

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİJİTAL HAVA FOTOĞRAFLARI KULLANARAK
AĞAÇ TESPİTİ VE TAÇ BOYUTLARININ BELİRLENMESİ**

**FATİH ÇELİK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI**

**GEBZE
2020**

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**DİJİTAL HAVA FOTOĞRAFLARI
KULLANARAK AĞAÇ TESPİTİ VE TAÇ
BOYUTLARININ BELİRLENMESİ**

**FATİH ÇELİK
YÜKSEK LİSANS TEZİ
HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
JEODEZİ VE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMANI
PROF. DR. TAŞKIN KAVZOĞLU**

GEBZE

2020

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

DETECTION OF TREES AND CROWN SIZES
USING DIGITAL AERIAL IMAGES

FATİH ÇELİK
A THESIS SUBMITTED FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
GEODESY AND GEOGRAPHICAL INFORMATION TECHNOLOGIES

THESIS SUPERVISOR
PROF. DR. TAŞKIN KAVZOĞLU

GEBZE
2020



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 17/07/2020 tarih ve 2020/34 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 05/08/2020 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Fatih ÇELİK' in tez çalışması Harita Mühendisliği Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU

ÜYE

: Prof. Dr. Umut Güneş SEFERCİK

ÜYE

: Prof. Dr. Naci YASTIKLI

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun
...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

İMZA/MÜHÜR

Prof. Dr. Ümit DEMİR

Gebze Teknik Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

ÖZET

Günümüzde uzaktan algılama sistemleriyle yüksek mekansal ve spektral çözünürlüklü görüntüler elde edilebilmektedir. Bir uzaktan algılama platformu olan insansız hava araçları ormancılık, tarımsal üretim, inşaat ve enerji gibi birçok alanda fotogrametrik değerlendirme ve analiz işlemlerinde kullanılmaktadır. Tez kapsamında insansız hava aracından elde edilen multispektral dijital hava fotoğrafları kullanılarak ortofoto üretilmiştir. Tez çalışması için iki adet test sahası belirlenmiştir. Vejetasyon indeksleri, Otsu eşikleme metodu, k-ortalama kümeleme metodu ve HSV dönüşümlerinden faydalanarak taşların zemin ve diğer objelerden ayrılarak otomatik olarak segmente edilmiştir. Lokal maksimum filtrelemesiyle ağaç yükseklikleri yarı otomatik olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen ağaçların sayısı ve taş büyüklükleri tez kapsamında geliştirilen yazılımla otomatik olarak hesaplanmıştır. Izgara deseninde dikili ağaçların vejetasyon indekslerinden taş büyüklüklerinin elde edilmesinde başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Çalışma kapsamında birinci alanda vejetasyon indeksleri kullanılarak taş belirleme %91 doğruluk oranı, geliştirilen yazılımla ağaç sayısı %99 oranında doğrulukla tespit edilmiştir. İkinci alanın vejetasyon oranlarıyla taş belirleme yöntemi %97 doğruluk oranı, ağaç sayısı tespitinde taşların birbirinden izole edilerek sayımının yapılması sonucunda %98 oranında doğruluk elde edilmiştir. Lokal maksimum tespitiyle ağaç yüksekliklerinin belirlenmesi işleminde %94 oranında korelasyon doğrulukla kullanılabilir yöntem olduğunu göstermektedir. Dijital hava fotoğrafları kullanımıyla oluşturulan ortofotolardan otomatik yöntemlerle ağaç tespiti yapılması konusunda vejetasyon indeksleri kullanılarak geliştirilen yazılımın ağaç taş boyutu belirlemede ve sayımında yüksek doğruluklu sonuçlar vermektedir. Tezde insansız hava araçlarıyla elde edilen ürünlerin orman parametreleri çıkarımında etkili ve maliyet açısından kullanıcı dostu yöntem olduğu gösterilmiştir. Otomatik yöntemlerle ağaçların bilgilerinin elde edilmesi, ilerleyen yıllarda elde edilecek yeni görüntülerden kullanımı efektif bir çözüm olacaktır.

Anahtar Kelimeler: Dijital Hava Fotoğrafı, Ortofoto, Otomatik Ağaç Tespiti, Taş Boyutu, Vejetasyon İndeksleri.

SUMMARY

Today, high spatial and spectral resolution images can be obtained with remote sensing systems. Unmanned aerial vehicles, a remote sensing platform, are used in photogrammetric evaluation and analysis processes in many fields such as forestry, agricultural production, construction and energy. Within the scope of the thesis, orthophoto was produced using multispectral digital aerial photographs obtained from unmanned aerial vehicle. Two test fields were determined for the thesis study. Vegetation indices are segmented automatically by taking advantage of the Otsu thresholding method, k-mean clustering method and HSV transformations, separated from the ground and other objects. Tree heights are determined semi-automatically with local maximum filtering. The number and crown sizes of the detected trees were calculated automatically with the software developed under the thesis. Successful results were obtained in obtaining crown sizes from the vegetation indices of trees planted in the grid pattern. Crown determination by using vegetation indices in the first area was determined with 91% accuracy and the number of trees with the software developed was determined with 99% accuracy. The method of crown determination with the vegetation rates of the second area is 97% accuracy, and the number of trees is isolated and the counting of the crowns is 98% accuracy. It shows that 94% correlation accuracy can be used in determining tree heights with local maximum determination. The software developed by using vegetation indices for automatic tree detection from orthophotos created by using digital aerial photographs gives high accuracy results in determining and counting tree crown size. In the thesis, it has been shown that the products obtained by unmanned aerial vehicles are effective and cost-effective in extracting forest parameters. It will be an effective solution to obtain information of trees by automated methods and use them from new images to be obtained in the following years.

,

Keywords: Digital Aerial Photographs, Orthophoto, Automatic Tree Detection, Tree Height Model, Vegetation Indexes.

TEŞEKKÜR

Öncelikle eğitimin önemini ve maddi ve manevi her türlü desteği sağlayan ilk öğretmenim babama, her zaman yanımda olan dualarıyla ayakta durduğum anneme ve kardeşime yürekten teşekkür ederim.

Yüksek lisans öğrenimim boyunca tez danışmanım Prof. Dr. Taşkın KAVZOĞLU' na ilk uzaktan algılama dersinde tahtaya, yere ve tavana kadar her türlü imkânı kullanarak anlatma azmi, engin birikimi ve yol göstericiliği için minnettar olduğumu belirtmek isterim. Öğretmen kimliği tam anlamıyla yakıştığını her olduğum platformda söyleyecek olduğumu belirtmek isterim.

Her an kapısı açık olan Doç. Dr. İsmail ÇÖLKESEN' e, görüşlerini esirgemeyen Arş. Gör. Hasan TONBUL' a teşekkür ederim.

Tez kapsamında bilgi ve birikimini paylaşan Doç. Dr. Ali Özgün OK' a zaman ayırdığı için ve çalışmamda kullandığım verileri sağladığı için TÜBİTAK kurumuna teşekkür ederim.

Her durumda yanımda olan, desteklerini esirgemeyen, yol arkadaşım aynı zamanda zor bir görevin hakkından gelen annelik yapan eşime, eğitim süresince hayatıma katılan çocuklarım Beren ve Bilge'ye, evin can damarı kayınvalideme minnettarlığımı belirtmek isterim.

Sevgi ve saygılarımla.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	V
SUMMARY	VI
TEŞEKKÜR	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	X
ŞEKİLLER DİZİNİ	XII
TABLolar DİZİNİ	XV
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
1.2. Literatür Araştırması	3
2. AĞAÇ TESPİT ALGORİTMALARI	8
2.1. Ağaç Tespiti Algoritmaları	8
2.1.1. Lokal Maksimum Filtresi	8
2.1.2. Görüntü İkileştirme	11
2.1.3. Şablon Eşleme	12
2.1.4. Ölçek Analizi	13
2.2. Ağaç Tacı Belirleme Algoritmaları	15
2.2.1. Vadi Takibi Algoritması	16
2.2.2. Alan Büyütme Algoritması	17
2.2.3. Havza Segmentasyon Algoritması	18
2.2.4. Vejetasyon İndeksleri	19
3. ORTOFOTO VE SAYISAL ARAZİ MODELİ	21
4. MORFOLOJİK OPERATÖRLER	23
5. ÇALIŞMA ALANI, VERİ VE METODOLOJİ	27
6. UYGULAMA	29
6.1. Ortofoto Üretimi ve Sayısal Arazi Modeli	29
6.2. Normalize Edilmiş Sayısal Yüzey Modeli (nSYM)	31
6.3. Vejetasyon İndeksleriyle Taç Belirleme	32
6.4. Morfolojik Filtreleme	45

6.5. Lokal Maksimum Filtrelemesiyle Ağaç Tepe Noktaları Tespiti	46
6.6. Ağaç Sayısının Belirlenmesi	47
6.7. Ağaç Taç Boyutlarının Belirlenmesi	48
6.8. Ağaç Taç Segmentasyonu	49
6.9. Şablon Eşleme Metodu	51
7. BULGULAR VE TARTIŞMA	52
7.1. Vejetasyon İndeksleriyle Taç Belirleme İşleminin Sınıflandırma Sonuçları	54
7.2. Ağaç Taç Segmentasyonu Sonuçlarının Değerlendirilmesi	60
7.3. Ağaç Sayısı Tespitinin Değerlendirilmesi	61
7.4. Ağaç Taç Boyutu Tespitinin Değerlendirilmesi	62
7.5. Ağaç Yükseklikleri Tespitinin Değerlendirilmesi	64
8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	66
KAYNAKLAR	70
ÖZGEÇMİŞ	76
EKLER	77

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<u>Simgeler ve</u>	<u>Açıklamalar</u>
<u>Kısaltmalar</u>	
\ominus	: Erozyon Filtresi
\oplus	: Dilatasyon Filtresi
R^2	: Determinasyon Katsayısı
O	: Açılma Operatörü
\bullet	: Kapanma Operatörü
Nm	: nanometre
MEIS	: Multi Detector Electro Optical Imaging Sensörü
CASI	: Compact Airborne Spectrographhic Imager Sensörü
SfM	: Structure from Motion
İHA	: İnsansız Hava Aracı
LF	: Laplace Filtresi
LM	: Local Maxima, Lokal Maksimum
LOG	: Laplacian of Gauss
PCA	: Principal Compenent Analysis, Temel Bileşen Analizi
HSV	: Hue-Saturate-Value, Ton-Doygunluk-Değer
nSYM	: Normalize Edilmiş Sayısal Yüzey Modeli
WGS	: World Geodetic System Koordinat Sistemi
UTM	: Universal Transvers Mercator Koordinat Sistemi
Zone	: Dilim
OBJ	: .obj uzantılı dosya sistemi
DXF	: .dxf uzantılı dosya sistemi
SYM	: Sayısal Yüzey Modeli
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
CHM	: Canopy Height Model, Kanopi Yükseklik Modeli
LF:	: Laplace Filtresi
SE	: Structure Element, Yapısal Eleman
R	: Red, Kırmızı Bant
G	: Green, Yeşil Bant
B	: Blue, Mavi Bant

N	:	NIR, Yakın Kızılötesi Bant
RE	:	RENIR, Kırmızı Kenar Yakın Kızılötesi Bant
BNDVI	:	Blue Normalize Difference Vegetation Index
NDVI	:	Normalized Difference Vegetation Index
DVI	:	Difference Vegetation Index
EVI	:	Enhanced Vegetation Index
GDVI	:	Green Difference Vegetation Index
GNDVI	:	Green Normalized Difference Vegetation Index
GSAVI	:	Green Soil-Adjusted Vegetation
MSAVI	:	Modified Soil-Adjusted Vegetation Index
OSAVI	:	Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index
SAVI	:	Soil-Adjusted Vegetation Index
RNDVI	:	Red Edge Normalized Difference Vegetation Index
KYM	:	Kırmızı, Yeşil, Mavi
Actual	:	Asıl Veri
Predict	:	Hesaplanan Veri
TP	:	True Positive, Doğru Pozitif
TN	:	True Negative, Doğru Negatif
FP	:	False Positive, Yanlış Pozitif
FN	:	False Negative, Yanlış Negatif
Sqrt (x)	:	Değişkenin kökünü alma ifadesi
idpx	:	Piksel Sayısı

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil No:	Sayfa
2.1: Lokal maksimum filtreleme aralıkları.	10
2.2: Radyometrik tepe arama yönlerinin gösterimi.	10
2.3: Şablon eşleme metodu gösterimi, a) sentetik ağaç modeli ve gölgesinin oluşumu ve b) tespit edilen ağaçların gösterimi.	13
2.4: Ölçek Analizi ile Yumuşatma Faktörlerinin Uygulanması.	14
2.5: Eşikleme sonrası ağaçların taç sınırlarının oluşturulması, a) yumuşatılmış görüntü ve b) taç sınırlarının gösterimi.	14
2.6: Yumuşatma faktörünün lokal maksimum tespitine etkisi.	15
2.7: Vadi takibi algoritması sonucu oluşan taçlar.	16
2.8: Alan büyütme algoritması k değerine göre işleyişi.	17
2.9: Brownian hareketine göre segmentasyon görüntüsü.	18
2.10: Üyelik fonksiyonuna göre belirlenen ağaç taç noktaları görüntüsü, a) orijinal görüntü ve b) aitliğe göre belirlenen taç noktaları görüntüsü.	18
2.11: Havza segmentasyonu nesne sınırları çıkarımı, a) orijinal görüntü ve b) havza segmentasyonu ile oluşan görüntü.	19
2.12: Farklı ağaç türlerinde dalga boyu ve yansıma değerleri.	20
3.1: Ortofoto üretimi aşamasında ortorektifikasyon, a) Ortorektifiye edilmemiş görüntü ve b) Ortorektifiye edilmiş görüntü.	21
3.2: Sayısal arazi modeli görüntüsü.	22
4.1: Dilatasyon ve erozyon operatörlerin matris işlemleri görüntüsü, a) orijinal görüntü, b) dilatasyon operatörü işlemi görüntüsü, c) erozyon operatörü işlemi görüntüsü.	24
4.2: Morfolojik operatörlerin çalışması, a) dilatasyon operatörü ve b) erozyon operatörü.	25
4.3: Morfolojik filtrelerin uygulanış görüntüsü, a) açılma filtresi ve b) kapanma filtresi.	26
5.1: Çalışma Alanının Ortofotosu (Kırmızı, Yeşil ve Mavi bantların birleşimi).	27
5.2: İş akışı şeması.	28
6.1: Pix4D programı işlem adımları ve yazılım ayarları.	30
6.2: Elde edilen modeller, a) sayısal arazi modeli ve b) sayısal yüzey modeli.	31
6.3: Profil hattı üzerinden alınmış yükseklik değerleri gösterimi.	31
6.4: NDVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) NDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	34
6.5: NDVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) NDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	34
6.6: BNDVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) BNDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	35
6.7: BNDVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) BNDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	35
6.8: DVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) DVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	36
6.9: DVI indeksi a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) DVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	36
6.10. EVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) EVI indeksi uygulanmış görüntü ve c)binary görüntü.	37

6.11: EVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) EVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	37
6.12: GDVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) GDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	38
6.13: GDVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının orijinal görüntü, b) GDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	38
6.14: GNDVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) GNDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	39
6.15: GNDVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) GNDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	39
6.16: GSAVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) GSAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	40
6.17: GSAVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) GSAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	40
6.18: MSAVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) MSAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	41
6.19: MSAVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) MSAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	41
6.20: OSAVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) OSAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	42
6.21: OSAVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) OSAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	42
6.22: SAVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) SAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	43
6.23: SAVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) SAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	43
6.24: RNDVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) RNDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	44
6.25: RNDVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) RNDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.	44
6.26: Birinci çalışma alanının morfolojik filtrelemeleri, a) GDVI indeksi binary görüntüsü, b) kapanma filtresi uygulanmış görüntüsü ve c) açılma filtresi uygulanmış görüntüsü.	45
6.27: İkinci çalışma alanının morfolojik filtrelemeleri, a) GSAVI indeksi binary görüntüsü, b) açılma filtresi uygulanmış görüntüsü ve c) kapanma filtresi uygulanmış görüntüsü.	46
6.28: Lokal maksimum filtrelemesi, a) birinci çalışma alanının tepe noktaları tespiti görüntüsü ve b) tepe noktaları arazi modelinde üzerinde gösterimi.	47
6.29: Lokal maksimum filtrelemesi, a) ikinci çalışma alanının tepe noktaları tespiti görüntüsü ve b) tepe noktaları arazi modeli üzerinde gösterimi.	47
6.30: Taç sayısının belirlenmesi, a) birinci çalışma alanının taç tespiti görüntüsü ve b) ikinci çalışma alanının taç tespiti görüntüsü.	48
6.31: Birinci çalışma alanının taç boyutları tablosu görüntüsü.	49
6.32: İkinci çalışma alanının taç boyutları tablosu görüntüsü.	49
6.33: Birinci çalışma ve ikinci çalışma alanının Otsu Metodu, k-ortalama kümeleme ve HSV dönüşümü sonrası oluşan binary görüntüleri.	50
6.34: Şablon eşleme metodu, a) birinci çalışma alanında tespit edilen ağaçların gösterimi ve b) ikinci çalışma alanında tespit edilen ağaçların gösterimi.	51
7.1: Hata Matrisi.	52
7.2: Birinci çalışma alanının vejetasyon indeksleriyle tespit oranları grafiği.	56

7.3: Birinci çalışma alanının vejetasyon indekslerinin piksel tabanlı değerlendirme görüntüleri.	57
7.4: İkinci çalışma alanının vejetasyon indeksleriyle tespit oranları grafiği.	59
7.5: İkinci çalışma alanının vejetasyon indekslerinin piksel tabanlı değerlendirme görüntüleri.	59
7.6: Birinci ve ikinci çalışma alanlarının segmentasyon sonucu piksel değerlendirme görüntüleri.	60
7.7: Birinci çalışma alanının taç çapı belirlemesi regresyon analizi.	63
7.8: İkinci çalışma alanının taç çapı belirlemesi regresyon analizi.	63
7.9: Birinci çalışma alanının ağaç yüksekliği tespiti regresyon analizi.	64
7.10: İkinci çalışma alanının ağaç yüksekliği tespiti regresyon analizi.	65

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
7.1: Birinci çalışma alanının vejetasyon indeksleri değerlendirmesi.	55
7.2: Birinci çalışma alanının TP, TN, FP, FN, tam, fazla ve az tespit oranları.	55
7.3: İkinci çalışma alanının vejetasyon indeksleri değerlendirmesi.	57
7.4: İkinci çalışma alanının TP, TN, FP, FN, tam, fazla ve az tespit oranları.	58
7.5: Segmentasyon sonuçlarının değerlendirme tablosu.	61
7.6: Tespit edilen ağaç sayıları ve doğruluk oranları tablosu.	62

1. GİRİŞ

Artan dünya nüfusuyla birlikte doğal kaynakların kullanımını orantısız bir şekilde sarf edilmiştir. Aşırı tüketim ve tahrip küresel anlamda olumsuz sonuçlara yol açmaya başladı. Bilim adamları yeryüzünde olan olayları ve nesnelere anlamlandırma ve analiz etme konusunda teknolojiyi geliştirerek kullanmıştır. Uzaktan algılama platformları çeşitli bilim dallarında veri elde edilmesi çevreyi gözlemleyip analiz etme imkânı tanımıştır [Clevers, 2016]. Ormancılık, tarım, meteoroloji ve arazi kullanımı gibi konularda insansız hava araçları, uydu platformları ve uçaklar uzaktan algılamaya veri sağlamıştır [Vadrevu, 2013].

Orman alanları dünyada yaşayan her canlı açısından hayati öneme sahiptir. Ormanlar ekosistem, ekonomi ve insan açısından gıda, yakıt, barınma ve temiz hava gibi ihtiyaçların her dönemde karşılamıştır. Orman kaynaklarının azalması iklim, iklimik dengenin değişmesi, sıcaklık artışı ve toprak kaybına neden olarak enerji döngüsünün sağlanamaması, biyoçeşitliliğin azalması ve yenilenebilir kaynakların azalmasına yol açmaktadır [Ke and Quackenbush, 2011]. Sürdürülebilir orman yönetimi konusunda teknolojik altyapıdan faydalanarak üretimin ve tüketimin değerlendirilmesi gerekmektedir.

Ülkemizin yaklaşık %28,6'sını ormanlar oluşturmaktadır [Tarım ve Orman Bakanlığı, 2015]. Orman alanlarının bilgilerinin tutulması konusunda yersel ölçüm çalışmaları ve istatistiki çalışmalar yapılmaktadır [Tarım ve Orman Bakanlığı, 2015]. Bu bilgiler tür, çeşit sayısı, yaşı ve yükseklik bilgilerini içermektedir. Olası bir orman yangınında ne kadar alanın, türün ve biokütlenin zarara uğradığı konusunda bilgi edinmek için bu kayıtların doğruluk ve titizlikle belirlenmesi gerekmektedir. Elde edilen bilgilerin bir coğrafi veri bilgi sisteminde saklanması gerekmektedir [Akarsu, 2019]. Günümüzde bu bilgilerin veri alt yapısının oluşturulmamış olması büyük bir problem teşkil etmektedir. Yersel ölçmelerle elde edilen veriler zaman almakta aynı zamanda maliyeti hayli yüksektir. Dolayısıyla yapılan çoğu tespit doğruluk açısından sorgulanabilir bilgiler içermektedir.

Bu eksiklik sadece orman alanlarında değil yaşadığımız şehirler için de geçerlidir. Kentlerimizin olmazsa olmazı ağaçların konumu, cinsi ve yaşıyla ilgili bilgileri kayıt altına almamız gerekmektedir. Planlama aşamasında yeşil alan

ihtiyacının karşılanmasında ağaçlarla süslenerek yaşanabilir bir çevre oluşturulması için bu bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır [Gürbüz, 2016].

Endüstriyel ormancılık faaliyetlerinde ihtiyaç olan biokütlenin karşılanması için yönetilebilir bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Sürdürülebilir ormancılık faaliyetlerinde belirli periyotlarda bu bilgilere ihtiyaç duyulmaktadır. Gelişim ve hastalık kontrolü açısından bilgilere sürekli erişim imkânı sağlayacak bir sistem gerekmektedir.

Ağaç barındıran alanların uzaktan algılama platformlarından elde edilen görüntülerden veya lazer tarama verilerinden faydalanarak içerisindeki bilgilere mekansal doğrulukla erişebilir olduğumuzdur [Yılmaz, 2017]. Uzaktan algılama platformu olarak günümüzde kullanılan insansız hava araçları ağaçlık alanların görüntülerini hassasiyet ve hızlı şekilde sağlamaktadır. Ağaç tespiti için algoritmalar ve yeni yöntemler arayışı devam etmektedir.

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Tez kapsamında dijital hava fotoğrafları kullanılarak otomatik ağaç tespit edebilen ve sayabilen bir yaklaşım geliştirilmek amaçlanmıştır. Uzaktan algılama platformları arasındaki insansız hava araçlarından elde edilen yüksek çözünürlüklü görüntülerden ağaç sayısı, taç büyüklüğü ve yüksekliklerinin tespiti için literatürde bulunan yaklaşımları uygulamak ve kodlayarak başarısı konusunda testler yapmak hedeflenmiştir. Kırmızı, mavi, yeşil ve yakın kızılötesi bant kullanılarak vejetasyon alanlarının tespiti ve doğruluğunun araştırılması, sayısal yükseklik modelinin kullanılarak ağaç yüksekliklerinin tespiti ve doğruluklarının araştırması amaçlanmıştır. İki alanda yapılan çalışmalarda çıkan sonuçları değerlendirilmesi ve uygun olan yöntemin belirlenmesi amaçlanmıştır.

Sürdürebilir orman yönetimi için orman envanterinin oluşturulması gereklidir. Tarımsal üretimin kontrolü ürün sağlığı ve rekoltesi açısından önemlidir. Orman ve tarımsal alanlarda elde edilen ortofotolar barındırdığı bilgi ve yüksek mekansal doğruluğuyla günümüzde sıklıkla tercih edilmektedir. Ağaç içeren alanların belirlenmesinde, ağaç türleri ve sayıları hakkında bilgiler bu alanların yönetilmesinde günümüz teknolojilerinin önemi artmaktadır.

Tez kapsamında elde edilen görüntülerden bölgede bulunan ağaçların sayısının belirlenmesi, taç boyutları ve ağaç yüksekliklerinin belirlenmesi yapılmıştır. Yersel

ölçmelere nazaran doğru mekansal ve ayrıntılı bilgiyi elde ederek analiz edilmesi mümkündür. Otomatik tespit yapan yöntemlerle iş gücünün ve sarf edilen zamanın azaltılması konularında yardımcı olarak güncellenebilir ve izlenebilir bir sistem geliştirilmeye çalışılmıştır.

1.2. Literatür Araştırması

Dijital hava görüntülerinden ağaç tespiti çalışmaları yarı otomatik yöntemlerle tespit edilmesi ormancılık, şehircilik ve ekonomik sebeplerden dolayı önem kazanmıştır. Geleneksel çalışmalar hem yorucu, büyük işgücü aynı zamanda pahalıydı. Hava fotoğraflarının görsel olarak yorumlanması çok kıymetli görülmüştür. Uzaktan algılama ile yüksek çözünürlüklü görüntüler hayatımıza hızla girerek bilgisayar sistemleriyle birlikte dijital görüntü analizinde bu zorluklar azalmıştır. Bu teknikler sayesinde orman alanlarındaki ağaç türlerinin, taçlarının boyutunun, orman yoğunluğunun, orman sınırlarının tespiti için uygun parametre arayışı başlamıştır [Ke and Quackenbush, 2011].

A. J. Pinz [1991] tarafından ağaç tespitinin dijital görüntülerden ilk örnek olan çalışmasını sunmuştur. Üç adımdan oluşan fotoğraf üzerindeki ağaçları bulma, ağaç türünü tespit etme ve ağacın canlılığını rengine bakarak tespit etmeyi amaçlamıştır. Değişik ölçeklerde, mekansal çözünürlükte ve farklı tarihlerde çekilmiş olan hava görüntülerini görsel uzmanlık sistemi (Vision Expert System) adında bir sistemle değerlendirmiştir. Ağaçların lokal maksimumlarının tespiti ve taçlarını bir daire ile çizdirilmiştir. Bu yöntemler gibi başka algoritmaların mevcut sonucun daha iyi bir değerlendirmesinin elde edilmesine yardımcı olabileceği görüşünü ortaya koymuştur.

