar değerlendirildiğinde, görüntülerde seçilen bölgeler için en uygun grup sayısının büyük çoğunlukla 2 ve 3 olduğu görülmektedir. Öznitelik çıkarma aşamasında kullanılan pencerenin boyutu arttığı durumda Siluet değerlerinde genel bir iyileşmenin olduğu ve bu durumun özellikle Oto Kodlayıcı yönteminde belirgin olduğu gözlemlenmiştir. En düşük Siluet değerlerinin TBA ve Özyüz yöntemlerine ait olduğu gözlemlenmiştir. Öznitelik çıkarımında doğrusal olmayan yöntemleri kullanan ÇTBA ve Oto Kodlayıcı yöntemlerinde özniteliklerin daha iyi seçilebildiği görülmektedir.

DD polarizasyonlu görüntülerde Moment Tabanlı yöntemin Siluet değerleri büyük çoğunlukla 1'e yakın çıkarak en iyi performansa sahip olarak görülmektedir. Ancak DD polarizasyonlu imgeden K-Ortalamlar algoritması sonucunda elde edilen grup indislerine bakıldığında gruplara atanan nokta sayılarında çok fazla fark olduğu ve tutarlı bir atama yapılamadığı görülmüştür. Bu durum Siluet değerlerinin çok yüksek çıkmasına sebep olmuştur. Ancak elde edilen grup indisleri kullanılarak örnek çalışmalarda bölge haritaları oluşturulduğunda, öbeklemenin görsel olarak da düzgün yapılamadığı ve olması gereken arazi görüntüsü ile ilişkili olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun için her ne kadar ÇTBA ve Oto Kodlayıcı ile elde edilen Siluet değerleri Moment Tabanlı yöntemle kıyasla daha düşük çıkmış olsa bile, grup atamalarının daha tutarlı olduğu ve oluşturulan arazi haritalarının daha düzgün olduğu gözlemlenmiştir. X-Bant AFRL SAR verisinde DD ve DY polarizasyonlu imgelerden elde edilen öznitelikler beraber kullanıldığı durumda, bu durumun Siluet değerlerinde düşüşe sebep olduğu durumlar da gözlemlenmiştir. DD polarizasyonda yüksek bir Siluet değeri elde edilirken aynı durum için DY polarizasyonda düşük bir Siluet değeri elde edildiğinde DD+DY polarizasyonda, DD polarizasyondakinden daha düşük bir Siluet değeri elde edildiği gözlemlenmiştir.

Gelecek dönemde yapılacak çalışmalarda, farklı mimarilerdeki Oto Kodlayıcı yöntemlerinin ve sinir ağları tabanlı başka yöntemlerin SAR görüntülerine uygulanarak algoritma performanslarının incelenmesi bu araştırmaya katkı sağlayacaktır.

6. KAYNAKLAR

- [1] T.Lillesand, R. W. Kiefer, J.Chipman, Remote Sensing and Image Interpretation, New York: Wiley, 1979.
- [2] T. Mai, "NASA," NASA, 7 Ağustos 2017. [Online]. Available: https://www.nasa.gov/directorates/heo/scan/communications/outreach/funfacts/txt_passive_active.html. [Accessed 15 Ağustos 2019].
- [3] C.A.Wiley, "Synthetic Aperture Radars," *IEEE*, vol. 21, no. 3, pp. 440-443, 1985.
- [4] "Wikipedia," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Synthetic-aperture_radar.
- [5] R. N. M. John C. Curlander, Synthetic Aperture Radar: Systems and Signal Processing, New York: John Wiley & Sons, 1991.
- [6] M. Soumekh, Synthetic aperture radar signal processing with MATLAB algorithms, New York: J.Wiley, 1999.
- [7] S. Q. Chris Oliver, "Principle of SAR Image Formation," in *Understanding Synthetic Aperture Radar Images*, London, Artech House, 1998, p. 11.
- [8] Robert M. O'Donnell, "Radar Systems Engineering Lecture 18 SAR," IEEE, New Hampshire, 2009.
- [9] S. Bayburt, "Uydu Görüntülerinden Pıksel ve Nesne Tabanlı Sınıflandırma Sonuçlarının Karşılaştırılması," İTÜ, İstanbul, 2009.
- [10] R. S. Morgan, I. S. Rahim, M. Abd El-Hady, "A Comparison of Classification Techniques for the Land Use/Land Cover Classification," *Global Advanced Research Journal of Agricultural Science*, vol. 4, no. 11, pp. 810-818, 2015.