MEIS (Multi Detector Electro Optical Imaging Sensor) sensöründen elde edilmiş kızıl çam, kızıl ve beyaz ladin ağaçlarının kombinasyonunu içeren bir çalışma alanında otomatik taç tanıma yaklaşımını geliştirilmiştir. İkili görüntüde ormanlık ve orman olmayan alan olarak sınıflandırılmıştır. 3x3'lük bir kayan pencere ile yerel minimumları araştırılmıştır. Kural tabanlı bir yaklaşım geliştirilerek vadi takibi algoritmasıyla taç sınırlarını belirlenmiştir. Toplam taç sayısı hava fotoğrafından tespit edilenlere göre MEIS sensöründen alınan görüntüde % 7.7 altında gerçekleştirmiştir. Bunun sebebinin ise birleşmiş formdaki taçların oluşturduğu ağaç kümelerinin tek sayılması olarak gösterilmiştir [Gougeon, 1995].

Uzay-ölçek teorisine dayanan ağaç taçlarını ayırma çalışması renkli kızılötesi hava görüntülerini yumuşatarak ağaç kenarları tespiti amaçlanmıştır. Her ölçekte görüntüde kenar pikseli ve eğrilik merkezini hesaplanmıştır. Aynı kenar segmentinde noktaların oluşturduğu çemberi ortalama eğriliklerden geçirilmiştir. Belirlenen çemberlerin arasında lokal maksimum ile zirveler tespit edilmiştir. Kenarları çekim merkezi algoritmasına göre çizdirilmiştir. Çok küçük ağaçların tespiti zor olduğundan gözden çıkartılarak, on ağaç tacının yedisini tespit edebilmiştir. Atlama hatası karanlık taç ve küçük ağaçlardan oluşmuştur [Brandtberg and Walter, 1998].

Pollock [1996] tarafından sentetik ağaç modelini hava görüntülerinde arayarak şablon eşleme tekniklerini anlatmıştır. MEIS sensöründen elde edilmiş altı bantlı sekiz bitlik görüntüler kullanmıştır. Rastgele seçilmiş örnek ağaçlardan oluşturulan şablonlar tüm görüntülerde aranarak ağaç taç boyutu, yüksekliği ve türünün tespiti gibi çalışmalarda bulunmuştur. Otomatik tanımda ihmal hatası %38, el ile tanımın ihmal hatası %14 olduğunu belirtmiştir.

Şablon eşleme metodu çalışmalarında ağaç taç şeklinin modeli 3 boyutlu koordinat yüzeyinde tanımlanmıştır. Kopenhag şehrinin kuzeybatısında Norveç ladin ormanından elde edilmiş 15 cm/piksel çözünürlüğü sahip görüntülerde çalışılmıştır. Çalışmanın sonucunda iki görüntüde lokal maksimum tespitini yapılmıştır. Şablonun ağaç tepesinin üstünde ortalandığı için görüntülerin ağaçlara dikliğiyle sonuçların değiştiğini göstermiştir [Larsen et al., 1997].

2000 yılında MEIS-II sensöründen alınmış görüntülerde farklı pencere boyutlarında lokal maksimum tespiti, taç çapı ve göğüs hizası yükseklikteki çap incelemesi yapılmıştır. Kırmızı, Kızılötesi ve Pankromatik bantlarda 3x3, 5x5, 7x7 lokal maksimum arama pencere boyutundaki sonuçları değerlendirmiştir [Wulder et al., 2000].

Kanada'nın 40 km kuzeyinde yaklaşık 8 hektar büyüklüğünde ladin ağaçlarının bulunduğu orman alanının CASI sensöründen elde edilen nadire yakın perspektifte 60 cm/piksel çözünürlüklü 8 bantlı görüntülerinde ağaç tespiti çalışılmıştır. MATLAB yazılımında görüntülerde 1211 tane ağaç tespit edilmiştir. Görüntüyü üç kısımda sol, orta (nadir) ve sağ kısımlarında inceleme yapılmıştır. Güçlü ormancılık deneyimine sahip 3 yüksek lisans öğrencisi bilgisayar ekranında 957 adet ağaç tanımladı ve algoritma % 85,3 performans gösterdi. İhmal hatalarının ağaçların küçük taçlarından kaynaklandığını da belirtmişlerdir [Wang et al., 2004].

Hyypä et al. [2012] yaptıkları çalışmada Helsinki'nin 18 km batısındaki biri düz bir alanda bulunan diğeri eğimli bir alandaki ağaçları kapsayan alanda lazer tarama verisi ve yersel tekniklerle elde edilmiş ölçümlerle çalışmıştır. Kanopi yükseklik modelini ürettikleri alanda taç sınırları, ağaç yükseklikleri ve ağaç lokasyonları belirlemiştir. Farklı üniversitelerin katılan araştırmacıların 9 farklı modelini test etmişlerdir. Lokal maksimum bulma, çoklu ölçek, minimum eğrilik, çeşitli pencere boyutlarında lokal maksimum tespiti, kümeleme ve havza modeli dönüşüm algoritmalarını denemiştir. Değerlendirme için referans model ile sunulan modelin eşleştirilmesi, komşuluk ilişkisi, ihmal ve kaçırma hata tespiti ve aykırı değerlerin tespiti ile gerçekleştirmiş.

Şerifoğlu ve arkadaşları [2016] tarafından yapılan yılında ağaçların tepe ve hacimlerinin belirlenmesiyle ilgili çalışmada ortofoto görüntüler kullanılmıştır. Stereo görüntüden oluşturdukları yükseklik modellerinin farkından kanopi yükseklik modeli (CHM) üretmiştir. Hough dönüşümü yaparak ağaçların tepe noktalarını ve tepe hacimlerini tespit etmiştir.

Lazer tarama verileriyle Finlandiya sınırları içerisinde 5 x 5 km bir orman alanında ağaç tespiti çalışması kanopi yükseklik modelini oluşturduktan sonra minimum eğrilik bazlı alan tespiti yaparak ağaçların tespiti ve otomatik eşleştirme algoritmasıyla zeminde ölçülen ağaçlarla ilişkilendirilmiştir. İki farklı yöntemle elde edilen lazer tarama verisinin tespit edebilme yeteneğinin kıyaslamasını yapmıştır. % 54 oranında tespit ile tam dalga form lazer tarama verisi çoklu yankı lazer tarama verisine göre daha küçük ağaçları daha iyi algıladığını belirtmiştir [Yu et al., 2014].

Fujimoto et al. [2019] yaptıkları çalışmada insansız hava aracıyla elde edilmiş görüntülerde SfM (Structure from Motion) tekniğiyle nokta bulutu üretmiştir. Oluşturdukları sayısal yükseklik modelinden sayısal arazi modelini çıkartarak kanopi yükseklik modelini elde etmiştir. Lokal maksimum tespiti, vadi takibi ve alan büyütme teknikleri kullanarak ağaç taç kümelemesini ve sınırlarını belirlemiştir. Filtreleme tekniğiyle yaptıkları ağaç tespiti çalışmasında pencere boyutunun ağaç sayısına oranını kıyaslamıştır. Selvi ve sedir ağaçlarının sınıflandırmasının toplam doğruluğu %86 oranında ve geri getirme oranı %85 olarak belirtmiştir. Gövde çapının arazide yapılan ölçümlere kıyasının regresyon analizi sonucu ilişki katsayısı 0,78 olarak belirtmiştir.

2014 yılında Almanya yakınlarında yaprak dökken 1,28 hektarlık bir alanda ve 1,11 hektarlık iğne yapraklı orman alanını içeren lazer tarama ile elde edilen nokta bulutundan ve insansız hava aracı (İHA) platformundaki kameradan elde edilen görüntülerden oluşan sayısal arazi modelinde çalışma yapılmıştır. Yaprak dökmeleyen ağaçların tespitini arama çapıyla değişken oranda %87,68 ile %90,41 oranında tespit yüzdesi, yaprak dökken ağaçların yerini %30 oranında tespit edilmiştir [Sperlich et al., 2014].

Kattenborn et al. [2014] yaptıkları çalışmada Kiribati Cumhuriyetinde yaklaşık 470 m'ye 200 m büyüklüğünde test bölgesi, Hindistan cevizi ve palmye ağaçlarından oluşmaktadır. İHA platformu üzerinde takılı sabit lensli bir kamerayla 70 m ve 100 m irtifadan iki uçuş gerçekleştirmiştir. Sayısal arazi ve yükseklik modeli yanında kanopi yükseklik modeli de üretilerek tematik nokta bulutu sınıflandırması ile palmye, çalılık ve yer olarak üç sınıfa ayırmıştır. İki data seti üzerinde ağaç tespiti çalışmalarında haritalandırma doğruluklarını %68,6 ile %86,1 olarak hesaplamıştır.

Chen et al. [2006] yaptıkları çalışmada Kaliforniya ormanlarında meşe ağaçlarını Optech marka lazer tarama ile 800 m ye 800 m bir alanı kapsayan bölgede çift uçuş ile lazer tarama verisi elde etmiştir. Sayısal yükseklik modeliyle kanopi yükseklik modeli enterpole edilerek oluşturmuştur. Değişken pencere boyutunda arama yapılarak ağaç tepeleri lokal maksimum algoritmasıyla tespit etmiştir. Kanopi modelini gauss filtresiyle yumuşattıktan sonra işaret kontrollü havza segmentasyonu yapmıştır. %64,1 oranında ağaç izolasyonu mutlak doğruluğuna ulaşmıştır.

Havadan lazer tarama sistemleri orman alanlarında ağaç yüksekliklerini, gölgelik alanları tespiti ve hassasiyeti sebebiyle çok çalışmada kullanılmaktadır. 2002 yılında yapılan çalışmada ladin ve çam ağacı içeren bin hektarlık bir alanda lazer tarama verisiyle sayısal arazi modeli oluşturulmuştur. 144 tane olarak belirlenmiş örneğin yükseklikleri, ortalama çapı, gövde sayısı ve taç alanı gibi değişkenlerde regresyon analizi yapmıştır. Genel olarak genç ormanda daha iyi sonuçlar elde etmiştir. Hacim belirlemede %80-%90 arasında, Yükseklik, gövde sayısı ve taç alanında %50 ila %93 arasında R^2 değerleri tespit etmiştir [Kaartinen et al., 2012].

Tarp-Johansen [2002] yaptığı çalışmada hava görüntülerinde üç boyutlu şablon eşleme tekniğini yayınlamıştır. Kopenhag şehrinin 45 km güneybatısında meşe ağaçlarının 1,25 m aralıklarla dikildiği düzenli bir yapıya sahip ormanlık bir bölgede

çalışmıştır. Dijital hava fotoğraflarının oluşturduğu bir dizi iç ve dış yöneltmesi yapılmış pankromatik görüntüden oluşmuştur. Güneşin geliş açısına göre oluşan gölgenin ve ağacın kamera açısına göre görüntüsünden şablon oluşturmuştur. Altmış ağacın değişken parametreler ile %85 ila %98 arasında tahmin yapabildiğini göstermiştir.

İnsansız hava aracıyla elde edilmiş görüntülerden narenciye ağaçlarının tespiti için üretilen sayısal yüzey modelinde olasılıksal lokal maksimum tespitinde yeni bir yaklaşım geliştirilmiştir. Yaklaşım sonuçlarının değerlendirilmesinde f-ölçüm değerlerine bakılarak %92,5 oranında tespit gerçekleştirmiştir [Ok and Ozdarici-Ok, 2018].

F. Gürbüz [2016] yüksek lisans tezinde kentsel alanlarda ortofoto üzerinden ağaç tespiti çalışması yapmıştır. Belirlemiş olduğu dört test alanında segmentasyon, sınıflandırma ve ağaç zirvelerinin tespiti çalışmaları yapmıştır. %96 oranında ağaçların tespitinde başarı sağlamıştır.

Pádua et al. [2018] kestane ağaçlarının bulunduğu bir alanda insansız hava aracı kullanarak 30 m ve 120 m aralığındaki yükseklikten yedi uçuş gerçekleştirmiştir. Ortofoto ve sayısal arazi modelleri üreterek ağaç yükseklik modelini üretmiştir. Uçuş yüksekliğinin ağaç tespitine etkisini incelemiştir.

2. AĞAÇ TESPİT ALGORİTMALARI

1990' dan bugüne kadar birçok çalışmacı ağaç tacı belirleme ve ağaç tanımlama algoritması geliştirilmiştir. Ormanın yoğunluğu, ağaç sayısı ve tür çeşidine bağlı olarak algoritmalar değişebilmektedir. Aynı orman üzerinde farklı yaklaşımların sonuçları da farklı olabilmektedir.

Bu yüzden ağaç belirleme konusu ağaç tespit algoritmaları ve taç belirleme algoritmaları olarak iki kategoride açıklamak daha faydalı olacaktır [Özdarıcı-Ok, 2014]. Literatürde bu çalışmalar iç içe geçmiş halde bulunabilir [Ke and Quackenbush, 2011].

Ağaç tepelerinin ve mekansal yerlerinin tespiti yapılırken taç çevresinin de tespiti yapılır. Aslında ağaçları kendi başına tespit etmek amaç değil, ağaçların sınırlarının ve boyutlarının belirlenmesi çalışmasının ön adımıdır.

Ormanda yaprak dökmeyen ağaçların oluşturduğu görüntülerde ağaçlar konik bir yapıya sahiptir. Bu yapı sayesinde üç boyutlu görüşte dere-tepe gibi arazi yapısına sahiptir. Ağaçların tepeleri güneşin ışığından daha fazla faydalanacağı için üst noktalar parlaktır. Bu nedenle ağaç tespiti, tepe noktaları parlaklığı tespit etme probleminin çözümü olarak görülmüştür. Taç sınırlarının tespiti ise dere veya karanlık vadilerinin çizdirilmesi problemini öngörmüştür.

2.1. Ağaç Tespiti Algoritmaları

Bu kısımda ağaçların tepe noktalarını ve sayısını belirleme ve ağaçların türlerine göre ayırt etme üzerine yapılan çalışmalara değinilmiştir.

2.1.1. Lokal Maksimum Filtresi

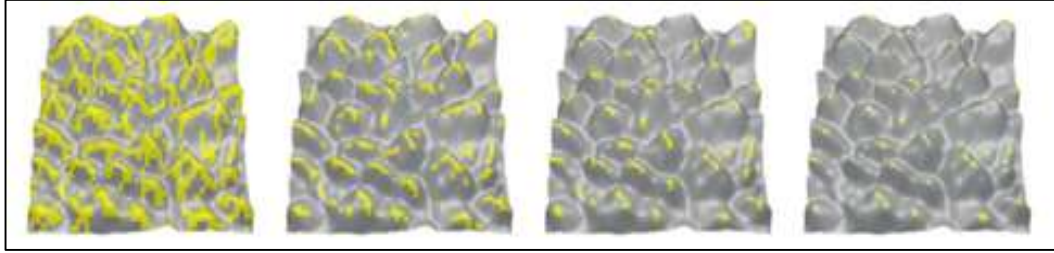
Ağaç tepelerinin belirlenmesi lokal alanlarda piksel değerlerinin parlaklığına bakılarak belirlenmesini amaçlamıştır. Ormanlık alanların kendine özgü olan tepe ve çukur şeklindeki özel bir yapıya sahip olması varsayımı ile geliştirilmiştir. İlk çalışmalarda kayan pencere tanımlanarak tüm görüntüde en yüksek piksel değerlerini aratmaya dayandırıldı [Dralle and Rudemo, 1997]. Pencere boyutları 3x3, 5x5, 7x7 gibi görüntünün çözünürlüğü ve ağacın taç boyutuyla arasındaki ilişkiye dayanarak

belirlenmiştir. Bu metotla yapılan çalışmaların genelinde düzgün taca sahip olan ağaçlarda iyi sonuçlar verdiği ve değişken taç boyutuna sahip olan ormanlık alanlarda küçük ağaçları kaçırdığını veya büyük taçlı ağaçları aratırken iki veya üç parça halinde tespit yaptığının göstermiştir [Ke and Quackenbush, 2011].

Lokal maksimum çalışmalarında değişken pencere boyutu ile arama yapılırsa daha iyi sonuçlar alınacağını öneren çalışmalar geliştirilmiştir. Ormanlık alanlardaki görüntülerde yarı değişken pencere boyutları pikseller arasındaki ilişkiye göre belirlemiştir [Wulder et al., 2000]. Değişken pencere boyut her bir pikselin konumu baz alınıp ortalama semivaryans aralığı, her pikselin 8 ana yönde hesaplanması sonucu kesişiminde hesaplamıştır. Semivaryans konusu dijital görüntü işleme konusunda uzaktan algılama da sıklıkla kullanılan bir tekniktir. Variogram çekim noktasını, mekansal ölçeği ve verilen bilgi setini tanımlanır. Yarı variogram (Semivariogram) mekansal bağıllığın ölçülmesiyle sürekli çeşitlenmenin tespitiyle sağlanmaktadır. Pencere boyutu olasılıkları kullanıcının slope breaks hesaplanmasıyla tamamlanmalıdır. Slope break ağaç taçını işaret eden piksellerin bitimini temsil etmektedir. Bu çalışmada MEIS-II (Multi Detector Electro Optical Imaging Sensor) uydusundan elde edilen multispektral görüntülerde değişken pencere boyutu ve sabit pencere boyutuna göre bulunan ağaç sayısını, kaçırılan ağaçların hata oranını (omission error), yanlış tespit edilen ağaçların hata oranını (comission error), uzaktan algılama uydularından elde edilen lokal maksimum filtreleme işleminin verilerinin potansiyel sonuçlarını, taç çapı ile seçilen lokal maksimum (LM) filtresinin arasındaki ilişkinin belirlenmesi amaçlamıştır. Sonuçları olarak LM filtreleme tekniğinde pencere boyutunu etkileyen en önemli faktör ağaç taç çapı olduğuna, mekansal çözünürlükten çok büyük taçlı olan ağaçların tespitinin kolay olduğu, yakın ve az çözünürlüğe sahip olan taç çaplarında tespitinin olmadığını varılmıştır [Wulder et al., 2000].

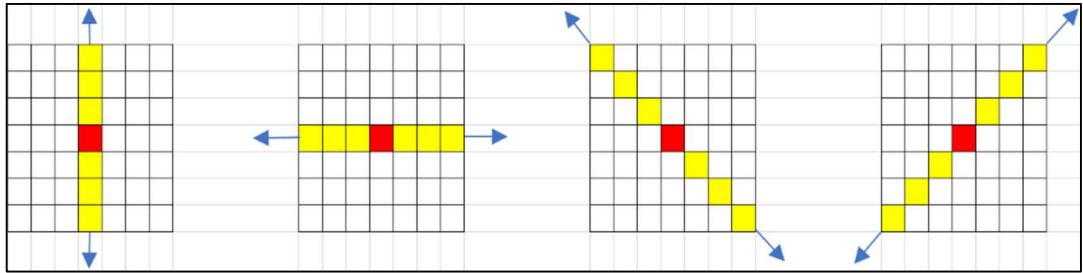
Pencere boyutunun belirlenmesine gerek olmaksızın ağaç tepe noktalarını bulması için analizler geliştirilmiştir. Ağaç tanıma ve belirleme algoritmaları aşağıdan yukarıya yaklaşımıyla üç ana adımda açıklamıştır. Görüntüde LM filtrelemesi, LM belirlenmesi ve piksellerin kümelenmesi şeklindedir. LM belirlenmesi için 4 ana yönde lineer arama yapılmıştır. Her pikselin değeri bir öncekine göre değerlendirilir ve kaydedilmiştir. Bu değerlendirme sonucu her pikselin değeri 0 ile 4 arasında değerler almaktadır. 4 en yüksek olabilirlik 0 ise düşük olabilirlik değerini taşımaktadır. Karşıt yöndeki her pikselin değeri merkez pikselden düşük olduğu için radyometrik bir tepe oluşturmuştur. LM ya da vadiler taç çevresini belirlemek için

kesintisiz bir piksel genişliğinde oluşturulmuştur [Culvenor, 2002]. Şekil 2.1’de lokal maksimum filtreleme aralıklarını gösterimi verilmiştir [Culvenor, 2000].



Şekil 2.1: Lokal maksimum filtreleme aralıkları.

Maksimumdan farklı olarak 4 ana yönden herhangi birinde tanımlanan minimum radyometrik çözünürlüklü piksel geçerli kabul edilmiştir. Minimum belirleme adımlarını özetleyecek olursak; minimum sınırlarındaki boşlukları doldurulması, ölü sınırları ve fazlalıkları yok edilmesi, minimumu temsil eden sınırı tek piksel boyutuna indirgenmesi olarak sıralamıştır. Böylelikle ağaç tacının merkezi en yüksek piksel değerine sahip olanını bulunması ve ana yönlerde merkezden daha düşük değer içermesi durumunda tespit gerçekleştirilmiş, herhangi bir yönde artış yaşanırsa arama penceresi durdurulmuştur [Culvenor, 2002]. Radyometrik tepe arama penceresinin gösterimi Şekil 2.2’de gösterilmiştir [Culvenor, 2002].



Şekil 2.2: Radyometrik tepe arama yönlerinin gösterimi.

Lokal maksimum filtreleme yaklaşımını geliştirmek ve performansını artırmak için çeşitli algoritmalar üretilmiştir. Yükseklik modellerinde yapılan bir çalışmada iğne yapraklı ağaçların dairesel bir şekle sahip olduğundan ağaç tepelerinin en yüksek piksel değerli olanların yanında dairenin mekansal merkezi olduğunu tespit etmiştir.

Wang et al. [2004] yaptıkları çalışmada CASI sensöründen alınmış multispektral görüntüden Kanada’nın kuzeyinde ak ladin ağaçlarını tespit etmiştir. Ağaç sınırlarını belirlemek için önce PCA’yı (Principal Component Analysis) ile tek bir banda

uygulayarak korelasyonlu objeleri tek bileşen haline getirmiştir. Kenarların tespiti için Laplacian of Gaussian (LOG) operatörü kullanılmıştır. Sonuç olarak tam izole olmuş ağaç sınırları, birbirine dokunan küme ağaç taçları ve ağaçların oluşturduğu kümeler ortaya çıkmıştır. Ağaç tepelerini belirlemek için matematiksel morfolojik operatör olan jeodezik uzaklık transformasyonu uygulayarak iki piksel arasındaki uzaklık farklarından yapısal eleman (SE, Structure Element) hesaplanarak, 3x3'lük bir piksel penceresinde 1'e eşit olanlar değerlendirilmiştir. Yanlış olarak tespit edilen tepe noktaları için maksimum uzaklık metodu ile tekrar kesişimleri değerlendirilerek tepe noktalarının tespiti ve işaretlemesi yapılmıştır. İşaret Kontrollü Havza Modeli Segmentasyonu (Marker Controlled Watershed Segmentation) ile ağaçların taç çevrelerini belirlemiştirler [Wang et al., 2004].

2.1.2. Görüntü İkileştirme

İkileştirme (binarization); Gri düzeyli bir görüntüde, görmek istediğimiz nesnelere beyazın tonlarına, arka planı temsil edecek olan diğer objeleri siyahın tonlarına dönüştürüp temsili amaçlar. Ağaç taçlarının oluşturduğu parlak değerleri çevresindeki koyu alandan ayırt etmek için kullanılmaktadır.

Görüntüde histogramın eşik değeri belirleyerek, belirli seviyenin üzerindeki piksellerden ağaç gövdelerini saymak için kullanılmıştır [Dralle and Rudemo, 1997].

Laplace filtresi (LF) ve çift bakı tekniği (double-aspect technique) ile ağaç tepesinin ortasına denk gelen daha parlak tondaki pikseli tespit etmeyi amaçlamıştır [Walsworth and King, 1999]. Yüksek geçiren filtre yani LF, yüksek frekanslı verileri geliştirmeye, tepe ve çukurlar arasındaki farkları zenginleştirerek temsil etmiştir. Çift bakı tekniği ile sırt ve oyuntu alanlarındaki çizgileri oluşturan dört yönün çift hesaplanmasını sağlamaktadır. Bu sayede sırtların kesişimi tepe noktasını oyuntuların birleşimi ise kenarları temsil etmiş olur [Walsworth and King, 1999]. İki yöntemle belirlenen ağaç tepeleri ağaç sayısı tahmini ve hataları açısından değerlendirilmiştir.

Juho Pitkänen [2001] çalışmasında üç adet uyarlanabilir ikileştirme yöntemini karşılaştırmıştır [Pitkänen, 2001]. İlk yöntem olarak Mod Eşiklemesi (Mode Thresholding) Dralle ve Rudemo tarafından eşikleme için kullanılmıştır [Kaartinen et al., 2012], [Dralle and Rudemo, 1997]. Histogramdaki gri seviyeler Gauss filtresiyle yumuşatılır ve eşik değeri üzerindeki pikseller nesnemiz altında kalan pikseller ise

arka planı temsil etmektedir. Otsu'nun Eşikleme sınıfların gri seviyede ayırt edilebilirliği maksimuma çıkararak metodudur. Niblack'in Eşiklemesi yerel ortalama ve standart sapmaya dayanmaktadır. Son bir yöntemde Geliştirilmiş Entegre Fonksiyon Algoritması (Improved Integrated Function Algorithm) çekim türevleri (gradient magnitude) hesaplanarak kenar bulmayı amaçlamıştır [Szeliski, 2004]. Bu yöntemlerin sonucunda tespit etme yüzdesi %50 ila %96 arasında değişmiştir. Ağaçların seyrek dağıldığı görüntülerde arka planı daha etkili bir şekilde tespit edilebildiği için yüksek oranda ağaç yakalama oranı göstermiştir.