- [11] R. M. Haralick, K. Shanmugam, I. Dinstein, "Textural Features for Image Classification," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 3, no. 6, pp. 610-621, 1973.
- [12] M. Tuceryan, "Moment Based Texture Segmentation," *Pattern Recognition Letters*, vol. 15, pp. 659-668, 1994.
- [13] M. S. Andrzej Materka, "Texture Analysis Methods-A Review," Technical University of Lodz, Institute of Electronics, Poland, 1998.
- [14] Turner II BL, Skole D, Sanderson S, Fischer G, Fresco L, & Leemans R , "Land-Use and Land-Cover Change," Science/Research Plan. IGBP Report, Stockholm, Sweden, and Geneva, Switzerland, 1995.
- [15] Campbell, Introduction to Remote Sensing (3rd ed), New York: The Guilford Press, 2002.
- [16] ESA, "ESA Sentinel Online," ESA, [Online]. Available: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>. [Accessed Pazar Ağustos 2019].
- [17] M. Bourbigot, "Sentinel-1 Product Definiton," ESA, 2016.
- [18] ESA, "Sentinel-1 Observation Scenario," ESA, [Online]. Available: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1/observation-scenario>. [Accessed 5 Ağustos 2019].
- [19] "Wikipedia," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Air_Force_Research_Laboratory.
- [20] M. P. A.K.Jain, "Data Clustering: A Review," *ACM Computing Surveys (CSUR)*, vol. 31, no. 3, pp. 264-323, 1999.
- [21] P. a. M. Goldberg, "A non-parametric clustering scheme for landsat," *Pattern Recognition*, vol. 9, pp. 207-215, 1977.

- [22] K. Gowda, "Cluster Detection in A Collection of Collinear Line Segments," *Pattern Recognition*, vol. 17, no. 221-237, pp. 221-237, 1984.
- [23] B. Usman, "Satellite Imagery Land Cover Classification using K-Means Clustering Algorithm: Computer Vision for Environmental Information Extraction," in *Elixir Journal of Computer Science and Eng*, Nigeria, 2013.
- [24] O. Arbelaitz, I. Gurrutxaga, J. Muguerza, J. M. Perez, I. Perona, "An Extensive Comparative Study of Cluster Validity Indices," *Pattern Recogn.*, vol. 46, no. 1, pp. 243-256, 2013.
- [25] Y. Liu, Z. Liu, H. Xiong, X. Gao, J. Wu "Understanding of Internal Clustering Validation Measures," in *IEEE International Conference on Data Mining*, 2010.
- [26] U. B., "Satellite Imagery Land Cover Classification using K-Means Clustering Algorithm Computer," *Elixir Comput. Sci. Eng.*, no. 63, p. 18671–18675, 2013.
- [27] B. Lantz, *Machine learning with R*, Birmingham: Packt Publishing, 2013.
- [28] "Wikipedia," [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Machine_learning.
- [29] E. Alpaydın, *Machine Learning The New AI*, Cambridge: MIT Press, 2016.
- [30] L. I. Smith, "A Tutorial on Principal Component Analysis," 2002.
- [31] A. P. M. Mudrova, "Principal Component Analysis in Image Processing," 2004. [Online]. Available: <http://staff.ustc.edu.cn/~zwp/teach/MVA/pcaimg.pdf>. [Accessed 16 August 2019].
- [32] A. P. M. Turk, "Eigenfaces for Recognition," 1991. [Online]. Available: <http://www.face-rec.org/algorithms/PCA/jcn.pdf>. [Accessed 15 August 2019].