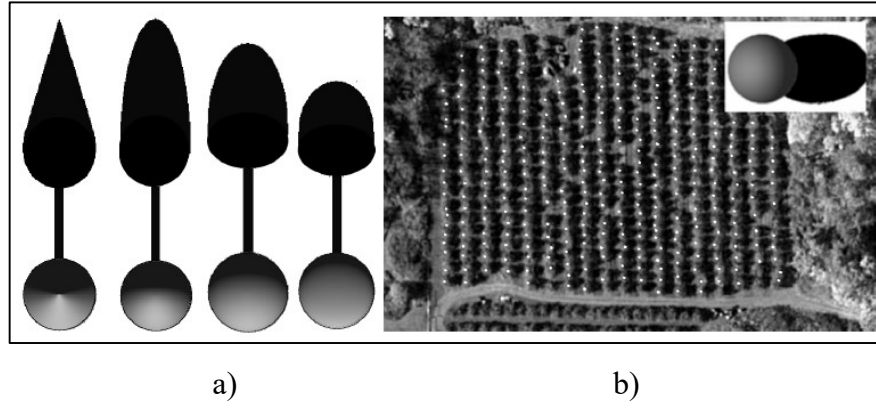
2.1.3. Şablon Eşleme

Şablon eşleme (template matching), nesne tanıma için kullanılan bir tekniktir. Şablon olarak adlandırılan ilgili nesnenin bir modeli asıl görüntüde aratılarak eşlemenin maksimum olduğu yerde varsayma temeline dayanmaktadır. Bir nesne şablonu oluşturmak için ilgili nesnenin örneklerini arama görüntüsünden elde etmektir.

Örnek tabanlı görüntü kıyaslama modeli çalışması; referans görüntünün diğer adıyla şablonun, ana görüntümüz arasındaki örtüşmelerinin öklid mesafesini ölçerek hesaplanmasıyla belirlenmektedir. Sentetik olarak üretilen modele veya görüntüden alınan örnekle asıl görüntü arasındaki korelasyon katsayısı hesaplanmasının sebebi iki matris arasındaki eşleşiminin ölçütüdür. Eşlemenin maksimum olduğu yerde nesnenin olduğu kabul edilmiştir [Pollock, 1996].

$$\frac{z^n}{a^n} + \frac{(x^2+y^2)^{\frac{n}{2}}}{b^n} = 1 \quad (2.1)$$

Eşitlik 2.1'de z değeri ağaç tepesinin ortasındaki dikey eksen, a değeri elipsoidin yüksekliğinin yarısı, b değeri yarıçapın yarısını ve n ağaç tacının şeklinin parametresidir [Erikson, 2004]. Güneşin yüksekliği ve azimut açısının hesaplanmasıyla bantta elde edilen spektral değerleri hesaba katılarak model görüntü oluşturulmuştur. Şekil 2.3'te oluşturulan sentetik ağaç modeli ve gölgesi ile tespit edilen ağaçlar verilmiştir [Gomes et al., 2016].



Şekil 2.3: Şablon eşleme metodu gösterimi, a) sentetik ağaç modeli ve gölgesinin oluşumu ve b) tespit edilen ağaçların gösterimi.

Sentetik olarak üretilmiş olan elipsoitleri şablon olarak kabul edilmiştir. Görüntüde ağaç tacıyla lokal maksimumun en yüksek korelasyona sahip olduğu yerde aynı ağaç şekline aday olmuştur. Böylece bir şablon ile temsil edilmiştir. Tarp-Johansen, 2002 yılında her bir görüntü içerisinde tam ortaya denk gelecek şekilde şablonlar oluşturularak, bu şablon olarak seçilen alanın görüntüsünü iyileştirmiş ve her bir şablon için korelasyon görüntüleri hazırlamıştır. Böylece her şablon bir ağaç görüntüsünün ve gölgesinin çeşitli varyasyonlarını içermiştir. Bu görüntülerde ki kameranın çekim açısı ve güneşin geliş açısına göre gövdenin ve gölgenin düzlemdeki boyu ile gerçek boyu arasındaki ilişki hesaplanmıştır [Tarp-Johansen, 2002].

2.1.4. Ölçek Analizi

Ölçek teorisi farklı görüntülerdeki yapıları analiz etmek için kullanılan matematiksel bir araçtır. Görüntüyü Gauss çekirdeği (gaussian kernel) algoritmalarıyla yumuşatarak farklı ölçekler elde edilerek çalışmalar yapılmıştır [Lindeberg, 1998]. Ağaç taç boyutları değişken olduğu ve görüntü çözünürlüğü belirli olduğu için küçük taçlı ağaçlar algılanamamaktadır. Büyük taçlı ağaçlar birkaç ağaç olarak tanımlanmaktadır [Lindeberg, 1998], [Erikson, 2004].

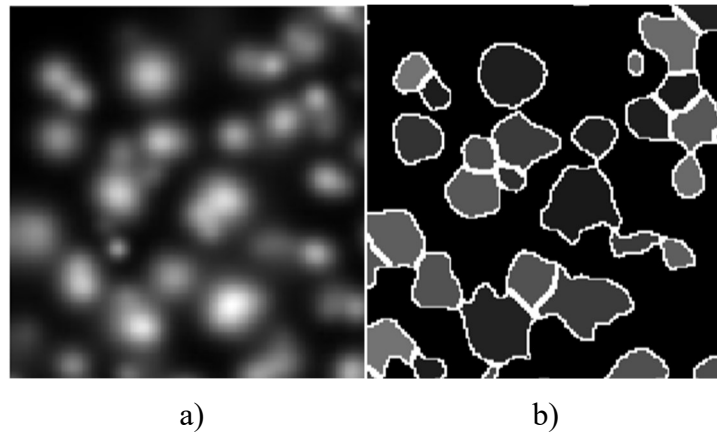
Ağaç tacının segmente edilmesini ölçek-uzay teorisine dayandırılmıştır. Kızılötesi görüntüyü yumuşatarak ağaç tacının konturunu yuvarlamak ve birbirine yakın parçaları birleştirmesini sağlanmıştır [Brandtberg and Walter, 1998]. Lindeberg [1998] tarafından sunulan bir ölçek hesaplama fonksiyonuyla yumuşatma faktörleri

belirlenmiştir. Şekil 2.4'te yumuşatma uygulanmış görüntü verilmiştir [Erikson, 2004].



Şekil 2.4: Ölçek Analizi ile Yumuşatma Faktörlerinin Uygulanması.

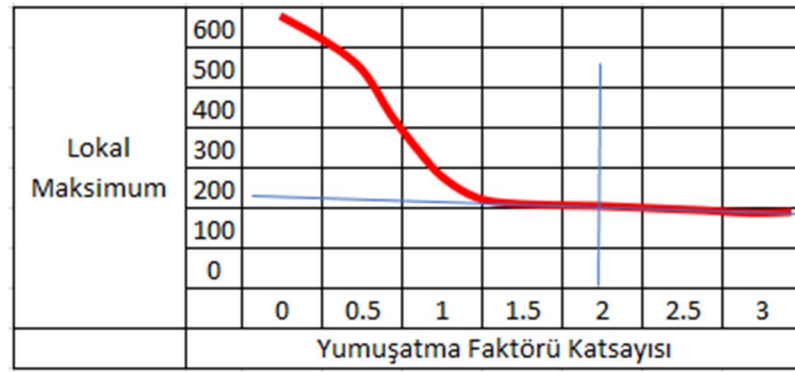
Ağaç tacını belirlemek için maksimum türev çekiminin (gradient magnitude) ve türev yönüne bakarak tanımlamıştır [Brandtberg and Walter, 1998]. Bu metoda maksimum olmayan baskılama (non-maximum suppression) denmektedir. Belirlenen taç sınırlarından oluşan boşlukları eğriliğe göre başlangıç noktasını bitiş ile birleştirme yaklaşımı yuvarlama, genişletme ve çembere dönüşüm ve birleştirme ile yapmıştır. Tacın segmentasyonu eşikleme metodu ile üretmiştir. Üretilen ağaçların taç sınırları Şekil 2.5'te gösterilmiştir [Brandtberg and Walter, 1998].



Şekil 2.5: Eşikleme sonrası ağaçların taç sınırlarının oluşturulması, a) yumuşatılmış görüntü ve b) taç sınırlarının gösterimi.

Pouliot et al. [2002] üç farklı orman alanında hava görüntüleri kullanarak çalışmada ISODATA algoritması kullanarak 3 bantta 100 küme oluşturarak iki kümeye iğne yapraklı ve iğne yapraklı olmayan olarak sınıflandırmıştır. 3x3'lük

yapısal elemanı (SE) kullanarak görüntüyü maskeleyip taç arasındaki boşlukları doldurmuştur. Lokal maksimum tespiti ile Gauss filtresiyle yumuşatma arasındaki ilişkiyi optimum ölçek tanımlanması için kullanmıştır [Pouliot et al., 2002]. Görüntüyü yumuşattıkça lokal maksimum sayısı hızla düşmüştür. Taç içindeki dallanma lokal maksimumun ana kaynağı olmuştur. Daha fazla yumuşatma küçük taçlı ağaçların yok olmasına sebep olur bu nedenle optimum dengeyi sağlamak gerekeceğini belirtmiştir. Optimum ölçek seçiminin ilk adımını görsel olarak değerlendirme yaparak lokal maksimum yumuşatma ilişkisini belirlenmesidir. Lokal maksimumların sayısının yumuşatmayla değişiminin olmadığı yerde uyum sağlamış olur yani; sondan başlayan çizgiyle eğrinin ayrıldığı noktada LM yumuşatma miktarı belirlenmiş olur. Şekil 2.6'da yumuşatma faktörünün lokal maksimum tespitine etkisi gösterilmiştir [Pouliot et al., 2002].



Şekil 2.6: Yumuşatma faktörünün lokal maksimum tespitine etkisi.

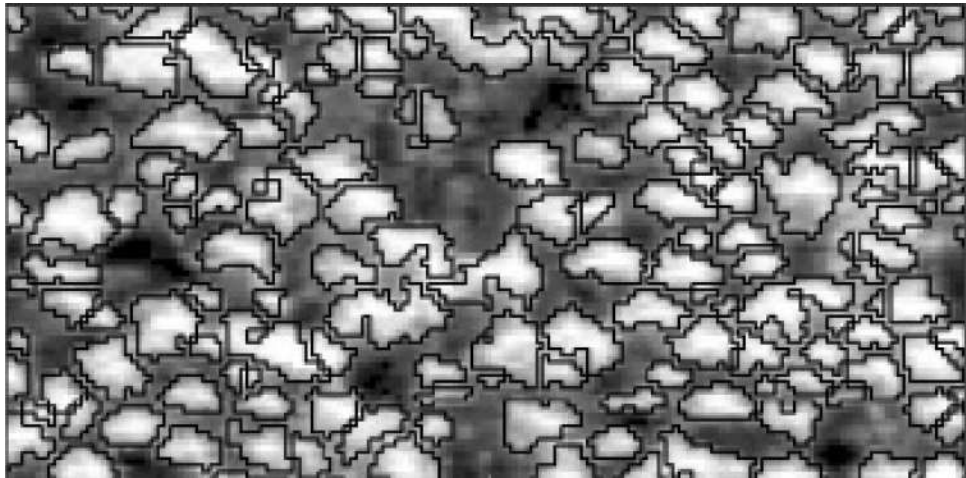
2.2. Ağaç Taçı Belirleme Algoritmaları

Hava fotoğraflarında yeryüzüne paralel bir şekilde bakış açısı sunmaktadır. Bu fotoğraflarda ağaçların gövdesini görmek yerine üstten bakarak tacını tespit edebilmekteyiz. Ağaçların taçları birbirine bitişik veya ayrık vaziyette bulunabilir. Tacı ayırt etmek için literatürde çeşitli yöntemler uygulanmıştır. Önceden yapılan çalışmalar ve çeşitli yöntemler alt başlıklarda değinilmiştir.

2.2.1. Vadi Takibi Algoritması

Vadi takibi algoritması (Valley Following Algorithm), MEIS-II sensöründen elde edilmiş görüntülerde kızıl çam ve ladin ağaçlarının olduğu bir alanda uygulanmıştır. Kızılötesi bantta üç boyutlu görüntü oluşturularak pikselleri parlak olan ağaç tacını, gölgeli olanlar arka planı temsiliyle dağlar arasındaki vadiler ayırt etmeyi sağlamıştır. Belirli bir program çerçevesinde saat yönünde hareket ile vadilerin arasındaki küçük boşlukları köprüleyen kurallar uygulanmasıyla taç ayrımları yapmıştır. Vadi tamamen izole oluncaya kadar arama devam ederek, ağaç kümeleri birbirinden tamamen ayrıldığında durdurularak kural tabanlı bir sistem oluşturmuştur [Gougeon, 1995].

Birinci kural; taç belirleme saat yönünde olur ve taç temelde yuvarlak olarak kabul edilir, kesikli değildir, tepeye giriş yoktur ve dallar dışarı taşamaz. İkincisi saat yönünün 45 derece taç sınırını takip ederken dönebilirse de birinci kural yine öncelik sahibidir. Üçüncü kural saat yönünde gidilirken 90 derece dönüşlerde vadi takibi olup olmadığı ve boşlukların doldurulması gerektiğidir. Dördüncüsü 135 derece dönüşlerde taç ayrıldığını gösterir ve 3 piksele kadar boşluk kontrolü yapılmalıdır. Beşinci kuralsa saat yönünün tersine dönmeyle alakalı olup ayrılmamış iki tacın varlığını göstermesidir. Bu durumda vadi takip ediyorsa üçüncü ve dördüncü seviye kurallar uygulanır boşluklar doldurulur ve değilse bütün girişler silinir [Gougeon, 1995]. Bu kuralların sonunda taç tamamlanmış olur. Şekil 2.7'de vadi takibi algoritması sonucu oluşan taçlar gösterilmiştir [Gougeon and Leckie, 2006].

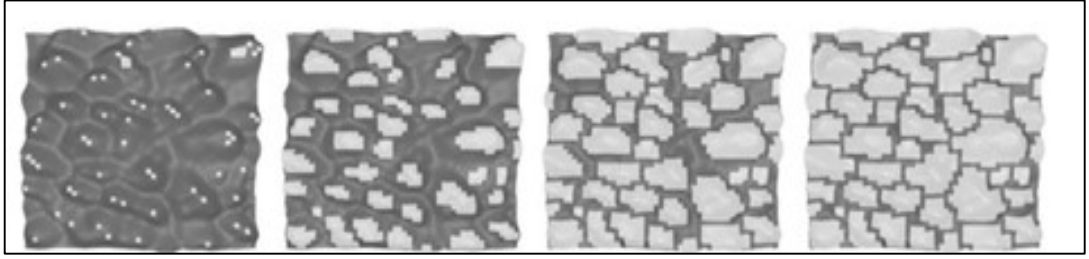


Şekil 2.7: Vadi takibi algoritması sonucu oluşan taçlar.

2.2.2. Alan Büyütme Algoritması

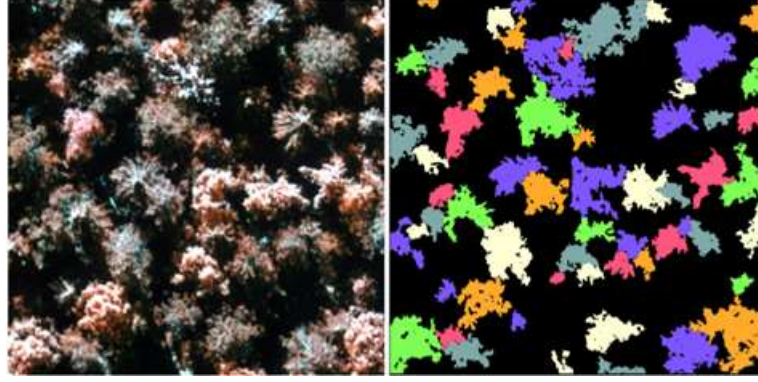
Alan büyütme algoritması (Region Growing Algorithm), görüntü içerisindeki nesnelere tanıyıp segmente eden bir yöntemdir. Belirlenen bir tepe noktasından başlayarak komşu pikseller incelenerek ve merkez piksele benziyorsa büyüme yapılır ve aynı bölgeye dahil edilmeli kuralına dayanmaktadır. Kayda değer bir değişim olduğu zaman veya belirlenen kriterlere uymayan piksellere gelince büyüme durdurulur ve segmentasyon bitirilmelidir [Ke and Quackenbush, 2011]. Şekil 2.8’de alan büyütme algoritması işleyişi gösterilmiştir [Culvenor, 2002].

Lokal maksimum kullanılarak tepe noktalarını bulan çalışmalarda, ağaç tacının belirlenmesinde ağaç taç pikselleri lokal maksimumun ortalama parlaklığını geçmemesi ve eşik değerden düşük olmamasıyla iki bölgenin üst üste kesişmemesi şartlarını sağladığında taç belirlenmesi yapılabilmektedir [Culvenor, 2002].



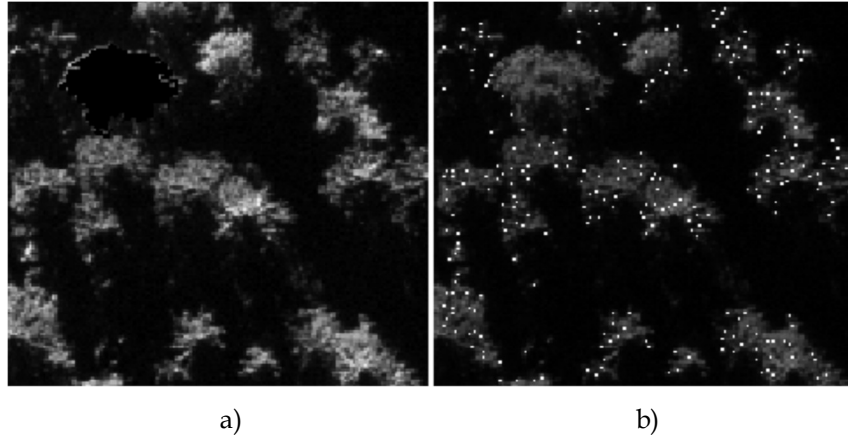
Şekil 2.8: Alan büyütme algoritması k değerine göre işleyişi.

Brownian hareketi segmentasyonu ile ağaçların taç sınırları arasındaki koyu bölgelerinin olduğunu varsayılmıştır. Bu hareket bir sıvı içinde hareket eden parçacığın düzensiz sürekli yoludur diye tanımlanmıştır. Parçacık görüntüde bir yerden başlayacaktır. Tüm ağaçları dolaştığına emin olabilmek için her ağaç için bir nokta tespit edilmiştir. Bu lokal maksimum noktası tespit edilmeden önce görüntü Gauss filtresiyle yumuşatılmıştır. Lokal maksimum noktası Brownian hareketine göre genişletilerek ağaçların taçları segmente edilmiş olur. Şekil 2.9’da Brownian hareketine göre segmentasyon sonucu oluşan taçların görüntüsü verilmiştir [Erikson, 2004].



Şekil 2.9: Brownian hareketine göre segmentasyon görüntüsü.

Bulanık küme teorisi, bir üye tüm kümelere belirli bir derece aittir mantığına dayanmaktadır. Derece sıfır ve bir arasında değerleri alabilen üyelik fonksiyonuna göre üyelik kararı verir. Üyelik olması bir ile olmaması sıfırla belirlenmiştir. Çalışmasında görüntüde 3x3'lük arama penceresiyle belirlenen LM'ların tespitinin yapılmasının ardından bulanık eşikleme algoritmasıyla eşik değeri uygulanarak obje ve arka planı ayırmıştır. Şekil 2.10'da üyelik fonksiyonuna göre belirlenen ağaç içerisindeki noktaları göstermektedir [Erikson, 2004].

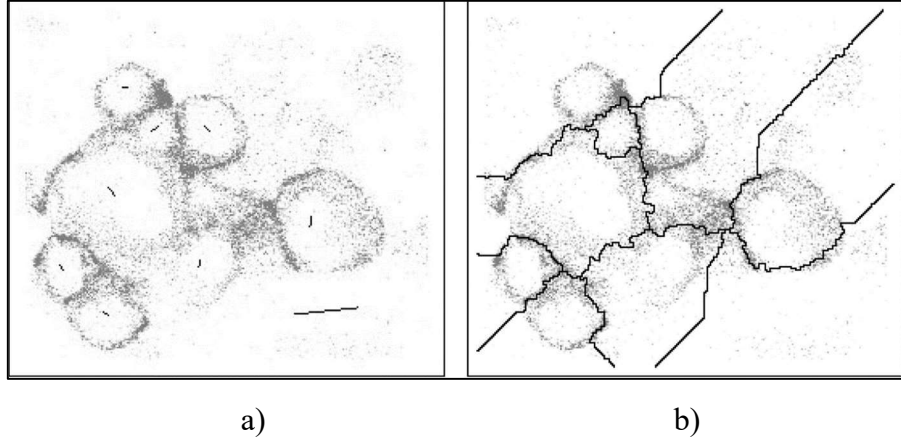


Şekil 2.10: Üyelik fonksiyonuna göre belirlenen ağaç taç noktaları görüntüsü, a) orijinal görüntü ve b) ağırlığa göre belirlenen ağaç taç noktaları görüntüsü.

2.2.3. Havza Segmentasyon Algoritması

Havza modeli algoritması (Watershed Algoritm), segmentasyonu yapılan görüntünün piksel parlaklık değerini pikselin yüksekliğini temsil edecek bir topoğrafik yüzey olarak kabul eden bir görüntüdür [Ke and Quackenbush, 2011]. Görüntünün gri

ton değerleri ters çevrilerek maksimumlar minimum olarak sağlanmaktadır. Sisteme su verilirse her havzanın ayrı olacak şekilde ilerine doldurarak birleşmesinin önlenmesiyle segmentasyon yapılmış olur [Kavzoglu and Tonbul, 2017]. Sonuç olarak bu kapalı alanlar nesnenin istenen sınırları olmaktadır [Breen et al., 2000]. Şekil 2.11’de havza segmentasyonu uygulanarak nesnelerin sınırları çıkartılmıştır [Beare, 2006].



Şekil 2.11: Havza segmentasyonu ile nesne sınırları çıkarımı, a) orijinal görüntü ve b) havza segmentasyonu ile oluşan görüntü.

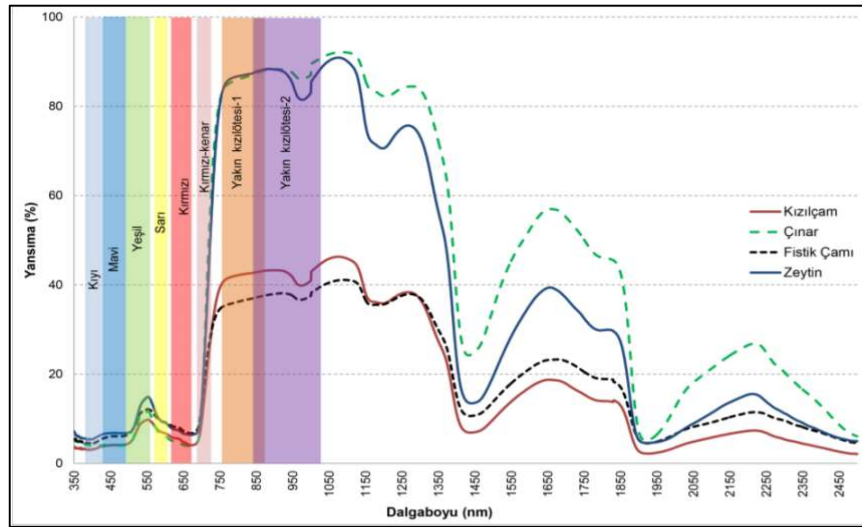
Ağaç tacı ve tepe noktalarını tespit edilmesi sorununu çözümünde işaret kontrollü havza segmentasyonu yapılabilmektedir. Bu kısımda görüntünün tamamına değil tek tek nesnelere gerçekleştirilmiştir. Bu yöntemin doğru olabilmesinin sebebi genel havza modeli yerine işaretlerle ağaç tepelerini belirtilerek doğru kümelerin segmente olması sağlanmıştır. Diğer doğruluğu artıran faktör ise nesne sınırları arasındaki korelasyonun olmasıdır. Yapısal eleman sayesinde jeodezik mesafe hesaplanıp her ağacın etki alanlarının belirlenmiş olur [Wang et al., 2004].

2.2.4 Vejetasyon İndeksleri

Sensörlerden elde edilen farklı spektral bantlardaki görüntülerin matematiksel kombinasyonları ve dönüşümleri ile yeşil bitkilerin diğer nesnelere ayırt edilerek farklı görünmelerinin sağlanmasını vejetasyon indeksleriyle sağlanır. Bu ayırt edilebilirliği sağlayan ise elektro manyetik spektrumda farklı dalga boylarında farklı

yansımalar elde edilir. Bunun sebebi vejetasyon alanlar ile diğerk yüzeylerin kimyasal ve morfolojik yapısının farklı olmasıdır [Çölkesen ve Yomralıoğlu, 2014].

Vejetasyon indeksleri multispektral uydu görüntülerinde yaygın şekilde kullanılarak canlı bitki örtüsü hakkında bilgi alma çalışmalarında kullanılmaktadır. Son zamanlarda insansız hava araçlarından elde edilen çok bantlı görüntülerin değerlendirilmesi için kullanılmaktadır. Bu görüntülere uygulanan indeksler sayesinde arazi örtüsü tespiti ve nesnelerin farklı veya benzer spektral özelliklerini kullanarak tespit etmeyi sağlamaktadır. Şekil 2.12’de kızılçam, çınar, fıstık çamı ve zeytin ağaçlarının dalga boyu aralıkları ve verdiği yansıma değeri gösterilmiştir [Çölkesen ve Yomralıoğlu, 2014].



Şekil 2.12: Farklı ağaç türlerinde dalga boyu ve yansıma değeri.