- [33] C. M. Bishop, *Pattern Recognition and Machine Learning*, Cambridge: Springer, 2006.
- [34] A. Tharwat, "Principal Component Analysis-A Tutorial," Inderscience Enterprises Ltd., 2009.
- [35] M. C. Çatalbaş, "Temel Bileşenler Analizi ve Kanonik Korelasyon Analizi ile İmge Tanıma ve Sınıflandırma," Hacettepe Üniversitesi, Ankara, 2014.
- [36] S. Haykin, *Neural Networks and Learning Machines*, Hamilton, Ontario: Pearson Prentice Hall, 2009.
- [37] A. Ng., "Deep Learning and Unsupervised Feature Learning," Ocak 2011. [Online]. Available: <http://web.stanford.edu/class/cs294a/>. [Accessed 14 Ağustos 2019].
- [38] A. Ng., "CS294A/CS294W Unsupervised Deep Learning," 11 Ocak 2011. [Online]. Available: https://web.stanford.edu/class/cs294a/sparseAutoencoder_2011new.pdf. [Accessed 5 Ağustos 2019].
- [39] P. B. G. Dammert, J. I. H. Askne, S. Kuhlmann, "Unsupervised segmentation of multitemporal interferometric SAR images," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 37, no. 5, pp. 2259-2271, 1999.
- [40] M. Babaei, R. Bahmanyar, G. Rigoll, M. Datcu, "Interactive clustering for SAR image understanding," in *EUSAR 2014; 10th European Conference on Synthetic Aperture Radar*, Berlin, Germany., 2014.
- [41] J. Beaulieu, R. Touzi, "Classification of Polarimetric SAR Images using Radiometric and Texture Information," in *IGARSS 2008*, Boston, MA, 2008.
- [42] R. Shang, Y. Yuan, L. Jiao, B. Hou, A. M. Ghalamzan Esfahani, R. Stolkin, "A Fast Algorithm for SAR Image Segmentation Based on Key Pixels," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 10, no. 12, pp. 5657-5673, 2017.

- [43] D. Amitrano *et al* , "Feature Extraction From Multitemporal SAR Images Using Selforganizing Map Clustering and Object-Based Image Analysis," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 11, no. 5, pp. 1556-1570, Mayıs 2018.
- [44] Li-Jen Du, M. R. Grunes , "Unsupervised segmentation of multi-polarization SAR images based on amplitude and texture characteristics," *IEEE 2000 International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, vol. 3, no. 00CH37120, pp. 1122-1124, 2000.
- [45] G. S. a. M. D. S. Cui, "Remote Sensing Image Classification: No Features, No Clustering," *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, vol. 8, no. 11, pp. 5158-5170, 2015.
- [46] ESA, [Online]. Available:
<https://sentinels.copernicus.eu/web/sentinel/sentinel-data-access>. [Accessed 13 Ağustos 2019].
- [47] ESA,[Online]. Available:
<https://scihub.copernicus.eu/dhus/#/home>. [Accessed Ağustos 2019].
- [48] [Çevrimiçi]. Available: <https://www.sdms.afrl.af.mil/main.php>.
- [49] Steven M. Scarborough, LeRoy Gorham, Michael J. Minardi, Uttam K. Majumder, Matthew G. Judge, Linda Moore, Leslie Novak, Steven Jaroszewski, Laura Spoldi, Alan Pieramico , "A Challenge Problem for SAR Change Detection and Data Compression," in *SPIE*, Orlando,Florida, 2010.
- [50] M. S. Seyfioğlu, A. M. Özbayoğlu, S. Z. Gürbüz , "Deep Convolutional Autoencoder for Radar-Based Classification of Similar Aided and Unaided Human Activities," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 54, no. 4, pp. 1709-1723, 2018.



HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
YÜKSEK LİSANS/~~DOKTORA~~ TEZ ÇALIŞMASI ORJİNALLİK RAPORU

HACETTEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLER ENSTİTÜSÜ
ELEKTRİK ve ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI BAŞKANLIĞI'NA

Tarih: 26/09/2019

Tez Başlığı / Konusu: SAR İMGELERİNDE GÖZETİMSİZ SINIFLANDIRMA YÖNTEMLERİ İLE ARAZİ ÖRTÜSÜ SINIFLANDIRMASI

Yukarıda başlığı/konusu gösterilen tez çalışmamın a) Kapak sayfası, b) Giriş, c) Ana bölümler d) Sonuç kısımlarından oluşan toplam 137 sayfalık kısmına ilişkin, 26/09/2019 tarihinde tez danışmanım tarafından *Turnitin* adlı intihal tespit programından aşağıda belirtilen filtrelemeler uygulanarak alınmış olan orijinallik raporuna göre, tezimin benzerlik oranı % 5'tir.

Uygulanan filtrelemeler:

- 1- Kaynakça hariç
- 2- Alıntılar dâhil
- 3- 5 kelimedenden daha az örtüşme içeren metin kısımları hariç

Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Tez Çalışması Orijinallik Raporu Alınması ve Kullanılması Uygulama Esasları'nı inceledim ve bu Uygulama Esasları'nda belirtilen azami benzerlik oranlarına göre tez çalışmamın herhangi bir intihal içermediğini; aksinin tespit edileceği muhtemel durumda doğabilecek her türlü hukuki sorumluluğu kabul ettiğimi ve yukarıda vermiş olduğum bilgilerin doğru olduğunu beyan ederim.

Gereğini saygılarımla arz ederim.

Adı Soyadı: Duygu YUMUŞ
Öğrenci No: N14126719
Anabilim Dalı: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
Programı: Elektrik ve Elektronik Mühendisliği
Statüsü: Y.Lisans Doktora Bütünleşik Dr.

Tarih ve İmza

26.09.2019

DANIŞMAN ONAYI

UYGUNDUR.

Dr. Öğrt. Üyesi Talat ÖZKARZAN

(Unvan, Ad Soyad, İmza)

ÖZGEÇMİŞ

Kimlik Bilgileri

Adı Soyadı : Duygu Yumuş

Doğum Yeri : Kaman, Kırşehir

E-posta : duygu.yumus@hacettepe.edu.tr

Adresi : Oğulbey Mah. 3051. Sok. No:3, 06830 Aselsan, Gölbaşı,
Ankara.

Eğitim

Lisans : Hacettepe Üniversitesi, Elektrik ve Elektronik Mühendisliği,
2014

Yabancı Dil ve Düzeyi

İngilizce : Profesyonel Yeterlilik

İş Deneyimi

2014-2016 Meteksan Savunma, Algılayıcı Sistemler Sistem Mühendisi

2016-2019 ASELSAN A.Ş (devam ediyor), Radar Sistem Mühendisi

Deneyim Alanları

Radar Sinyal İşleme, Sınıflandırma, Hedef Tespit ve Takip Algoritmaları, Radar Sistem Tasarımı ve Analizleri

Tezden Üretilmiş Projeler ve Bütçesi

-

Tezden Üretilmiş Yayınlar

Tezden türetilmiş olan "Landcover Classification for Synthetic Aperture Radar Imagery by Using Unsupervised Methods" başlıklı yayın RAST konferansına kabul almıştır ve Haziran 2019'da sunulmuştur. RAST 2019 konferans kitapçığında yer almıştır.

Tezden Üretilmiş Tebliğ ve/veya Poster Sunumu ile Katıldığı Toplantılar

-