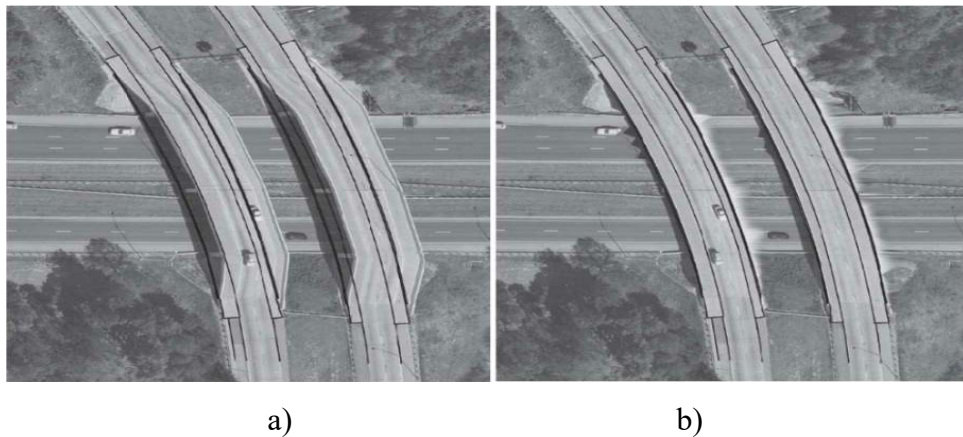
Kızılçam ile zeytin ağacının görüntülerde birbirinden ayırt etmenin yolu yakın kızılötesi bandının olduğu 750 nm ile 850 nm spektral aralığında yansıma değerlerine bakarak ayırt edilebilir. Kızılçam %45 yansıma değerine ulaşırken zeytin ağacı %80’den fazla yansıma göstermektedir. Kızılötesi bantlar ve görünür dalga boylarındaki bantların oranlamalarıyla üreteceğimiz vejetasyon indeksleri sayesinde görüntüdeki ağaçlar ve diğerk nesneler ayırt edilmektedir.

3. ORTOFOTO VE SAYISAL ARAZİ MODELİ

Fotogrametrinin temel özelliği yeryüzündeki nesnelerin fotoğraflarının çekilerek dokunulmadan cismin boyutlarını ve yerini belirleyebilmektir. Oluşturulan modelin koordinatlarını arazi üzerinde temsilini en iyi şekilde sağlayacak koordinat düzlemine geçirilmesi gereklidir. Günümüzde sayısal diğer deyişle dijital fotogrametri kullanılmaktadır. Pikseller görüntüyü oluşturan en küçük objeler olup iki boyutta bilgisayarlı görüş imkânı sunmaktadır [Wolf et al., 2014].

Otomatik değerlendirme yöntemiyle iki fotoğrafın ortak kısımlarının birbiri arasındaki korelasyonu hesaplanarak eşleştirilmesiyle yöneltme ve bağlama işlemleri yapılmaktadır. Demet dengelemesiyle fotoğrafların bağlama noktası belirlenerek iç yöneltmesi yapılır. Görüntünün üzerinde belirlenen yer kontrol noktalarının koordinatlarıyla dış yöneltme işlemi yapılır. Otomatik olarak hesaplamaları yapan programlar sayesinde arazinin nokta bulutu, ortofotosu ve arazi modelleri elde edilebilmektedir.

Ortofoto üretimi için hava fotoğraflarının iç yöneltmesi, fotoğrafların çekim koordinatları, çekim anındaki dönüklük değerleri ve sayısal yükseklik modeli gereklidir. Ortorektifikasyon işlemiyle fotoğraflardaki yüzeydeki kaymaların düzeltilmesi yapılmaktadır. Fotoğraftaki nesnelerin eğik görünüşü veya konumunun yanlışlıklarını düzelterek dik konumda görüşünün sağlanmasıyla ortofoto üretilir. Şekil 3.1’de ortorektifikasyon yapılmış ve yapılmamış örnek görüntü verilmiştir [Wolf et al., 2014].

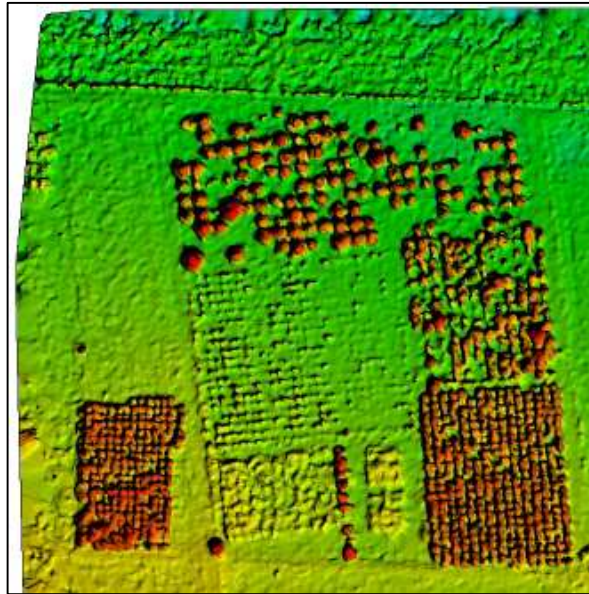


Şekil 3.1: Ortofoto üretimi aşamasında ortorektifikasyon, a) Ortorektifiye edilmemiş görüntü ve b) Ortorektifiye edilmiş görüntü.

İnsanlar eskiden beri arazi üzerindeki varlıkları temsil edecek bir örneğini yapmaya çalışmıştır. En kısa tanımıyla model 'Bir nesnenin temsili için gerçekliğin ölçeklenmiş ve anlaşılabilir haline dönüştürülmüş şeklidir' [Keçeci, 2011]. Günümüzde sayısal arazi ve yüzey modeli üretme konusunda çalışmalar yapılmaktadır. Arazi yüzeyleri matematiksel formüllerle veya grafik temsilleriyle gösterilebilir [Keçeci, 2011]. Araziyi oluşturan sonlu sayıdaki noktanın koordinatlarıyla şekil ve topoğrafik durumu hakkında bilgi üretilebilir [Yüksekkaya, 2006]. Koordinatlarla temsil edilmesi için bir program ile desteklenmelidir.

Sayısal modelleri oluşturmak üç aşama ile mümkün olmaktadır. Verilerin toplanması, verilerin işlenmesi ve uygulamadan oluşmaktadır [Weidner, 1997]. Yersel veya fotogrametrik yöntemlerle veya hazır olan haritalardan sayısallaştırmayla elde edilmiş rastgele noktalar bilgisayara aktarılıp kaydedilmesi verilerin toplanmasıdır. Veriler işlenirken modelleme yöntemi seçilir ve en ideal enterpolasyon yöntemi ile yeni noktalar üretilir. Yeni üretilen ve var olan noktalardan üretilecek olan katı model, yükseklik eğrisi gibi temsillerde uygulamayı aşamasıdır [Köse, 2006].

Sayısal arazi ve yüzey modelleri uydu görüntüleri, fotoğraf makineleri, lazer tarayıcılar veya yersel ölçüm aletlerinden elde edilen verilerin değerlendirilmesiyle elde edilebilmektedir [Serifoglu et al., 2016]. Sayısal arazi modeli, sayısal yüzey modeli ve normalize edilmiş sayısal yüzey modeli ile yüzeylerimiz temsil edilebilir. Şekil 3.2'de sayısal yüzey modeli görüntüsü verilmiştir.



Şekil 3.2: Sayısal yüzey modeli görüntüsü.

4. MORFOLOJİK OPERATÖRLER

Canlı veya cansız varlıkların görünüş şekline biyoloji biliminde morfoloji denilmektedir [Karhan vd., 2011]. Görüntüde şekillerin arasındaki ilişki, uzaklık, süreklilik gibi topolojik yapı matematiksel morfolojiyi tanımlar. Bir görüntüde sınırları, genel yapıyı iskelet halinin çıkartılmasını ve gürültü giderimi işlemlerine matematiksel morfoloji işlemleri denilmektedir [Karhan vd., 2011]. Morfolojik işlemler görüntü işleme alanında sıklıkla kullanılmaktadır [Atalı vd., 2016]. Bu işlemlerin amacı verilerin gürültü, tutarsızlıkların azaltılması ve temel şekli koruyan aynı zamanda görüntünün basitleştirme eğilimindedir [Haralick vd., 1987].

Göğüs kanserinin mamogramlar üzerinden tespiti çalışmasında görüntü üzerinden bilgisayar destekli çalışma ortamında segmentasyon yaparak aranan bölgelerin dışında kalan alanların dışarıda tutulmasında morfolojik operatörlerden yararlanmıştır [Özşen, 2004]. Alyuvar hücrelerinin kızılötesi ışınlarını soğurmasından yararlanarak görüntülenmesi çalışmalarında açılma, kapanma ve erozyon filtreleri uygulayarak damar ağının görüntülenmesini sağlanmıştır [Boyras ve Yıldız, 2016].

Morfolojik operatörler kullanılarak araç plaka tanıma sistemleri konusunda görüntü üzerinde çeşitli dönüşüm ve işlemler gerçekleştirmiştir. Keskin ve birleşik objelerin resimde birbirinden ayırmak ve yumuşak hatlar oluşturmak için morfolojik operatörler görüntü çözünürlüğü ve araç mesafesi dikkate alınarak belirlenip uygulanmıştır [Boztoprak vd., 2007].

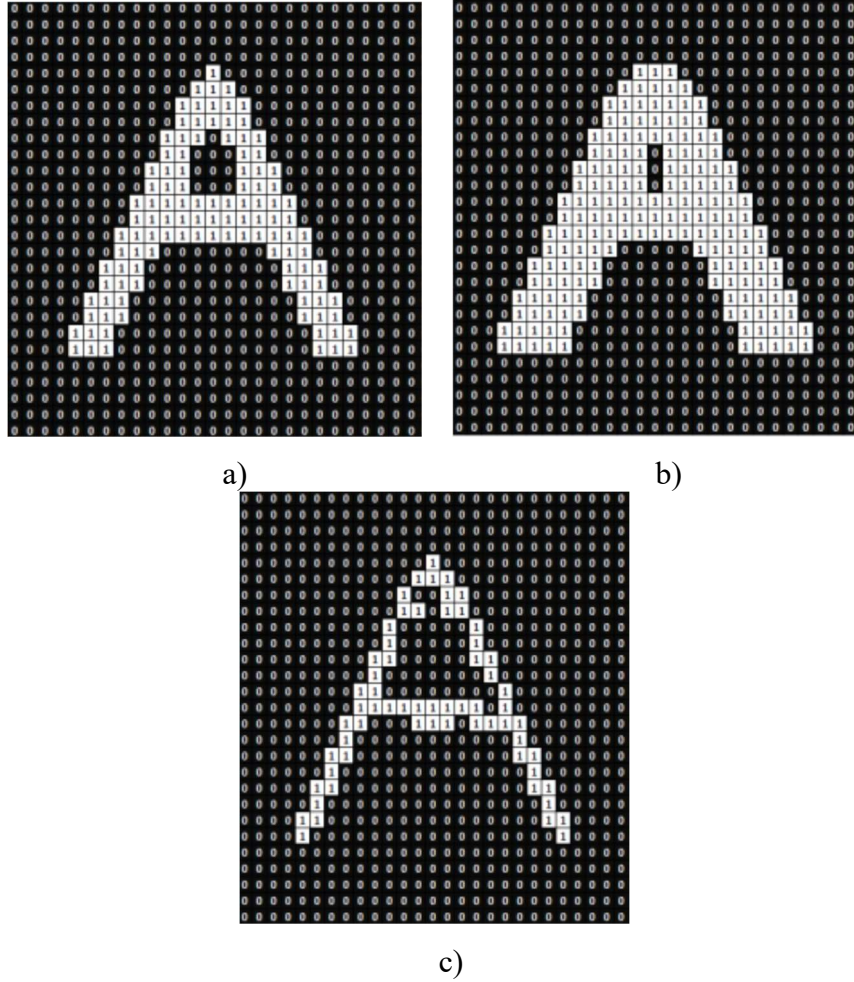
Renkli görüntüye morfolojik renk gradyan, homotopik iskelet ve çıkartım algoritması gibi özel filtreler uygulayarak renkli görüntülerin sınıflandırılmasını ve obje çıkarımı yapılmaktadır [Zaharescu, 2009].

Lefèvre et al. [2010] tarafından uzaktan algılanmış çok yüksek çözünürlüklü görüntülerde bazı özel morfolojik filtrelemeler kullanarak bina çıkartımı için görüntü ikilileştirme ve kümeleme metotlarını barındıran çalışma yapılmıştır.

Morfoloji sayısal ikili görüntülerde kullanılmaya başlanmış sonrasında gri düzeyli görüntülere adapte edilmiştir. Matematiksel morfolojide ofset teorisi ile ikili veya gri tonlu görüntülerdeki kümeler şekilleri temsil eder. Morfolojik operatörler yapısal eleman (structure element) yardımıyla çalışır.

Dilatasyon (genişleme) operatörü vektör ilavesi kullanarak iki seti birleştiren morfolojik operatördür. Görüntüdeki objenin içerisindeki boşlukları ve çatlakları SE

boyutu kadar doldurmaya yarar. Erozyon (aşınma) operatörü görüntüdeki SE kadar küçük olan nesnelere çıkarmak ve objeleri küçültebilir, inceltmektedir. Şekil 4.1’de görüntünün matris üzerinde erozyon ve dilatasyon operatörünün uygulanması işleminin görüntüsü verilmiştir [Atalı vd., 2016].



Şekil 4.1: Dilatasyon ve erozyon operatörlerin matris işlemleri görüntüsü, a) orijinal görüntü, b) dilatasyon operatörü işlemi görüntüsü, c) erozyon operatörü işlemi görüntüsü.

Matematiksel ifadeleri şu şekildedir, X görüntü ve SE 'yi B olarak ifade edersek; $X \ominus B$ 'yi erozyon, $X \oplus B$ 'yi dilatasyon olarak tanımlar [Hlaváč, 2019]. Şekil 4.2’de morfolojik operatörlerin çalışması a) dilatasyon operatörü, b) erozyon operatörü görüntüsü verilmiştir [Hlaváč, 2019].



a)



b)

Şekil 4.2: Morfolojik operatörlerin çalışması, a) dilatasyon operatörü ve b) erozyon operatörü.

Uygulamada erozyon ve dilatasyon çift halinde kullanılmalıdır. Görüntünün dilatasyonu sonrasında erozyonu ya da ilk erozyona uğratılmış görüntünün dilatasyonu yapılmalıdır. Üst üste yapılan erozyon ya da dilatasyon objelerin şekillerinin geometrik olarak bozulmasına yol açar [Haralick et al., 1987].

Açılma filtresi önce erozyon ve dilatasyon operatörlerinin kullanılmasıyla, kapanma filtresi önce dilatasyon sonra erozyon operatörünün uygulanmasıyla çalışır. Bir görüntünün açılmasıyla kenarların kırıldığı kontürlerin yumuşatıldığı ve küçük objelerin ortadan kalktığı görülür. Bir görüntüyü SE ile kapatmak kontürleri yumuşatır, dar araları ve körfezleri birleştirir, küçük delikleri ve boşlukları doldurur [Haralick et al., 1987]. Matematiksel olarak açılmayı $A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$, kapanma filtresini $A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$ ile gösteririz [Gürbüz, 2015]. Şekil 4.3'de morfolojik

filtrelerin uygulanış görüntüleri a) açılma filtresi ve b) kapanma filtresini göstermektedir [Hlaváč, 2019].



a)



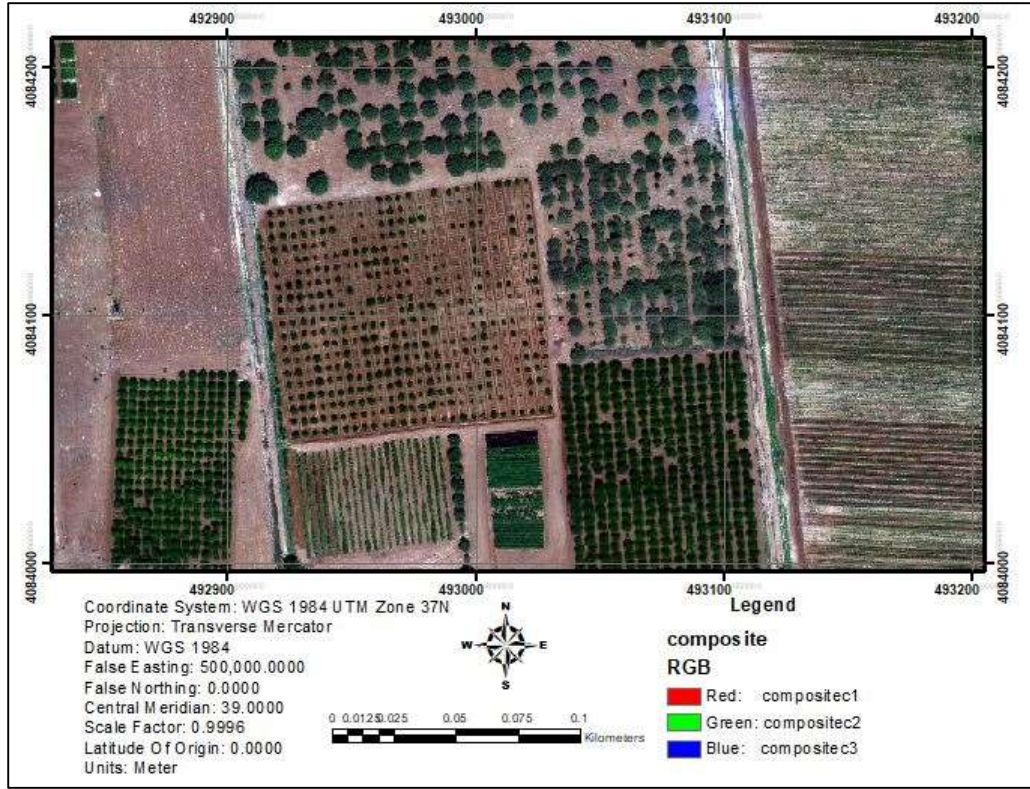
b)

Şekil 4.3: Morfolojik filtrelerin uygulanış görüntüsü, a) açılma filtresi ve b) kapanma filtresi.

Açılma filtresi uygulanmış görüntüde ana obje dışında parazitlerin giderilmesi sağlanmıştır. Kapanma filtresi obje içerisinde bulunan açıklıkların tamamlanmasını sağlamıştır.

5. ÇALIŞMA ALANI, VERİ VE METODOLOJİ

Bu tez veri seti olarak Şanlıurfa İli Harran İlçesinde bulunan nar ağacı bahçesinin hava fotoğrafları kullanılmıştır. TÜBİTAK tarafından sağlanan görüntülerin Pix4D yazılımının deneme sürümünde 2625 adet fotoğrafın 2250 adedi kullanılarak 37,72 hektarlık bir alanı kapsayan ortofoto ve sayısal modelleri üretilmiştir. Her bir bant için ortofotolar ayrı ayrı üretilmiştir. Sayısal arazi modeli ile sayısal yüzey modeli üretilerek nokta bulutları elde edilmiştir. Çalışma alanı olarak belirlenen birinci ve ikinci kısmın ana görüntüden her bant için ayrı ayrı kesilerek farklı dosyalar halinde saklanmıştır. Şekil 5.1’de çalışma alanının renkli ortofotosu gösterilmiştir.

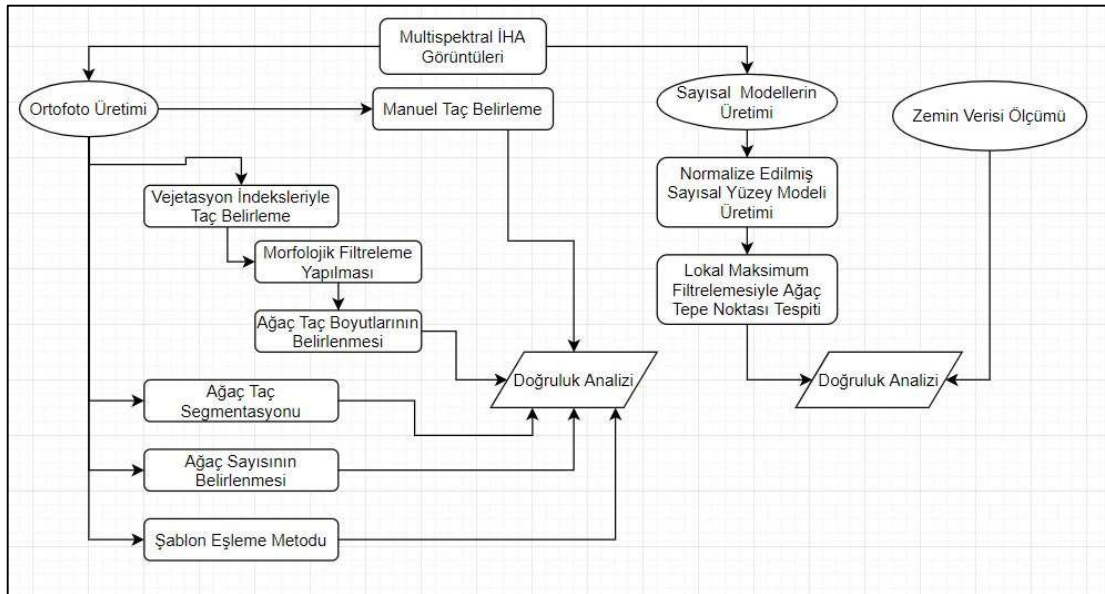


Şekil 5.1: Çalışma Alanının Ortofotosu (Kırmızı, Yeşil ve Mavi bantların birleşimi).

Tez kapsamında kullanılan Pix4D, ArcGIS, eCognition, MATLAB, FUSION ve MS Office yazılımların uygulamayı gerçekleştirecek donanıma sahip olan çalışma ortamı uygun bilgisayarda hazırlanmıştır [Web 1], [Web 2], [Web 3], [Web 4], [Web 5]. Intel® Core™ i7-7770HQ CPU @ 2.80Ghz 16 GB RAM, NVIDIA GeForce GTX

1050 4 GB, 64 BIT Windows 10 Pro, donanım ve işletim sistemine sahip bilgisayarda yazılımların kurulumu gerçekleştirilmiştir.

İnsansız hava aracına monte edilmiş multispektral kameradan 5 bant olarak kaydedilmiş görüntülerin ortofotosunun yapılması ve sayısal arazi ve yüzey modellerinin üretilmesi, normalize edilmiş yüzey modelinin üretilmesi, vejetasyon indeksleriyle taç belirleme, morfolojik filtreleme işleminin yapılması, lokal maksimum filtrelemeyle ağaç tepe noktalarının tespiti, ağaç sayısının belirlenmesi, ağaç taç boyutlarının belirlenmesi, ağaç taç segmentasyonları ve şablon eşleme yöntemi olarak 9 aşamadır. Bu işlemlerin referans verileri ile doğruluk karşılaştırması yapılmıştır. Tüm metodolojiyi gösteren iş akış şeması Şekil 5.2' de sunulmuştur.



Şekil 5.2: İş akışı şeması.

6. UYGULAMA

Vejetasyon indeksleri uygulayacağımız her bant MATLAB yazılımına yüklenerek bantların birbiriyle olan işlemleri sonucunda indeksler tespit edilmiştir. Oluşan görüntüler binary olarak kayıt edilmiştir. Görüntülerdeki tutarsızlıkların ve istenmeyen objelerin giderilmesi için açılma ve kapanma morfolojik filtreleri kullanılmıştır.

Şablon eşleme metodu uygulamasında eCognition yazılımı kullanılmıştır. Normalize Edilmiş Sayısal Yüzey Modelinde (nSYM) lokal maksimum tespiti ve sayısı FUSION yazılımı yardımıyla belirlenmiştir. Ağaç taç segmentasyonu Otsu Metodu, k-ortalama kümelemesi ve ton doygunluk değeri (HSV) dönüşümü ile gerçekleştirilmiştir.

Ağaçların taçları ArcGIS yazılımında renkli görüntülerin manuel sayısallaştırması ile taç sınırları belirlenmiştir. Arazide belirlenen ağaçların bir kısmının yükseklikleri ve taç çapları metre ile ölçülerek referans veri oluşturulmuştur. Ağaç yüksekliklerinin tespiti sahada metreyle ölçülerek yapılmıştır.

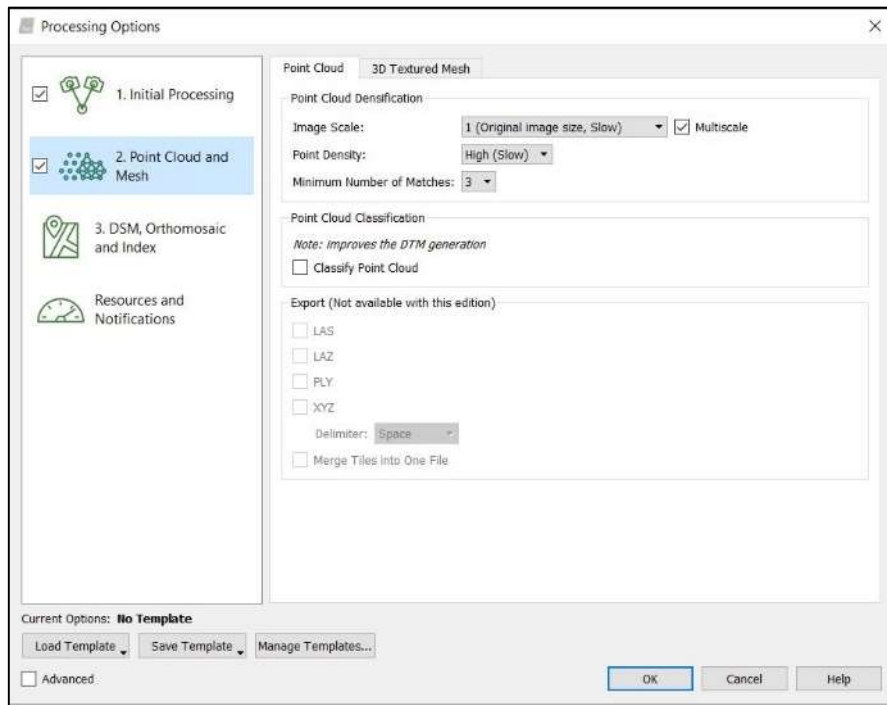
Vejetasyon indeksleriyle elde edilen veriler MATLAB yazılımında manuel sayısallaştırılmış görüntülere göre değerlendirilmesi piksel tabanlı olarak çalışan bir fonksiyon ile doğru pozitif, yanlış pozitif, doğru negatif ve yanlış negatif oranları belirlenmiştir. Ağaç sayısının belirlenmesi ve tespit oranını belirlenmesi çalışmasında MATLAB ve FUSION yazılımlarından elde edilen sonuçları değerlendirilmiştir.

6.1. Ortofoto Üretimi ve Sayısal Arazi Modeli

Pix4D tam otomatik işlem yapabilen bir programdır. Her fotoğraftan belirlediği noktaları anahtar nokta olarak adlandırır. Doğru şekilde birleştirdiği her noktayı yeniden yapılandırarak üç boyutlu görüş imkânı verir. İnsansız hava aracında monte edilmiş kameradan elde edilen görüntülerin 2625 adet fotoğrafın programa yüklenmesi ile koordinat sistemin belirlenmesi matematiksel bir temel üzerine oturtulması ile başlanmıştır. WGS 84 UTM Zone 37 diliminde projeksiyon tanımı yapılmıştır. Kameranın iç yönelme elemanları ve kamera kalibrasyon bilgilerini program otomatik olarak tespit etmiştir. Fotoğraf çekim noktaları koordinatları ve dönüklükleri verileriyle fotoğrafların karşılıklı yönelme işlemi tamamlanmıştır.

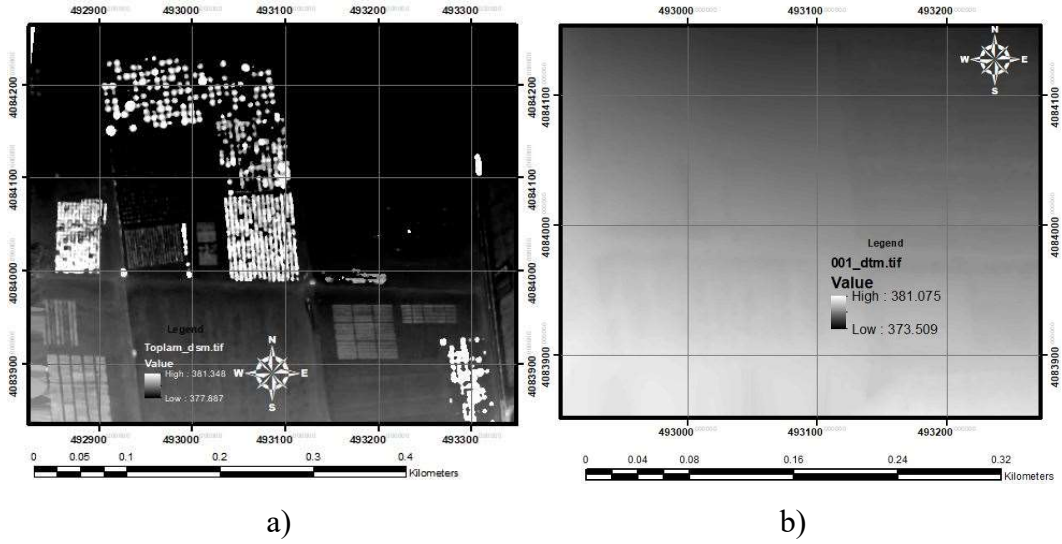
Toplamda 2250 adet fotoğrafı işleyerek kırmızı, yeşil, mavi, yakın kızılötesi ve kırmızı kenar yakın kızılötesi bantlarında 5 adet ortofoto oluşturulmuştur. Yer örneklem mesafesi 11.45 cm'dir. Toplam işlem süresinin 38 dakika olduğu belirlenmiştir.

Yazılımda anahtar nokta eşleştirmesi için tamamı (full) seçeneği işaretlenerek eşleştirmenin en yüksek düzeyde olması sağlanmıştır. Nokta bulutu yoğunluğu ve ölçeği en yüksek belirlenerek 3 boyutlu yüzey dokusunun daha iyi giydirilmesi sağlanmıştır. Giydirme dokusu OBJ ve DXF formatında elde edilmiştir. Şekil 6.1'de işlem adımları ve yazılım ayarları gösterilmiştir.



Şekil 6.1: Pix4D programı işlem adımları ve yazılım ayarları.

Çalışma alanının Sayısal Yüzey Modeli (SYM) ve Sayısal Arazi Modeli (SAM) oluşturulması ağaç yüksekliklerinin belirlenmesi için gereklidir. SYM çalışma alanındaki tüm detayların yüksekliklerini içeren bir modeldir. SAM ise zeminin temsili modelini göstermektedir. Şekil 6.2'de zeminin üzerindeki bütün noktaların birleşimiyle oluşmuş SYM ve SAM gösterilmiştir. Belirlenen birinci çalışma ve ikinci çalışma alanları için modeller ana bantlardan ilgili kısımlar kesilerek kullanılmıştır.



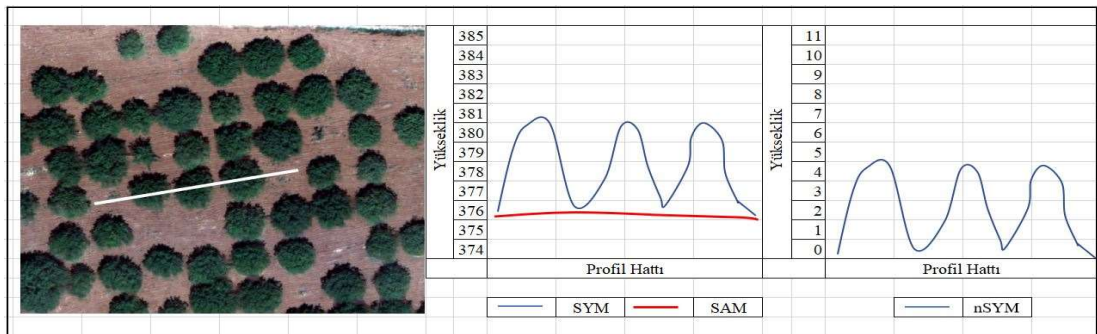
Şekil 6.2: Elde edilen modeller, a) sayısal yüzey modeli ve b) sayısal arazi modeli.

6.2. Normalize Edilmiş Sayısal Yüzey Modeli (nSYM)

Normalize Edilmiş Sayısal Yüzey Model'inin oluşturulması ArcGIS yazılımının indeks hesaplama aracı ile yapılmıştır. Sayısal arazi modelinden sayısal yüzey modelinin çıkartılması işlemiyle oluşturulur. Bu model ağaç tepe noktalarının yüksekliklerinden yüzey modelindeki kotların matematiksel çıkarma işlemi ile belirlenir. Model eşitlik 6.1'deki formül aracılığıyla hesaplanmaktadır.

$$nSYM = SYM - SAM \quad (6.1)$$

Bu işlemin sonucunda ağaçların boyları hesaplanır. Şekil 6.3'te profil hattından alınmış değerlerle gösterilmiştir. Ağaçların tepe noktalarının yükseklikleri ağaç boylarına dönüştürülmüştür.



Şekil 6.3: Profil hattı üzerinden alınmış yükseklik değerleri gösterimi.

6.3. Vejetasyon İndeksleriyle Taç Belirleme

Vejetasyon indeksleri bitki içeren alanları belirlemek için görüntüleme uygulanmaktadır. Ağaçları diğer objelere göre segmente edip ayrılması için kullanılmıştır. MATLAB yazılımında “imread” fonksiyonu ile görüntüler okunarak yükleme gerçekleştirilir [Web 7, 2020]. Görüntülerin birbirinden toplanıp, çıkartılıp, çarpılıp ve bölünmesiyle oluşan görüntülere MATLAB yazılımı kütüphanesinde bulunan “im2bw” fonksiyonu kullanılarak binary hale getirilerek taç sınırlarını belirlenmiştir [Web 6, 2020]. Vejetasyon indeksleri uygulanan görüntülerin piksel değerleri 0 ile 1 arasında değerler almaktadır. En yüksek bitki olan alanlar 1 değerine yakın piksel değeri almaktadır.

Sırasıyla 6.2’den 6.12’ye kadar eşitlikler ile Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), Blue Normalized Difference Vegetation Index (BNDVI), Difference Vegetation Index (DVI), Enhanced Vegetation Index (EVI), Green Difference Vegetation Index (GDVI), Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI), Green Soil-Adjusted Vegetation Index (GSAVI), Modified Soil-Adjusted Vegetation Index (MSAVI), Optimized Soil-Adjusted Vegetation Index (OSAVI), Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) ve Red Edge Normalized Difference Vegetation Index (RNDVI) indeksleri gösterilmiştir [Rouse et al., 1973],[Tucker, 1979],[Hancock and Dougherty, 2007],[Wafi, 2020],[Sripada et al., 2006],[Wu, 2014],[Qi et al., 1994],[Steven, 1998].

$$NDVI = \frac{N-R}{N+R} \quad (6.2)$$

$$BNDVI = \frac{N-B}{N+B} \quad (6.3)$$

$$DVI = N - R \quad (6.4)$$

$$EVI = 2.5 \times \left(\frac{N-R}{N+(6 \times R)-(7.5 \times B)+1} \right) \quad (6.5)$$

$$GDVI = N - G \quad (6.6)$$

$$GNDVI = \frac{N-G}{N+G} \quad (6.7)$$

$$GSAVI = \frac{N-G}{N+G+0.5} \times 1.5 \quad (6.8)$$

$$MSAVI = \frac{(N-R) \times 1.5}{N+R+0.5} \quad (6.9)$$

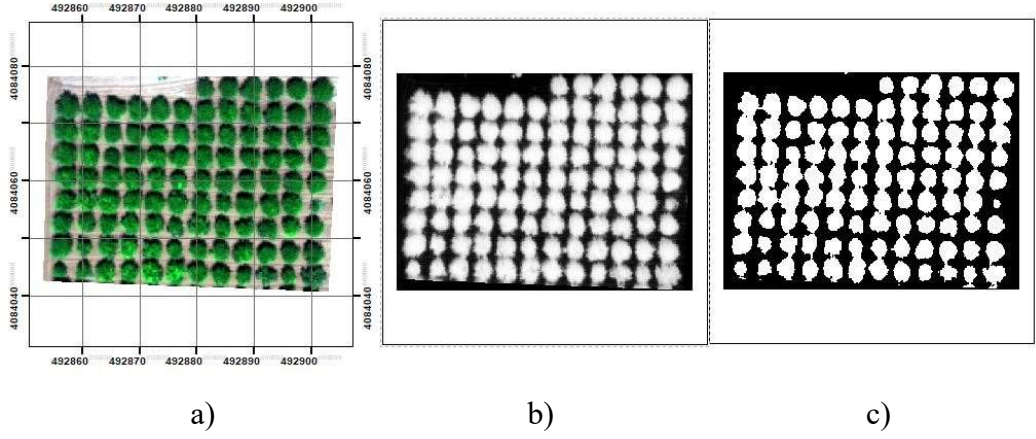
$$OSAVI = \frac{1.5 \times (N-R)}{N+R+0.6} \quad (6.10)$$

$$SAVI = \frac{N-R}{N+R+0.5} \times 1.5 \quad (6.11)$$

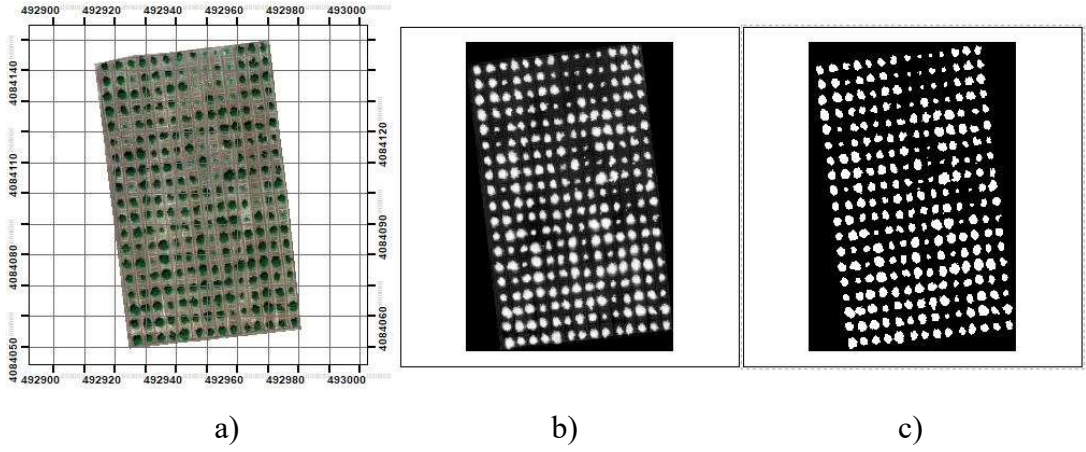
$$RNDVI = \frac{N-RE}{N+RE} \quad (6.12)$$

Formüller de kullanılan kısaltmalar her bandın yansıma değerleri ile gösterilerek; R=Kırmızı, G=Yeşil, B=Mavi, N=Kızılötesi, RE=Kırmızı Kenar Yakın Kızıl Ötesi bantları ifade etmektedir.

Izgara formunda dikili olan nar ağaçlarının olduğu çalışma bölgesinde ağaç taç sınırları belirlenmesi için NDVI indeksi uygulanmıştır. Görüntünün histogramına bakılarak taçları oluşturan piksellerin aldığı en az değere göre 0,75 değerinde eşik uygulanarak binary görüntü oluşturulmuştur. Şekil 6.4'te birinci çalışma alanının kırmızı, yeşil ve mavi bantlarından oluşan kırmızı, yeşil ve mavi (KYM) bantlardan oluşan görüntüsü, NDVI indeksi ile elde edilmiş görüntü ve binary görüntü bulunmaktadır. Şekil 6.5'te ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, NDVI indeksi ile elde edilmiş görüntü ve binary görüntü bulunmaktadır.



Şekil 6.4: NDVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) NDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

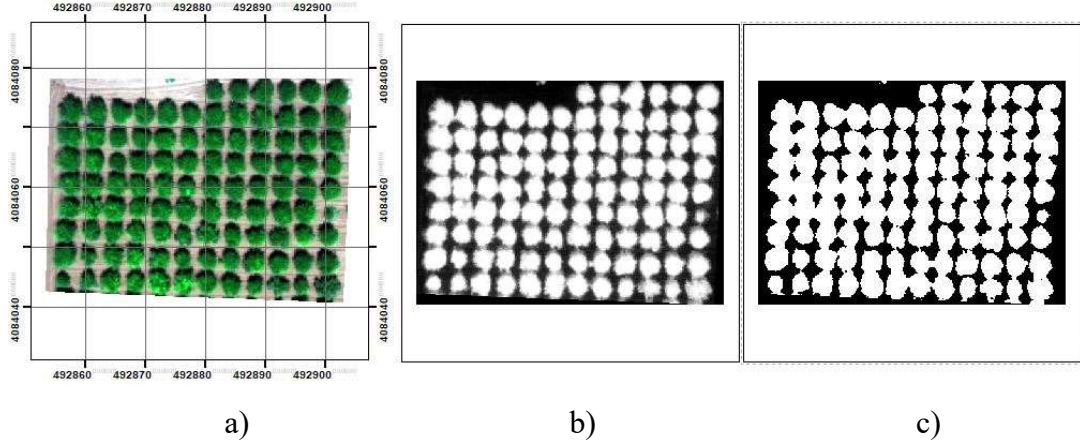


Şekil 6.5: NDVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) NDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

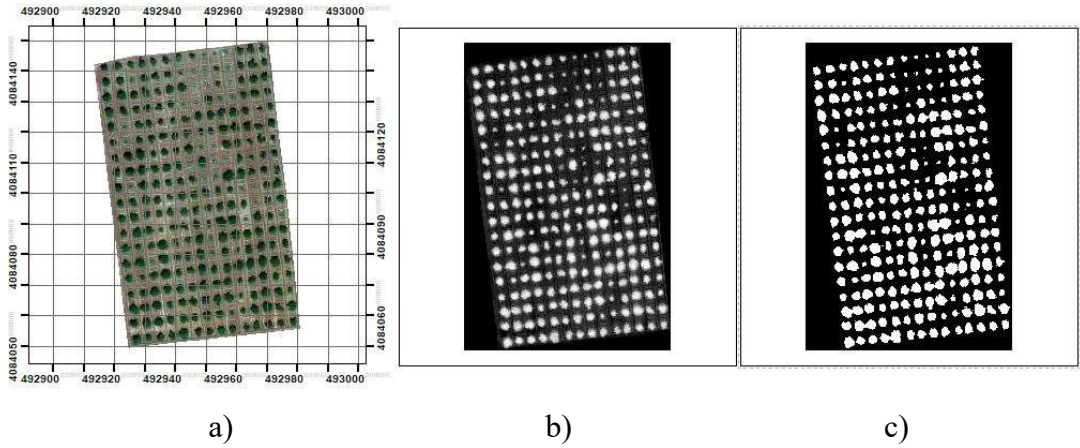
NDVI indeksiyle oluşturulan birinci çalışma alanında taçların tespit oranı diğer indekslere göre daha düşük görünmektedir. Görüntüdeki gölgelik alanların taç sınırlarına dahil olması gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. İkinci çalışma alanında en yüksek doğruluğu ve f-ölçüm değerini vermektedir. Birbirinden ayrık olan taçların tespitinde diğer indekslere nazaran daha başarılı olduğu görülmektedir.

Mavi bandın kızılötesi banttan çıkartılmasının, toplanmasına bölümüyle oluşturulan BNDVI indeksi taç sınırlarının çıkartılmıştır. Bu bandın kullanım sebebi yakın bantlar arası çapraz kullanım yaparak yeni bir oran elde edilmesiyle bitki tespitinde kullanılabilir olmasıdır. Kırmızı bant yerine mavi bandın oranlanması olarak ifade edilebilir. Oluşan görüntüde taç içeren piksellerin aldığı en düşük değere bakılarak belirlenen 0,958 değerinde görüntüye eşik uygulanarak binary formata

dönüştürülmüştür. Şekil 6.6’da birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, BNDVI indeksi ile binary görüntü verilmiştir. Şekil 6.7’de ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, BNDVI indeksi ile binary görüntü verilmiştir.



Şekil 6.6: BNDVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) BNDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

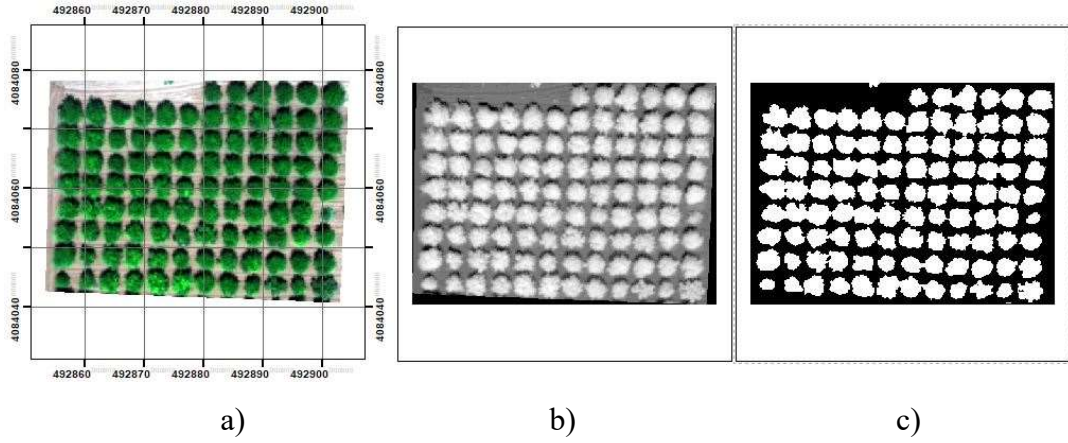


Şekil 6.7: BNDVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) BNDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

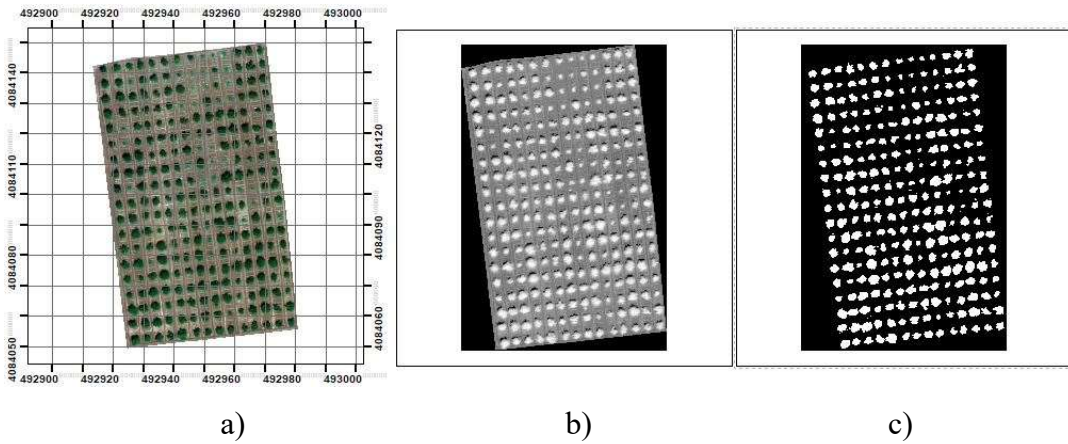
Birinci ve ikinci çalışma alanında oluşturulan görüntülerde doğruluk, duyarlılık ve geri çağırma değerlerinde diğer indekslere göre yüksek sonuçlar vermektedir. Birinci çalışma alanında taç sınırlarının ayrılmasında etkili olamamıştır.

Kırmızı bandın kızılötesi banttan çıkartılmasıyla oluşturulan DVI indeksi canlı bitki örtüsünün tespiti sağlanabilir. Bu indeks canlı bitki örtüsünün çıkartılmasında kullanımı aynı zamanda yanmış alanların tespitinde de kullanılabilir. Eşik değer belirlenmesinde görüntüdeki piksel değerlerine bakılarak taçları oluşturan pikseller incelenmiştir. Taç piksellerini oluşturan 0,04 değerinin altındaki değerleri

görüntüde farklı objeler oluşturmaması için eşik uygulanarak binary formata dönüştürülmüştür. Şekil 6.8’de birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, DVI indeksi ile binary haline dönüştürülmüş görüntü verilmiştir. Şekil 6.9’da ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, DVI indeksi ile binary haline dönüştürülmüş görüntü verilmiştir.



Şekil 6.8: DVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) DVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

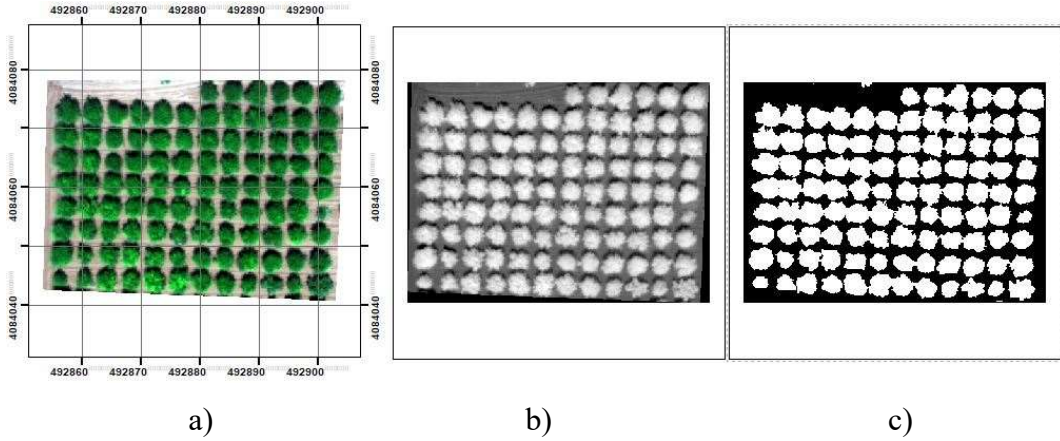


Şekil 6.9: DVI indeksi a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) DVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

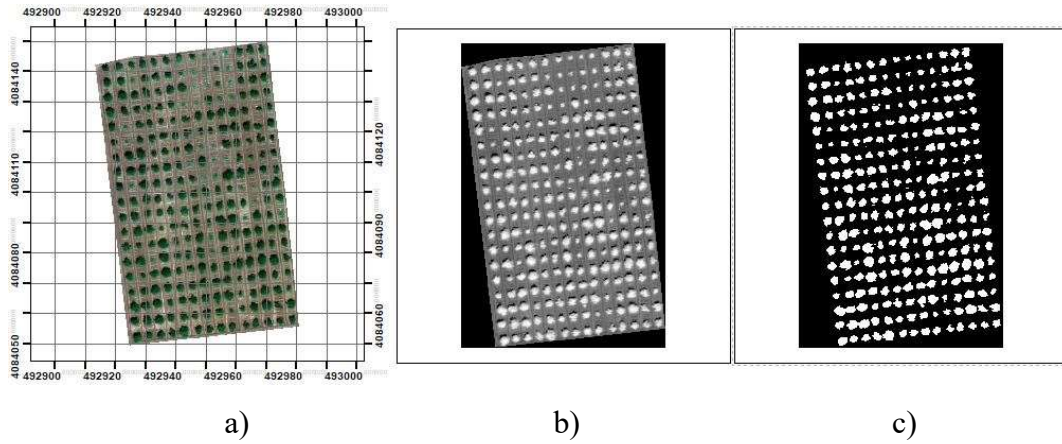
Birinci çalışma alanında DVI indeksi diğer indekslere göre yüksek doğrulukla taç tespiti yapabilmıştır fakat ikinci çalışma alanında bu oran diğerlerine göre daha düşüktür. Taç dışındaki objelerin izolasyonunda diğer indekslere göre verimsizdir.

Eşitlik 6.5’te gösterilen EVI indeksi bantların birbirine oranlamasıyla üretilen görüntü ağaçları zeminden ayırt edebilmektedir. Bu indeks atmosfer kaynaklı aerosol ve zemindeki diğer bitki içeriklerini en aza indirmektedir. İndeks uygulanan görüntüde

taç piksellere 0,09 değerinde eşik uygulanarak binary formata dönüştürülmüştür. Şekil 6.10’da birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, EVI indeksinin sonuç görüntüsü verilmiştir. Şekil 6.11’de ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, EVI indeksinin sonuç görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.10. EVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) EVI indeksi uygulanmış görüntü ve c)binary görüntü.

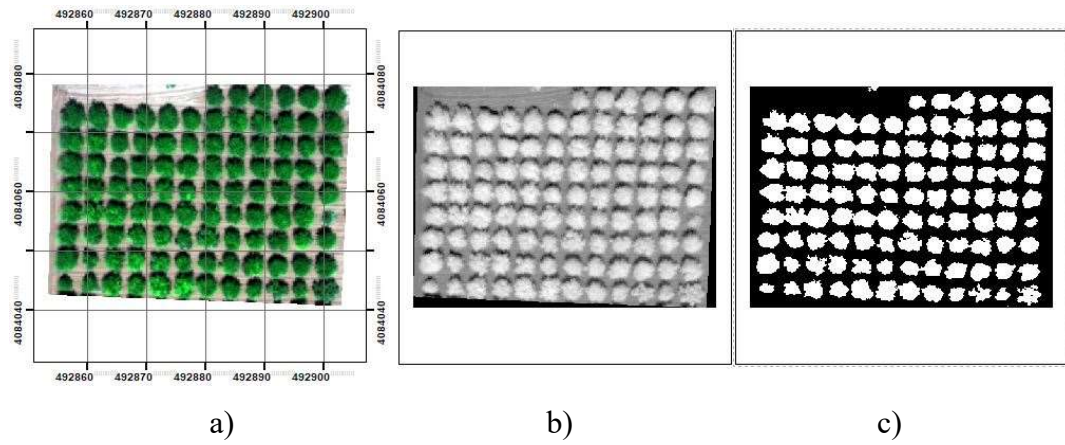


Şekil 6.11: EVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) EVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

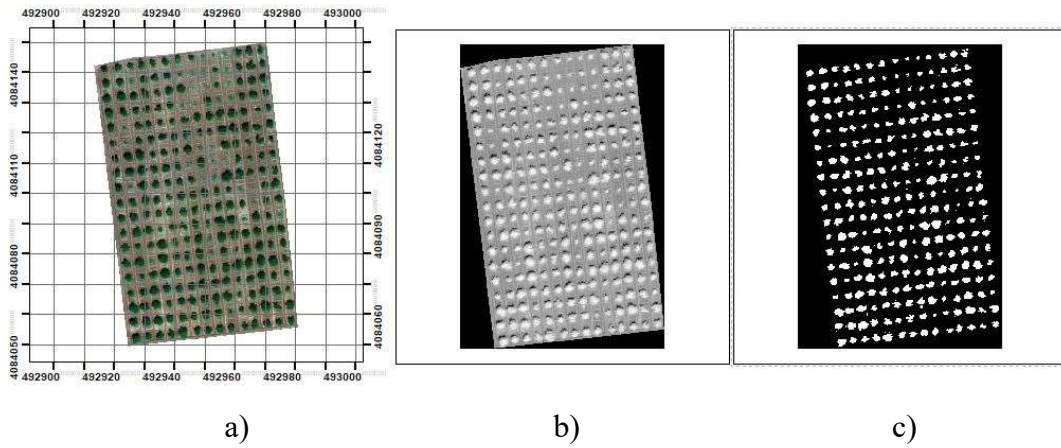
Birinci çalışma alanında EVI indeksi doğruluk, duyarlılık ve diğer parametrelerde %90 üzerinde sonuçlar vermiştir. İkinci çalışma alanında en az doğru taç pikseli tespit eden indeksler arasındadır.

GDVI indeksi kızılötesi bandtan yeşil bandın çıkartılması işlemiyle oluşmaktadır. Düşük bitki örtüsü barındıran alanlarda diğer indekslerden daha yüksek hassasiyete ve dinamik aralığa sahip olduğu belirlenmiştir. Arazi bozulması ve çölleşme tespiti çalışmalarında kullanılmıştır [Wu, 2014]. Tez kapsamında kullanılan

veriler kurak bir arazinin içerisinde bulunan ağaçları kapsamaktadır. Uygulanan indeks sonucu oluşan görüntüdeki piksellere 0,050 değerinde eşik uygulanarak binary formata dönüştürülmüştür. Bu eşik değerinin altında olan görüntülerde diğer objelerin taşlar ile birlikte görüntüde karmaşıklık göstermiştir. 0,053 oranına kadar eşik değeri yükseltilmiştir. Oluşan görüntüde zemindeki objeler ile taşlar ayrıldığı görülmüştür. Şekil 6.12’de birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, GDVI indeksi görüntüsü ile binary görüntü verilmiştir. Şekil 6.13’te ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, GDVI indeksi görüntüsü ile binary görüntü verilmiştir.



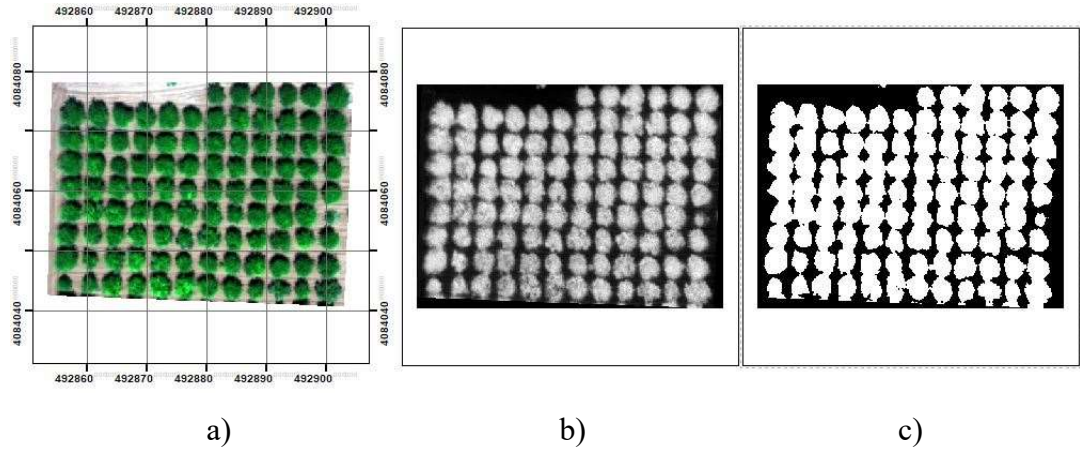
Şekil 6.12: GDVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) GDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c)binary görüntü.



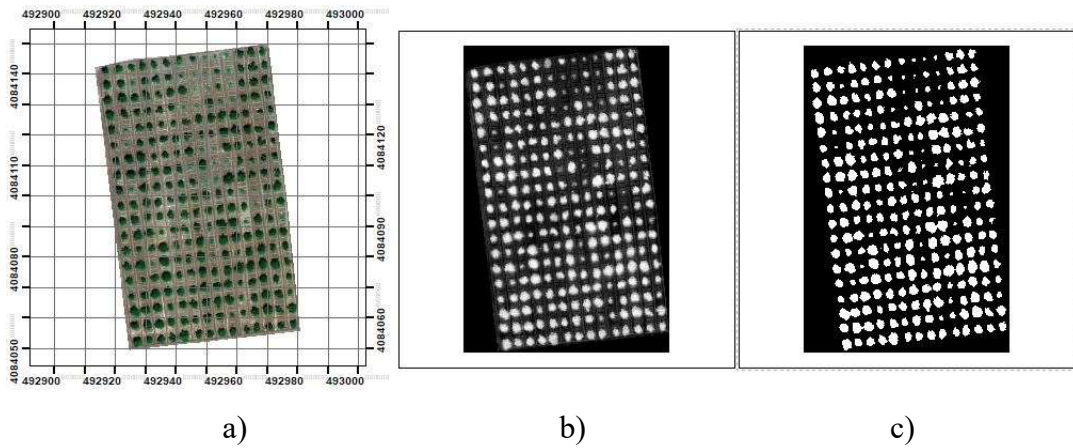
Şekil 6.13: GDVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının orijinal görüntü, b) GDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

Bu indeks çalışma alanlarında taş piksellerini en az tespit edebilen, taş alanları dışında fazla tespit oranı en düşük olanıdır. Doğruluk, duyarlılık ve geri çağırma oranları diğer indekslere göre en düşük olanıdır.

GNDVI indeksi klorofil konsantrasyonu tespitinde NDVI indeksine göre daha hassas ve geniş aralıkta tespit sağlamaktadır [Gitelson et al., 1996]. Klorofil içeriği bitkinin canlılık durumu hakkında bilgi vermektedir. Klorofil içeren yaprakların oluşturduğu tacın tespiti yapılabilmektedir. GNDVI indeksi kızılötesi banttan yeşil bandın çıkarımı ve toplamının oranlanması ile oluşmaktadır. Görüntüdeki taçlara isabet eden piksellerin aldığı değerlerin ortalaması 0,935 değerinde eşik uygulanarak binary formata dönüştürülmüştür. Şekil 6.14'te birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, GNDVI indeksi uygulanmış görüntü ve binary görüntü bulunmaktadır. Şekil 6.15'de ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, GNDVI indeksi uygulanmış görüntü ve binary görüntü bulunmaktadır.

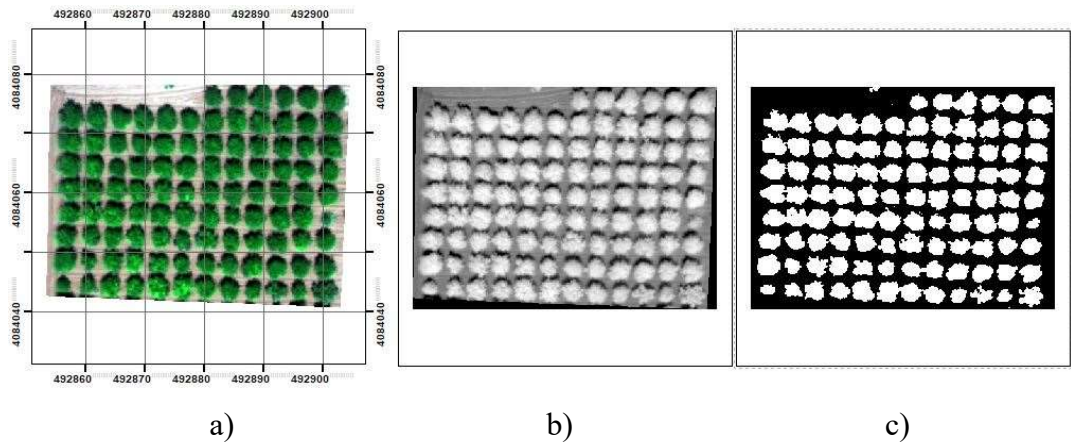


Şekil 6.14: GNDVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) GNDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

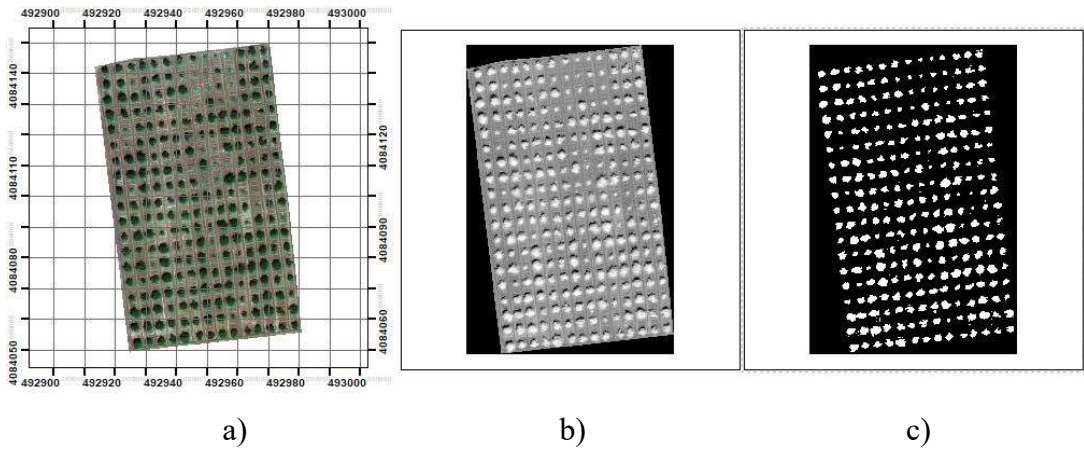


Şekil 6.15. GNDVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) GNDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

GSAVI indeksi yeşil bitki örtüsü içeren alanların az olduğu topraktan yansıyan parlaklığın etkisine göre uyarlanmış olan indeks eşitlik 6.8’de gösterildiği gibi kızılötesi ve yeşil bantların matematiksel işlemleri sonucu oluşmaktadır. Oluşturulan indeks görüntüleri binary formata dönüştürülürken uygulanan 0,14 eşik değerine göre taşlar toprak zeminde ayrılmıştır. Şekil 6.16’da birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, GSAVI indeksi ve binary görüntü gösterilmiştir. Şekil 6.17’de ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, GSAVI indeksi ve binary görüntü gösterilmiştir.



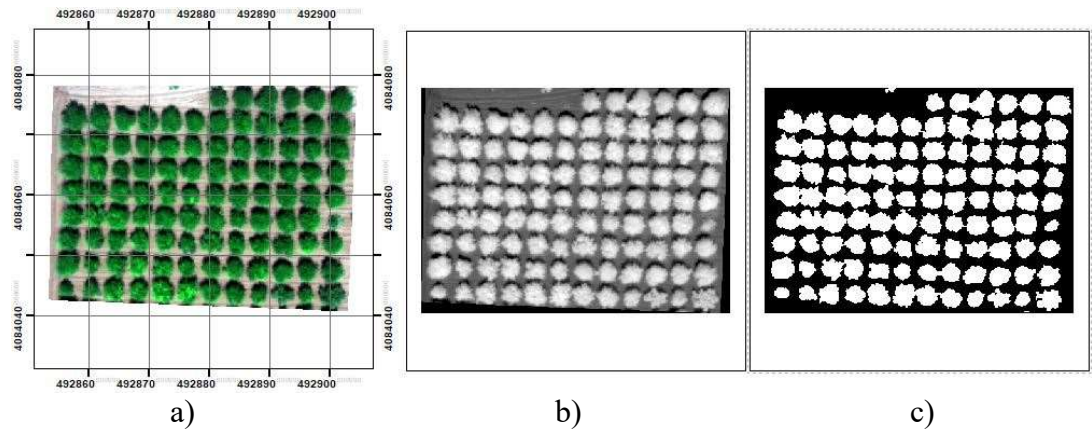
Şekil 6.16: GSAVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) GSAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.



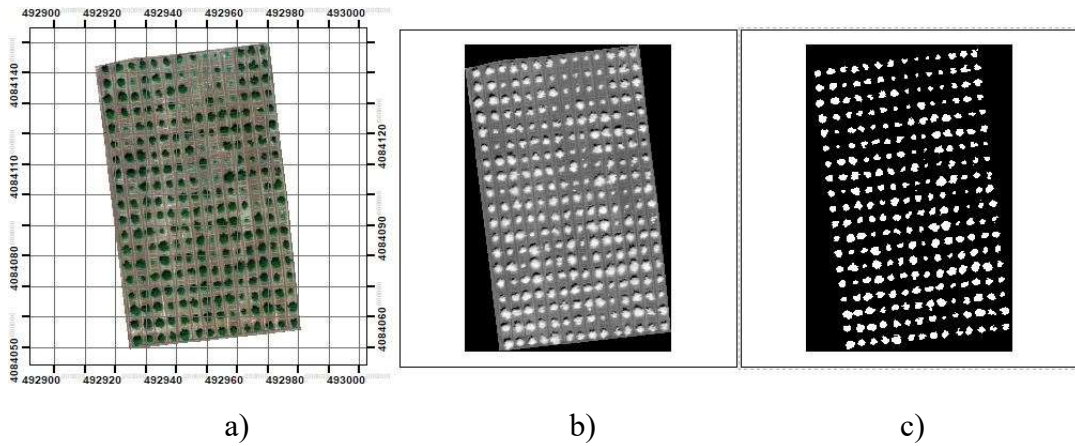
Şekil 6.17: GSAVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) GSAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

GSAVI indeksiyle oluşturulan taş alanları ve sınırları çıkarımında diğer indekslere göre daha az başarılı olduğu görülmektedir. Taş sınırlarının birbirinden ayrımı yapabilen bir indeks olarak kullanılabilir.

MSAVI indeksi eşitlik 6.9’da gösterildiği gibi kızılötesi bant ve kırmızı bant işlemlerinden oluşmaktadır. Bu indeks SAVI indeksinin uyarlanmış bir çeşididir. Görüntüdeki bitki örtüsünün miktarına dayalı olarak parlaklık düzeltme katsayısı (L) değişebilir. Varsayılan kullanımda 0,5 olarak işleme alınmıştır. Oluşan görüntüde taşların aldığı değerler ile toprak zeminin piksel değerlerine bakılarak 0,125 değerinde eşik uygulanarak binary formata dönüştürülmüştür. Şekil 6.18’de birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, MSAVI indeksi ve binary görüntü verilmiştir. Şekil 6.19’da ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, MSAVI indeksi ve binary görüntü verilmiştir.



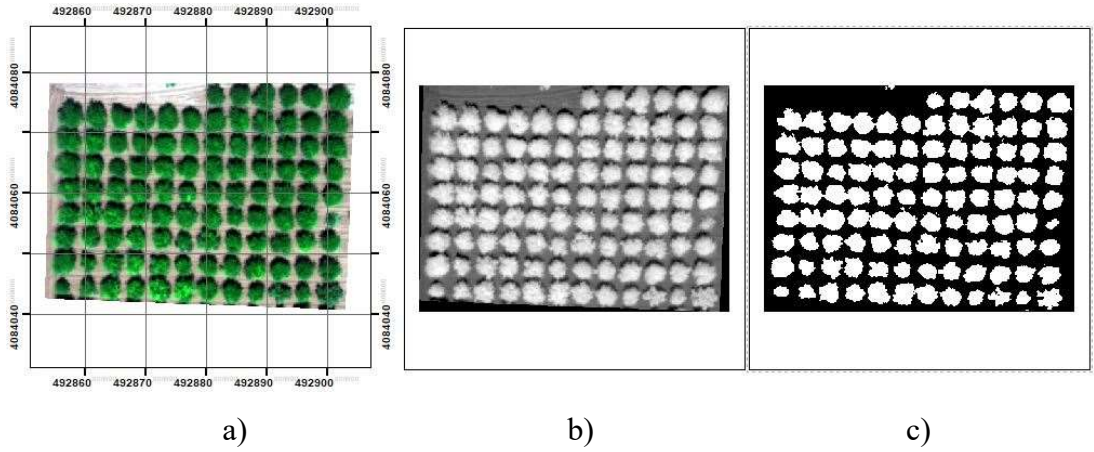
Şekil 6.18: MSAVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) MSAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.



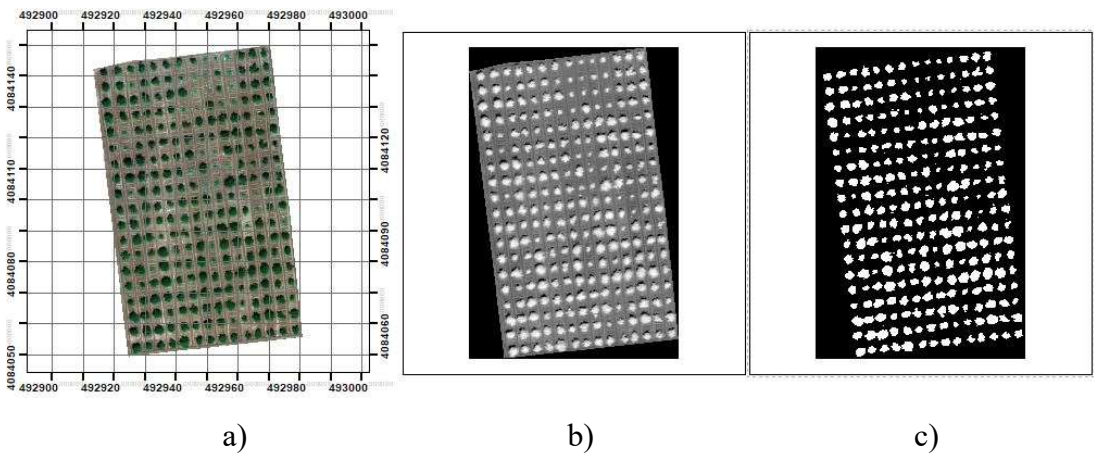
Şekil 6.19: MSAVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) MSAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

Bu indeks birinci ve ikinci çalışma alanlarında yüksek doğrulukla taş tespiti yapabilmektedir. Birinci çalışma alanında doğruluk duyarlılık gibi parametrelerde %90 üzeri başarı sağlamıştır.

OSAVI indeksi şeker pancarı ürününde güneşten gelen radyasyonun fraksiyonuyla eşdeğer olan mahsulün gölgelik örtüsünün tahmininde uygulanmıştır [Steven, 1998]. OSAVI indeksi eşitlik 6.10'da görüldüğü gibi kızılötesi ve kırmızı bandın işlemleri sonucu oluşmaktadır. Optimize edilmiş toprak indeksi arka planda toprağın etkisini azaltarak yeşil alanların yakalanmasını kolaylaştırmıştır. Görüntüde taç pikselleri oluşturan 0,09 değerinin altındaki piksellere eşik uygulanarak binary görüntüden izole edilmiştir. Şekil 6.20'de birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, OSAVI indeksi uygulanmış görüntü ve binary görüntü verilmiştir. 6.21'de ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, OSAVI indeksi uygulanmış görüntü ve binary görüntü verilmiştir.



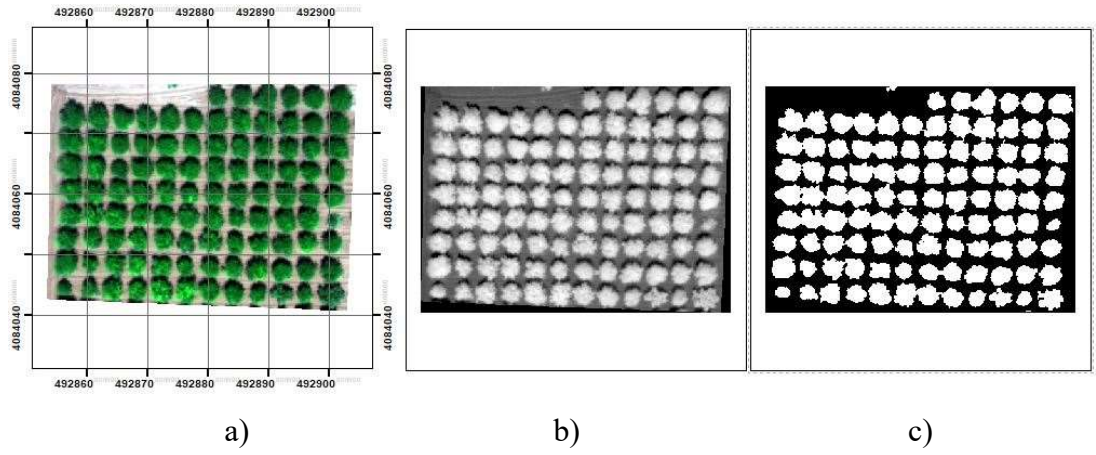
Şekil 6.20: OSAVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) OSAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.



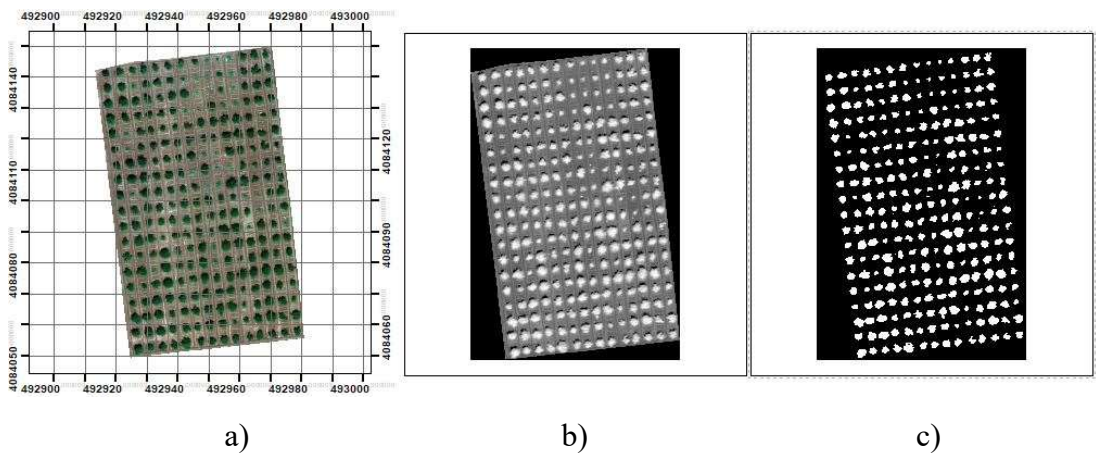
Şekil 6.21: OSAVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) OSAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

OSAVI indeksi toprak ve bitkinin birbirinden ayrımında başarılı bir indekstir. Birinci ve ikinci çalışma alanlarında taçların %91 oranında doğrulukla tam tespitini yapmıştır.

SAVI indeksi eşitlik 6.11’de ifade edilen kızılötesi bant ile kırmızı bantın matematiksel işlemleri sonucu üretilmektedir. Toprak etkisi indirgenmiş vejetasyon indeksi olarak kullanılmaktadır. Piksellere 0,12 değerinde eşik uygulanarak binary formata dönüştürülmüştür. Şekil 6.22’de birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, SAVI indeksi uygulanmış görüntü ve binary görüntü verilmiştir. Şekil 6.23’te ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, SAVI indeksi uygulanmış görüntü ve binary görüntü verilmiştir.

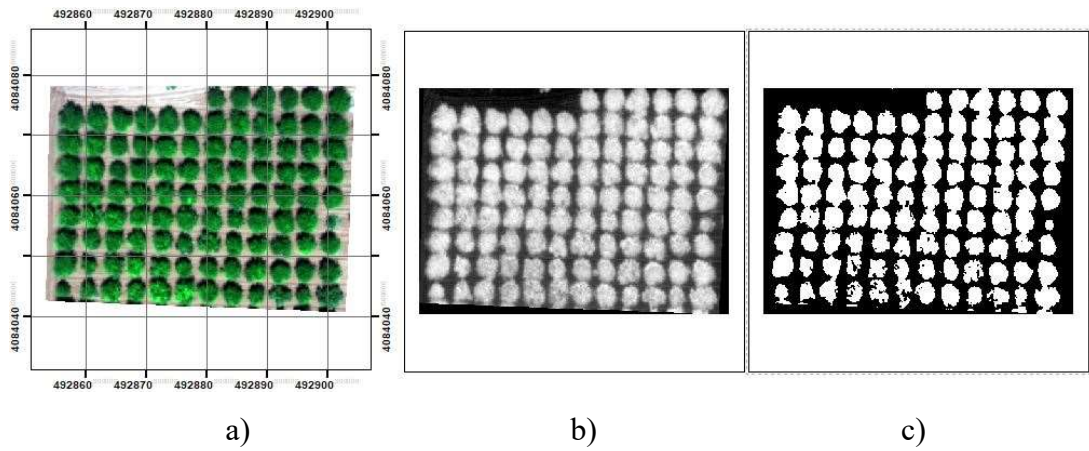


Şekil 6.22: SAVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) SAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

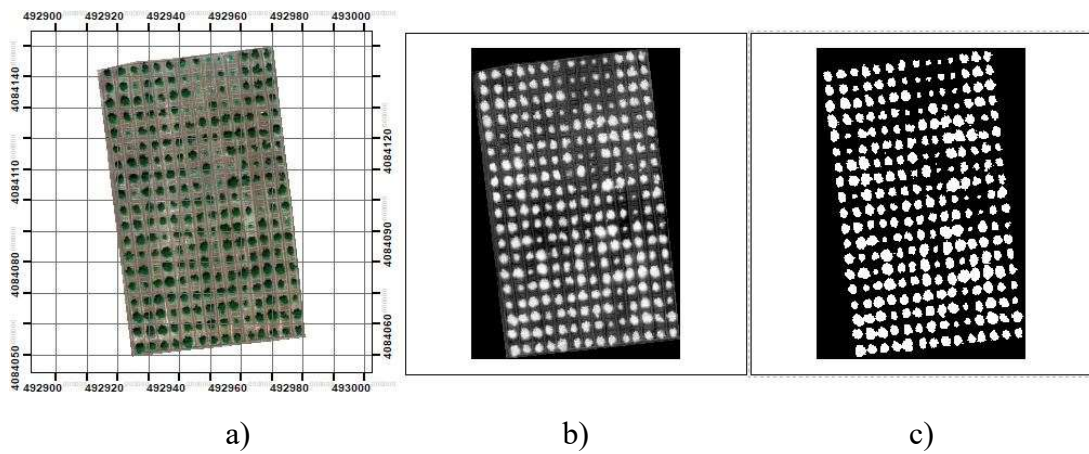


Şekil 6.23: SAVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) SAVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

RNDVI indeksi kızılötesi banttan kırmızı kenar yakın kızılötesi bandın çıkarımı ve toplanmasının birbirine oranlanması sonucu oluşmaktadır. Bu indeks NDVI indeksine çok yakındır. Kullanılan bant kırmızı kenar yakın kızılötesi olarak spektral aralığı farklıdır. Görüntünün histogramına ve taçların aldığı değerler incelenerek piksellere 0,31 değerinde eşik değeri uygulanmıştır. Şekil 6.24'te birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, RNDVI indeksi görüntüsü ve binary görüntüsü verilmiştir. Şekil 6.25'de ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, RNDVI indeksi görüntüsü ve binary görüntüsü verilmiştir.



Şekil 6.24: RNDVI indeksi, a) birinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) RNDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

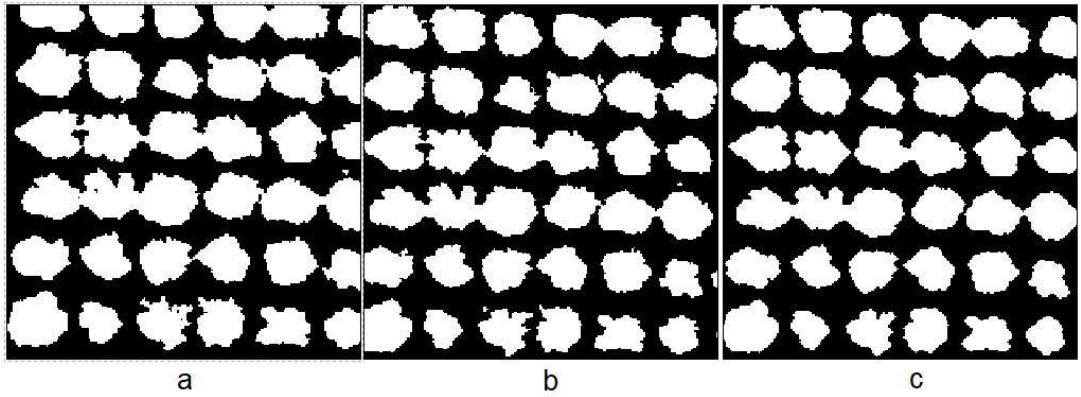


Şekil 6.25: RNDVI indeksi, a) ikinci çalışma alanının KYM görüntüsü, b) RNDVI indeksi uygulanmış görüntü ve c) binary görüntü.

İkinci çalışma alanında NDVI indeksinden sonra en yüksek doğrulukla taçları tespit edebilen indeks RNDVI indeksi olmuştur. Duyarlılık ve geri çağırma parametrelerinde yüksek sonuç vermiştir.

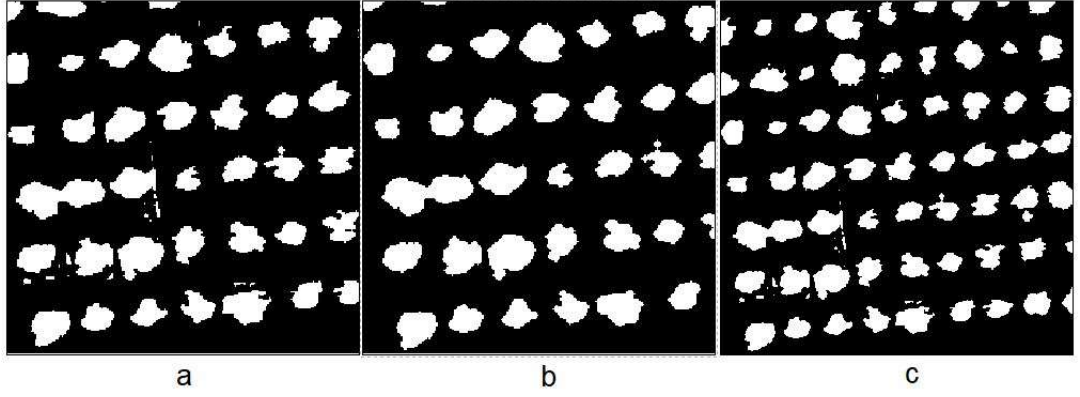
6.4. Morfolojik Filtreleme

Tez çalışmasında kullanılan görüntülerde belirlenen iki farklı alanlar binary formatlı görüntülere dönüştürüldükten sonra görüntüde ağaç tacı dışındaki verileri ve taç içerisinde oluşan boşluk alanları tamamlamak için matematiksel morfolojiden yararlanılmıştır. Eşik değeri uygulayarak üretilen binary görüntülerde boşlukları doldurmak için MATLAB yazılımının kendi kütüphanesinde bulunan fonksiyonlar kullanılarak filtrelenmiştir [Web 8, 2020]. Yapısal eleman boyutunu her görüntü için farklı ebatta disk şeklinde kullanarak taç sınırlarının düzgün çıkarılması amaçlanmıştır. İstenmeyen piksellerin oluşturduğu küçük objeler için açılma, doldurulacak taç içi boşluklar için kapanma filtreleri uygulanmıştır. Şekil 6.26'da birinci çalışma alanının GDVI indeksiyle oluşmuş görüntüsünde açılma ve kapanma filtresi uygulanmış görüntüler verilmiştir. Şekil 6.27'de ikinci çalışma alanının GSAVI indeksiyle oluşan taçlara açılma ve kapanma filtreleri uygulanmış görüntü verilmiştir.



Şekil 6.26: Birinci çalışma alanının morfolojik filtrelemeleri, a) GDVI indeksi binary görüntüsü, b) kapanma filtresi uygulanmış görüntüsü ve c) açılma filtresi uygulanmış görüntüsü.

Birinci çalışma alanında uygulanan kapanma filtresi görüntüsünde taç içinde boşluk olan yerlerin doldurulması sağlanmıştır. Açılma filtresiyle taç dışında yapısal eleman boyutundan küçük olan objelerin kaybolması sağlanmıştır.



Şekil 6.27: İkinci çalışma alanının morfolojik filtrelemeleri, a) GSAVI indeksi binary görüntüsü, b) açılma filtresi uygulanmış görüntüsü ve c) kapanma filtresi uygulanmış görüntüsü.

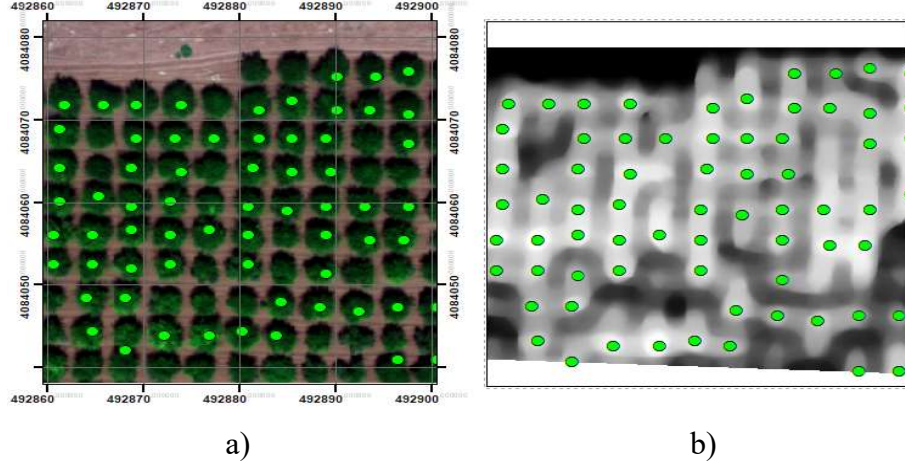
İkinci çalışma alanında açılma filtresiyle taç haricinde bulunan diğer objelerin silinmesi sağlanmıştır. Binary görüntüye uygulanan kapanma filtresiyle tacın içinde istenmeyen boşluklar doldurularak tacın tamamlanması sağlanmıştır. Bu şekiller filtrelerin nasıl çalıştığını göstermek için uygulanmıştır.

6.5. Lokal Maksimum Filtrelemesiyle Ağaç Tepe Noktaları Tespiti

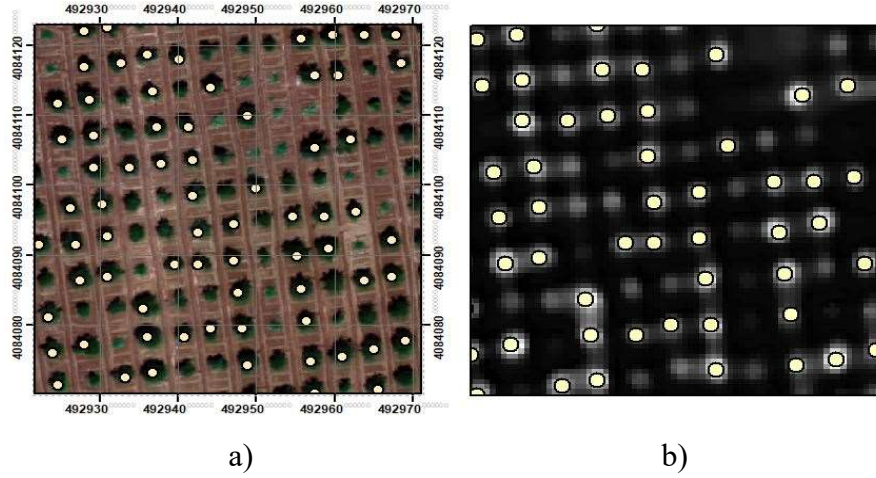
Ağaç tepe noktaları belirleme işlemi nSYM'nin üzerindeki piksellere belirlenen arama penceresinde en yüksek noktaya ulaşıncaya kadar arama yaparak düşüşe geçilince duran ve maksimum değerli pikseli işaretlemesiyle bitirir. Tam tersi fonksiyonda mevcut olup en düşük değerli pikselleri bulan fonksiyonlar da mevcuttur. Arama penceresi ağaç çaplarına uygun şekilde oluşturulmalıdır. Küçük çaptaki taçlarda arama penceresi büyük seçilip atlama hatasına sebep olmaması için ağaç taç boyutundan büyük alanda arama penceresi belirlenmemelidir. Küçük arama penceresi bir taç içerisinde birçok tepe noktasının tespitine yol açmaktadır.

FUSION yazılımında en düşük ağaç yüksekliği birinci çalışma alanı için 1,5 m arama penceresi boyutu 3x3 kullanılmıştır. İkinci çalışma alanı için en küçük ağaç yüksekliği 0,3 m olarak arama penceresi boyutu 2x2 olarak belirlenmiştir. Programın "CanopyMaxima" fonksiyonu kullanılarak nSYM'den tepe noktaları ve yükseklikleri belirlenerek MS Excel formatında listelenmiştir. Bu liste ArcGIS programında görselleştirilerek ağaç tepe noktası yükseklikleri incelenmiştir. Şekil 6.28'de birinci çalışma alanının ağaç tepe noktaları tespitinin görüntüsü verilmiştir. Şekil 6.29'da

ikinci çalışma alanının ağaç tepe noktaları tespiti görüntüsü verilmiştir. Çalışma bölgesinin içerisinde birkaç ağacın yüksekliği metre ile ölçülerek lokal maksimum tespitin doğruluğunu değerlendirme aşamasında kullanılmıştır.



Şekil 6.28: Lokal maksimum filtrelemesi, a) birinci çalışma alanının tepe noktaları tespiti görüntüsü ve b) tepe noktaları arazi modelinde üzerinde gösterimi.

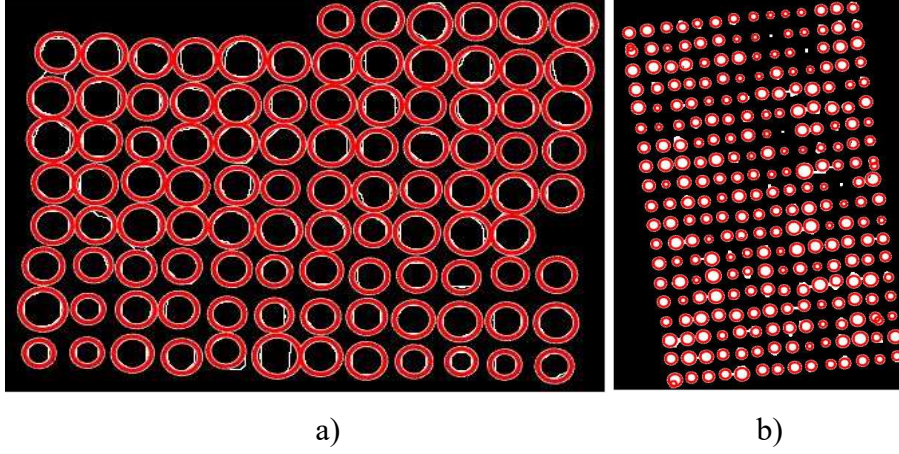


Şekil 6.29: Lokal maksimum filtrelemesi, a) ikinci çalışma alanının tepe noktaları tespiti görüntüsü ve b) tepe noktaları arazi modeli üzerinde gösterimi.

6.6. Ağaç Sayısının Belirlenmesi

Tez kapsamında kullanılan görüntülerin çözünürlükleri çok yüksek olmasına rağmen küçük taçlı ağaçlar kaçırma hatasıyla karşılaşılabılır. Morfolojik filtrelemeyle taç sınırları ayrılmaya çalışırken bazı ağaçlar erozyona uğrayarak taç boyutu küçülebilir. MATLAB yazılımının kütüphanesinde bulunan Hough dönüşümü

vasıtasıyla çalışan “imfindcircles” fonksiyondan yararlanarak ta sayısı belirleme işlemi yapılmıştır [Web 9, 2020]. Görüntüde bulunan aēaların talarının sınırları tespit edilmiştir. 7 ve 30 piksel boyutu arasındaki taçları arama yaptırarak her iki alan için tespit yapılmıştır. Şekil 6.30’da a) birinci çalışma alanının ta tespiti, b) ikinci çalışma alanının tespit edilen ta tespiti verilmiştir.



Şekil 6.30: Ta sayısının belirlenmesi, a) birinci çalışma alanının ta tespiti görüntüsü ve b) ikinci çalışma alanının ta tespiti görüntüsü.

6.7. Aēa Ta Boyutlarının Belirlenmesi

Her iki çalışma alanında bulunan aēa talarının çap, evre ve eksantrikliēi hakkında bilgi edinmek için MATLAB yazılımının “regionprops” fonksiyonu kullanılarak binary görüntüdeki objelerin ölçüleri hesaplatılmıştır [Web 10, 2020]. Yazılımın “stats” fonksiyonu ile taların alanı (area), çevresi (perimeter), aks uzunlukları (axis-length), yuvarlaklıkları (circularity) ve eksantrikliēini (eccentricity) piksel boyutunda hesaplanır ve tablo haline getirilmektedir. Elde edilen verilerin kıyası yapılabilmesi için çap ve evre uzunlukları belirlenen aēalardan bir kısmının ortofoto üzerinden çizilerek sayısallaştırılan referans veri kullanılmıştır. Şekil 6.31’de birinci çalışma alanının ta boyutları tablo görüntüsü verilmiştir. Şekil 6.32’de ikinci çalışma alanının ta boyutları tablo görüntüsü verilmiştir.

	1	2		3	4	5	6	7	8	9
	Area	Centroid		MajorAxis	MinorAxis	Eccentric	Circularit	FilledAr	EquivDiarr	Perimeter
1	116	28.2328	259.8017	44.8823	39.3462	0.4811	0.1576	749	12.1530	96.1740
2	92	29.6848	224.3478	35.2700	34.2350	0.2405	0.1895	517	10.8230	78.1120
3	63	25.6825	296.6349	25.6251	22.9019	0.4486	0.2655	259	8.9562	54.6080
4	199	37.3668	67.0302	86.7609	41.1323	0.8805	0.0865	1510	15.9177	170.0520
5	115	35.7304	120.7478	47.1781	39.1346	0.5585	0.1494	780	12.1005	98.3660
6	106	36.5283	154.6981	40.1466	37.9007	0.3298	0.1693	647	11.6174	88.6900
7	96	36.1667	190.8542	37.1807	34.9735	0.3394	0.1809	554	11.0558	81.6600
8	70	62.5714	259.9286	27.3280	25.4429	0.3650	0.2480	305	9.4407	59.5620
9	67	61.8806	296.1940	27.0463	24.4608	0.4267	0.2505	290	9.2362	57.9740
10	109	67.9083	156.9725	40.8632	37.1234	0.4179	0.1724	650	11.7806	89.1360
11	93	67.4516	190.7419	36.3206	31.0575	0.5185	0.1934	486	10.8817	77.7320
12	87	66.6322	223.7586	34.1782	30.7600	0.4359	0.2023	453	10.5248	73.5220

Şekil 6.31: Birinci çalışma alanının taç boyutları tablosu görüntüsü.

	1	2		3	4	5	6
	Area	Centroid		MajorAxisLength	MinorAxisLength	Eccentricity	Circularity
1	503	31.2644	80.4076	28.4755	22.9429	0.5923	0.8330
2	669	37.8386	164.9133	31.7173	27.2376	0.5124	0.8426
3	594	36.3956	120.0875	32.3644	23.8761	0.6751	0.9005
4	760	45.2250	207.8961	37.6248	25.9643	0.7237	0.8636
5	630	50.6778	248.9413	33.0054	24.7655	0.6610	0.8651
6	354	55.9266	294.6243	23.6146	19.3827	0.5712	1.0009
7	445	62.0427	338.2562	28.7339	20.1995	0.7112	0.8993
8	522	65.9847	379.0211	29.0535	23.4160	0.5920	0.8719
9	556	69.4388	74.5791	28.5235	25.6062	0.4406	0.8931
10	583	71.6621	422.3945	32.2538	23.4274	0.6873	0.9163
11	569	76.0228	116.3286	28.9050	25.4306	0.4753	0.8903
12	478	76.2176	467.6925	28.0674	21.8415	0.6280	0.9668
13	768	80.9323	157.4883	35.7166	28.1218	0.6165	0.8952
14	584	81.5531	512.1387	30.6584	24.7474	0.5903	0.8970
15	527	86.1101	203.2865	33.2440	20.8698	0.7784	0.7318

Şekil 6.32: İkinci çalışma alanının taç boyutları tablosu görüntüsü.

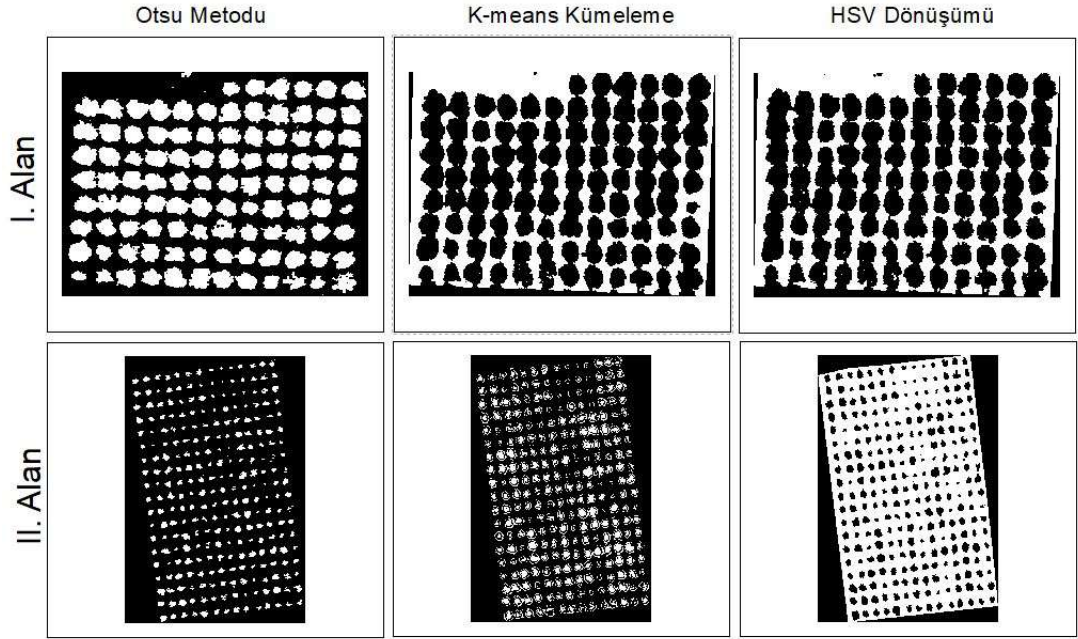
6.8. Ağaç Taç Segmentasyonu

Ağaçları zeminden ve diğer objelerden ayırarak belirlemek için farklı segmentasyon teknikleri uygulanmıştır. Eşik değer uygulanarak Otsu Metodu, k-ortalama kümelemesi ve renklerin bölünmesiyle ton-doygunluk-değer dönüşümü (HSV) yapılarak taçlar belirlenmiştir [Web 11, 2020],[Web 12, 2020],[Web 13, 2020]. Otsu metodunda belirlenen eşik değer ile görüntü iki sınıfa ayrılmıştır. Birinci sınıf taç içermeyen zemin ikinci sınıf taçları temsil etmektedir. Binary dönüşümü yapılırken

uygulanan eşik değeri fonksiyonu “imbinarize” kullanılmıştır. Otsu metodu bütün bantlara uygulanabilir.

Kümeleme tekniği k-ortalama görüntüde pikselleri spektral olarak birbirine yakın olan objeleri gruplayarak segmente etmektedir. MATLAB yazılımının kütüphanesinde bulunan “imsegkmeans” fonksiyonuyla küme sayısı 2 olarak belirlenerek taş ve diğer objelere ayrılmıştır. Birinci piksel kümesi taşları ikinci piksel kümesi taş olmayan kısımları ifade etmektedir. Oluşan segmentasyon görüntüsü binary görüntüye çevrilmiştir.

HSV dönüşümü MATLAB kütüphanesinde bulunan “rgb2hsv” fonksiyonu kullanılarak segmentasyon görüntüsü oluşturulmuştur. Zemin ve diğer objeleri temsil eden pikseller ile taşları 0,5 eşik değeriyle binary görüntü formatına çevrilmiştir. Şekil 6.33’te birinci çalışma ve ikinci çalışma alanının Otsu Metodu, k-ortalama kümeleme ve HSV dönüşümünün binary görüntüleri verilmiştir.



Şekil 6.33: Birinci çalışma ve ikinci çalışma alanının Otsu Metodu, k-ortalama kümeleme ve HSV dönüşümü sonrası oluşan binary görüntüleri.

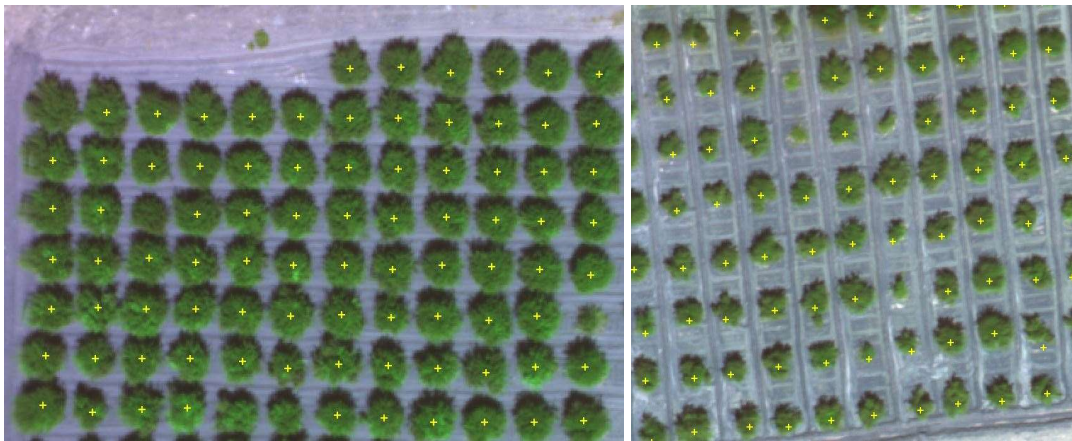
Otsu metoduyla yapılan segmentasyon işleminde birinci ve ikinci alanda taşların birbirinden ayrımı daha net bir şekilde görünmektedir. K-ortalama kümeleme metodu ikinci alanda taşların sınırlarının çıkarımında başarısız olduğu görülmektedir.

6.9. Şablon Eşleme Metodu

Şablon eşleme örnek olarak belirlenen ağaçların ana görüntüde aranarak bulunması çalışmasıdır. Bu işlem eCognition Developer yazılımında yapılmıştır. Yazılıma renkli görüntü okutulur. Şablon eşleme editörü açılarak yeni bir dosya yaratılır. Görüntü üzerinden ağaçlar seçilir. Bu işlem yapılırken şablon orta noktalarının taçların tam ortasına isabet etmesine ve taçları tam kapsamasına dikkat edilmelidir. Şablon boyutu taç boyutuna uygun olarak belirlenmelidir. Yeterli miktarda taç seçilerek düzgün şablon oluşturulmalıdır. Şablon yeşil bantta üretilmesi için bant seçimi yapılır ve şablon üretilir.

Yazılımın “template editor” fonksiyonu çalıştırılır. Örnek şablonun korelasyonu 0,65 olarak belirlenmiştir. Test alanı olarak bir alan belirlenmelidir. Belirlenen alan içerisinde şablonun eşik değeri korelasyondan az olacak şekilde 0,60 olarak belirlenir. Test çalıştırılarak doğru olarak tespit edilen örnekler işaretlenir. Şablon kaydedilerek işlem ağacında “template matching” fonksiyonu çalıştırılır. Vektör katmanının işareti açılarak tespit edilen ağaçlar işaretlenir.

İşlem sonucunda belirlenen ağaçların nokta dosyası (shapefile) olarak dışarıya çıkartılmıştır. Bu dosya ArcGIS yazılımında renkli ortofoto üzerine ağaç tepe noktaları eklenmiştir. Şekil 6.34’te birinci ve ikinci çalışma alanının şablon eşleme sonucu tespit edilen ağaçların gösterimi verilmiştir.



a)

b)

Şekil 6.34: Şablon eşleme metodu, a) birinci çalışma alanında tespit edilen ağaçların gösterimi ve b) ikinci çalışma alanında tespit edilen ağaçların gösterimi.

7. BULGULAR VE TARTIŞMA

Asıl veri ve belirlenen veri setinin sınıflandırma performansının ölçülmesinde kullanılan hata matrisi doğru pozitif (TP), doğru negatif (TN), yanlış pozitif (FP) ve yanlış negatif (FN) belirlenmesiyle oluşmaktadır (Fawcett 2006). Doğruluk (accuracy), duyarlılık (sensitivity), özgüllük (specificity), kesinlik (precision), geri çağırma (recall), f-ölçüm (f-measure), g-ortalama (g-mean) oranlarının belirlenmesi yapılmıştır [Ozdarici-Ok and Ok, 2018].

Doğru pozitif tacın tam tespitini, yanlış pozitif tac içermeyen yerin tac olarak tespiti, doğru negatif tac olmayan yeri tac dışı tespiti, yanlış negatif tac olarak belirlenen ama tac olmayan yerleri temsil etmektedir. Manuel belirlenen taçların görüntüsünde toplam pikselleri bire eşitlenerek başlanmıştır. Eşitlik 7.1’de gösterilmiştir. Manuel belirlenen görüntüde tac içeren piksellere pozitif içermeyen pikseller negatifte değerlendirilmiştir. Şekil 7.1’de hata matrisi gösterilmiştir [Fawcett, 2006],[Powers, 2007],[Chicco and Jurman, 2020].

		Manuel Sayısallaştırma (Actual)	
		Pozitif	Negatif
Belirlenen (Predict)	Pozitif	TP	FP
	Negatif	FN	TN
		Geri Çağırma = $TP / (TP + FN)$	
		Kesinlik = $TP / (TP + FP)$	
		Doğruluk = $(TP + TN) / N$	

Şekil 7.1: Hata Matrisi.

Doğru pozitif asıl olan taçların belirlenen taçlara kıyası, doğru negatif taç olmayan yerlerin asıl ve belirlenen taçların kıyası, yanlış pozitif yanlış piksellerden doğru negatif piksellerin çıkarılmasıyla ve yanlış negatif doğru piksellerden doğru pozitiflerin çıkarılmasıyla oluşturulur. Eşitlik 7.1’den 7.7’ye kadar olan kısımlarda gösterilmiştir [Fawcett, 2006],[Powers, 2007].

$$p = \text{uzunluk [Actual(idpx)]} \quad (7.1)$$

$$n = \text{uzunluk [Actual(~idpx)]} \quad (7.2)$$

$$N = p + n \quad (7.3)$$

$$TP = \text{toplama [Actual(idpx) == Predict(idpx)]} \quad (7.4)$$

$$TN = \text{toplama [Actual(~idpx) == Predict(~idpx)]} \quad (7.5)$$

$$FP = n - TN \quad (7.6)$$

$$FN = p - TP \quad (7.7)$$

Doğru pozitif oranı doğru negatif oranı hesaplanması eşitlik 7.8’de verilmiştir. Doğruluk 7.9’da, duyarlılık 7.10’da, özgüllük 7.11’de, kesinlik 7.12’de, geri çağırma 7.13’de, f-ölçüm 7.14’de, g-ortalama 7.15’te gösterilmiştir [Ozdarici-Ok and Ok, 2011].

$$\text{OranTP} = TP/p \quad \text{OranTN} = TN/n \quad (7.8)$$

$$\text{Doğruluk} = (TP + TN)/N \quad (7.9)$$

$$\text{Duyarlılık} = \text{OranTP} \quad (7.10)$$

$$\text{Özgüllük} = \text{OranTN} \quad (7.11)$$

$$\text{Kesinlik} = TP/(TP + FP) \quad (7.12)$$

$$\text{Geri Çağırma} = \text{Duyarlılık} \quad (7.13)$$

$$f - \text{ölçüm} = 2 * ((\text{Kesinlik} * G. \text{Çağırma}) / (\text{Kesinlik} + G. \text{Çağırma})) \quad (7.14)$$

$$g - \text{ortalama} = \text{sqrt}(\text{OranTP} * \text{OranTN}) \quad (7.15)$$

Bütün hesaplamalar MATLAB yazılımında kodlama yapılarak gerçekleştirilmiştir. Vejetasyon indeksleriyle oluşturulan, Otsu metodu, k-ortalama kümelemesi ve HSV dönüşümü yapılan görüntülerle (Predict), sayısallaştırma görüntüsünün (Actual) doğruluğunun araştırılmasında kullanılmıştır.

nSYM’den lokal maksimum tespiti yapılarak belirlenen ağaç tepe yükseklikleri ile zeminden metre ile ölçülen uzunlukları kıyaslanması regresyon analiziyle yapılmıştır. Zemin ölçümleri ile lokal maksimum yükseklikleri arasında doğrusal ilişkiyi geçirilen en uygun doğruya olan uzunluklarına göre determinasyon katsayısıyla belirlenmiştir. Lineer regresyon gösterimi eşitlik 7.16’da verilmiştir [Fawcett, 2006],[Powers, 2007],[Chicco and Jurman, 2020].

$$y = a_0 + a_1x \quad (7.16)$$

MATLAB yazılımında tespit edilen ağaç sayısı, FUSION yazılımında lokal maksimum filtrelemesi ve eCognition yazılımında yapılan şablon eşleme yöntemiyle tespit edilen ağaçların sayısı toplam ağaç sayısının tespit edilen ağaç sayısına bölümüyle oluşturulan oran doğruluk oranını vermektedir. Eşitlik 7.17'de doğruluk yüzde oranı olarak hesaplanmaktadır.

$$\text{Doğruluk} = (\text{Tespit Edilen Sayı})/(\text{Zemindeki Toplam Sayı}) \quad (7.17)$$

7.1. Vejetasyon İndeksleriyle Taç Belirleme İşleminin Sınıflandırma Sonuçları

MATLAB yazılımında piksel bazında değerlendirme yapacak kodlar oluşturularak manuel olarak tespit edilen taç sınırları ile her bir vejetasyon indeksiyle oluşturulan taçların kıyaslaması yapılmıştır. Manuel olarak sayısallaştırılan görüntüdeki taç içeren kısımların büyüklüğü ile içermeyen kısımların büyüklüğünü hesaplayarak vejetasyon indeksleriyle üretilen taçların büyüklüğü arasında piksel tabanlı hata matrisi değerlendirilmesi yapılmıştır.

Vejetasyon indeksleriyle ağaç taçlarını belirleme işlemleri Bölüm 6.3'te eşitlikleriyle verilmiştir. MATLAB yazılımında yapılan işlemlerle belirlenmiştir. 11 adet vejetasyon indeksi görüntüleri eşik değer belirlenerek binary formata dönüştürülmüştür. Bu eşik değerler taç sınırlarının kaybolmaması için detaylıca histogram analizi yapılarak en uygun değeri tespit edilmiştir. Taç sınırlarının kaybolmaması ve farklı objelerin görüntüde yer almamasına dikkat edilmiştir. Sınıflandırma doğrulukları hata matrisi hesaplanmasıyla belirlenmiştir. Tablo 7.1'de birinci çalışma alanının vejetasyon indekslerinin değerlendirme oranları verilmiştir. Tablo 7.2'de birinci çalışma alanının TP, TN, FP, FN, tam, fazla ve az tespit oranları verilmiştir.

Tablo 7.1: Birinci çalışma alanının vejetasyon indeksleri değerlendirilmesi.

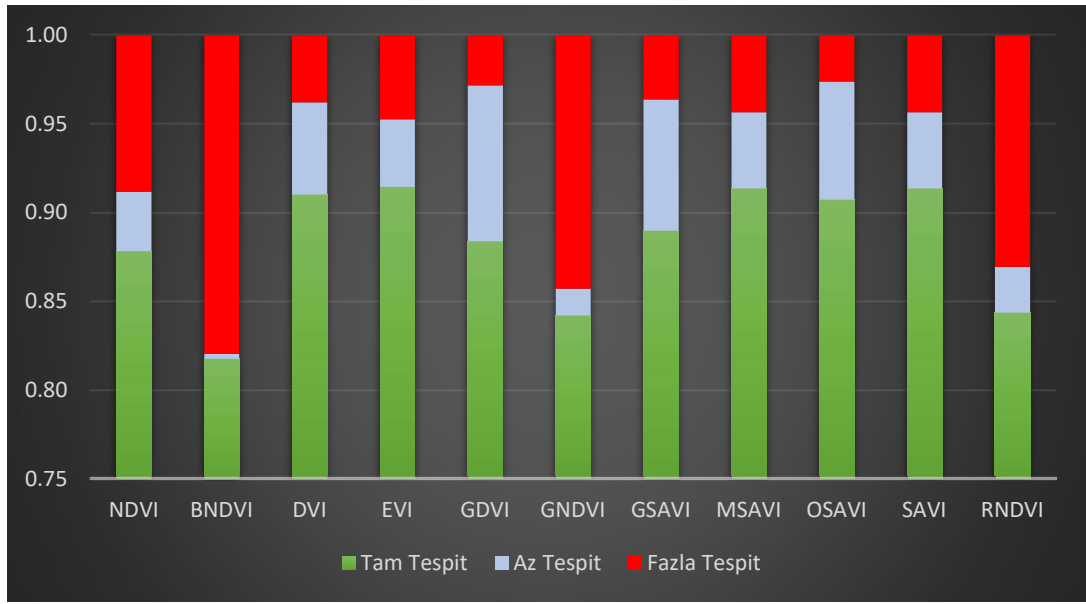
İndeks	Doğruluk	Duyarlılık	Özgüllük	Kesinlik	Geri-Çağırma	f-ölçüm	g-ortalama
NDVI	0.88	0.93	0.83	0.83	0.93	0.88	0.88
BNDVI	0.82	0.99	0.66	0.72	0.99	0.84	0.81
DVI	0.91	0.89	0.93	0.92	0.89	0.9	0.91
EVI	0.91	0.92	0.91	0.9	0.92	0.91	0.91
GDVI	0.88	0.81	0.95	0.93	0.81	0.87	0.88
GNDVI	0.84	0.97	0.73	0.76	0.97	0.85	0.84
GSAVI	0.89	0.84	0.93	0.92	0.84	0.88	0.89
MSAVI	0.91	0.91	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91
OSAVI	0.91	0.86	0.95	0.94	0.86	0.90	0.90
SAVI	0.91	0.91	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91
RNDVI	0.84	0.95	0.75	0.77	0.95	0.85	0.84

İndekslerin doğruluk değerlerine bakıldığında %91 oranında DVI, EVI, MSAVI, OSAVI, SAVI indeksleri, duyarlılığı %99 oranında BNDVI indeksi, özgüllük değerlerinde %95 oranında GDVI ve OSAVI indeksleri, kesinlik oranı %94 olan OSAVI indeksi, geri çağırma %99 oranında BNDVI indeksi, f-ölçüm oranı %91 oranında EVI, MSAVI, SAVI indeksleri, g-ortalama değerlerinde %91 oranında DVI, EVI, MSAVI, SAVI indeksleri en yüksek değerleri vermektedir.

Tablo 7.2: Birinci çalışma alanının TP, TN, FP, FN, tam, fazla ve az tespit oranları.

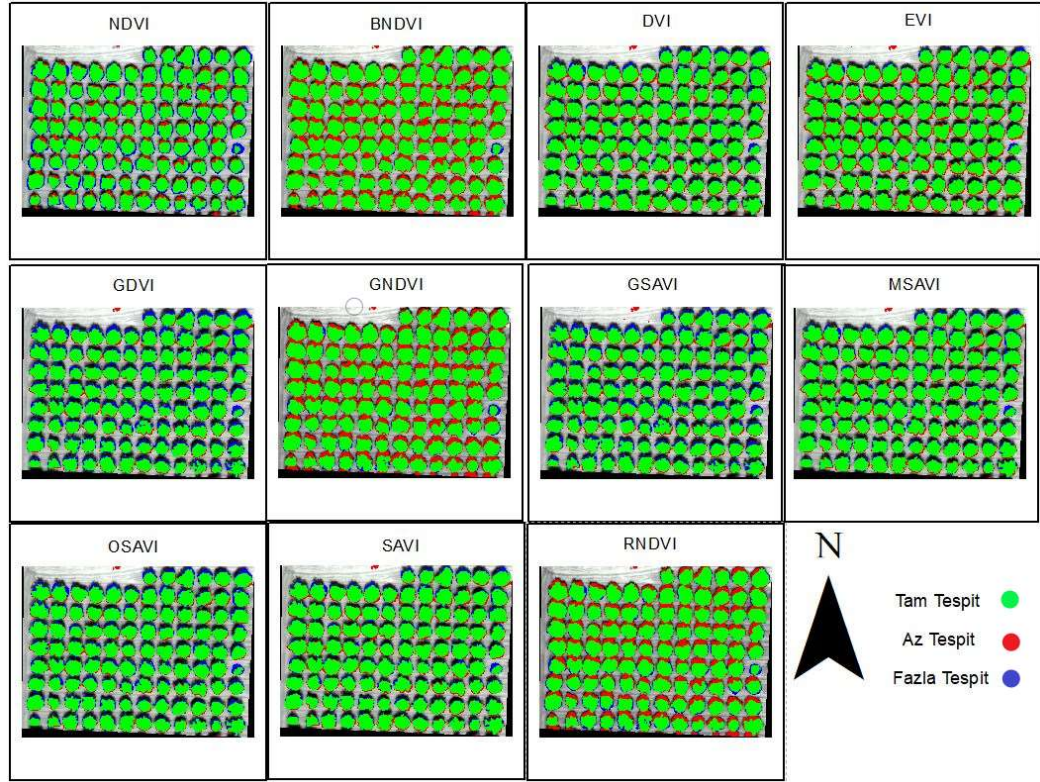
İndeks	TP	FP	TN	FN	Az Tespit	Tam Tespit	Fazla Tespit
NDVI	64063	12936	65003	4942	0.03	0.88	0.09
BNDVI	68596	26383	51556	409	0	0.82	0.18
DVI	61358	5540	72399	7647	0.05	0.91	0.04
EVI	63423	6958	70981	5582	0.04	0.91	0.05
GDVI	56086	4135	73804	12919	0.09	0.88	0.03
GNDVI	66779	20990	56949	2226	0.02	0.84	0.14
GSAVI	58141	5315	72624	10864	0.07	0.89	0.04
MSAVI	62703	6369	71570	6302	0.04	0.91	0.04
OSAVI	59220	3836	74103	9785	0.07	0.91	0.03
SAVI	62703	6369	71570	6302	0.04	0.91	0.04
RNDVI	65233	19190	58749	3772	0.03	0.84	0.13

Birinci çalışma alanının vejetasyon indekslerinde en çok 68596 adet doğru pozitif pikseli BNDVI indeksi tespit etmiştir. En az 58141 adet doğru pozitif pikseli GSAVI indeksi tespit etmiştir. Ağaç taçlarını tam tespit oranlarına bakıldığında DVI, EVI, MSAVI, OSAVI, SAVI indeksleri %91 oranında sonuç vermiştir. En fazla doğru pozitif pikseli veren BNDVI indeksi %82 oranında taçları doğru tespit edebilmiştir. Taç pikselini fazla tespitini %18 oranında BNDVI indeksi vermiştir. Şekil 6.2’de birinci çalışma alanın vejetasyon indeksleriyle tespit oranlarının grafiği verilmiştir.



Şekil 7.2: Birinci çalışma alanının vejetasyon indeksleriyle tespit oranları grafiği.

Şekil 7.2.’de verilen grafikte taçları fazla tespit eden BNDVI, GNDVI ve RNDVI indeksleri olmuştur. İndekslerin sınıflandırma performanslarının değerlendirilmesinde yeşil alanlar doğru pozitif, mavi piksellerin oluşturduğu alanlar yanlış negatif, kırmızı pikseller yanlış pozitif piksel tespitini göstermektedir. Şekil 6.3’ de birinci çalışma alanının vejetasyon indekslerinin piksel tabanlı değerlendirilmesi verilmiştir.



Şekil 7.3: Birinci çalışma alanının vejetasyon indekslerinin piksel tabanlı değerlendirme görüntüleri.

İkinci çalışma alanı daha küçük taçlı ağaçların bulunduğu bir alandır. Görüntü alanı olarak daha büyüktür. Tablo 7.3’de ikinci çalışma alanının vejetasyon indekslerinin değerlendirme oranları verilmiştir. Tablo 7.4’de ikinci çalışma alanının TP, TN, FP, FN, tam, fazla ve az tespit oranları verilmiştir.

Tablo 7.3: İkinci çalışma alanının vejetasyon indeksleri değerlendirmesi.

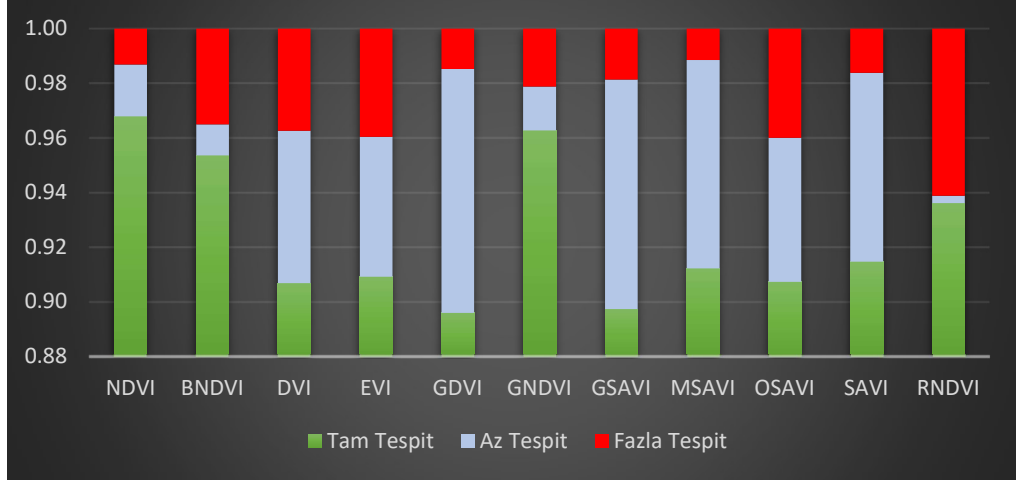
İndeks	Doğruluk	Duyarlılık	Özgüllük	Kesinlik	Geri-Çağırma	f-ölçüm	g-ortalama
NDVI	0.97	0.91	0.98	0.94	0.91	0.92	0.95
BNDVI	0.95	0.95	0.96	0.85	0.95	0.9	0.95
DVI	0.91	0.74	0.95	0.81	0.74	0.77	0.84
EVI	0.91	0.76	0.95	0.80	0.76	0.78	0.85
GDVI	0.90	0.58	0.98	0.89	0.58	0.70	0.76
GNDVI	0.96	0.92	0.97	0.90	0.92	0.91	0.95
GSAVI	0.90	0.61	0.98	0.87	0.61	0.72	0.77
MSAVI	0.91	0.64	0.99	0.92	0.64	0.76	0.80
OSAVI	0.91	0.75	0.95	0.80	0.75	0.78	0.85
SAVI	0.91	0.68	0.98	0.90	0.68	0.77	0.81
RNDVI	0.94	0.99	0.92	0.77	0.99	0.87	0.95

Vejetasyon indeksleriyle üretilen taçlar karşılaştırıldığında %97 doğruluk ile NDVI indeksi en yüksek sonucu vermiştir. GNDVI indeksi %96 doğrulukta sonuç vermiştir. Duyarlılık %99 oranında RNDVI indeksi, özgüllük değerlerinde %99 oranında MSAVI indeksi, kesinlik değerlerinde %94 oranında NDVI, geri çağırma değerlerinde %99 oranında RNDVI indeksi, f-ölçüm değerlerinde %92 oranında NDVI indeksi, g-ortalama değerlerinde %95 oranında NDVI, BNDVI, GNDVI, RNDVI indeksleri en yüksek değerleri vermektedir.

Tablo 7.4: İkinci çalışma alanının TP, TN, FP, FN, tam, fazla ve az tespit oranları.

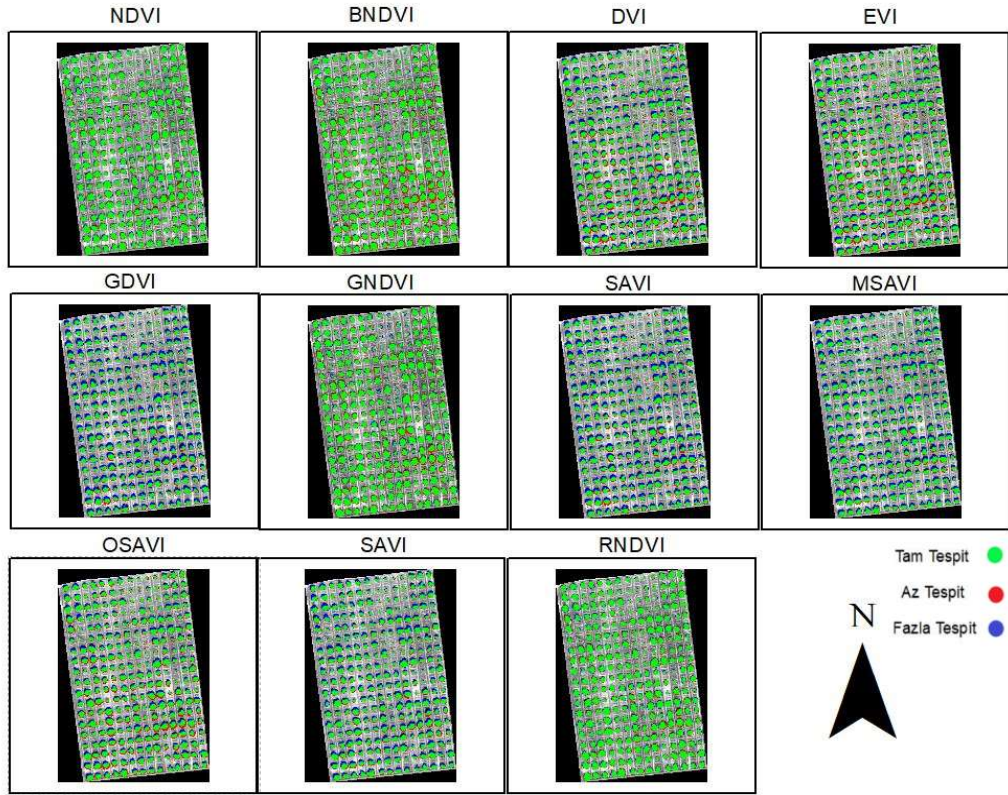
İndeks	TP	FP	TN	FN	Az Tespit	Tam Tespit	Fazla Tespit
NDVI	100696	6832	401240	9842	0.02	0.97	0.01
BNDVI	104664	18183	389889	5874	0.01	0.95	0.04
DVI	81631	19396	388676	28907	0.06	0.91	0.04
EVI	83983	20537	387535	26555	0.05	0.91	0.04
GDVI	64242	7679	400393	46296	0.09	0.90	0.01
GNDVI	102192	10977	397095	8346	0.02	0.96	0.02
GSAVI	67004	9673	398399	43534	0.08	0.90	0.02
MSAVI	70967	5941	402131	39571	0.08	0.91	0.01
OSAVI	83191	20710	387362	27347	0.05	0.91	0.04
SAVI	74652	8364	399708	35886	0.07	0.91	0.02
RNDVI	109155	31735	376337	1383	0.00	0.94	0.06

İkinci çalışma alanında 518.610 tane piksel vardır. Taçların tam tespitini %97 oranında NDVI indeksi yapmıştır. En az doğru pozitif pikseli GDVI indeksi tespit etmiştir. RNDVI indeksi geri çağırma ve duyarlılık değerlendirmesinde %99 sonuç vermektedir. RNDVI indeksi %6 oranında taç olmayan yerleri taç pikseli olarak belirlemiştir. GDVI indeksi %9 oranında daha az taç pikseli tespit etmiştir. Şekil 7.4'de ikinci çalışma alanının vejetasyon indeksleriyle tespit oranları grafiği verilmiştir.



Şekil 7.4: İkinci çalışma alanının vejetasyon indeksleriyle tespit oranları grafiği.

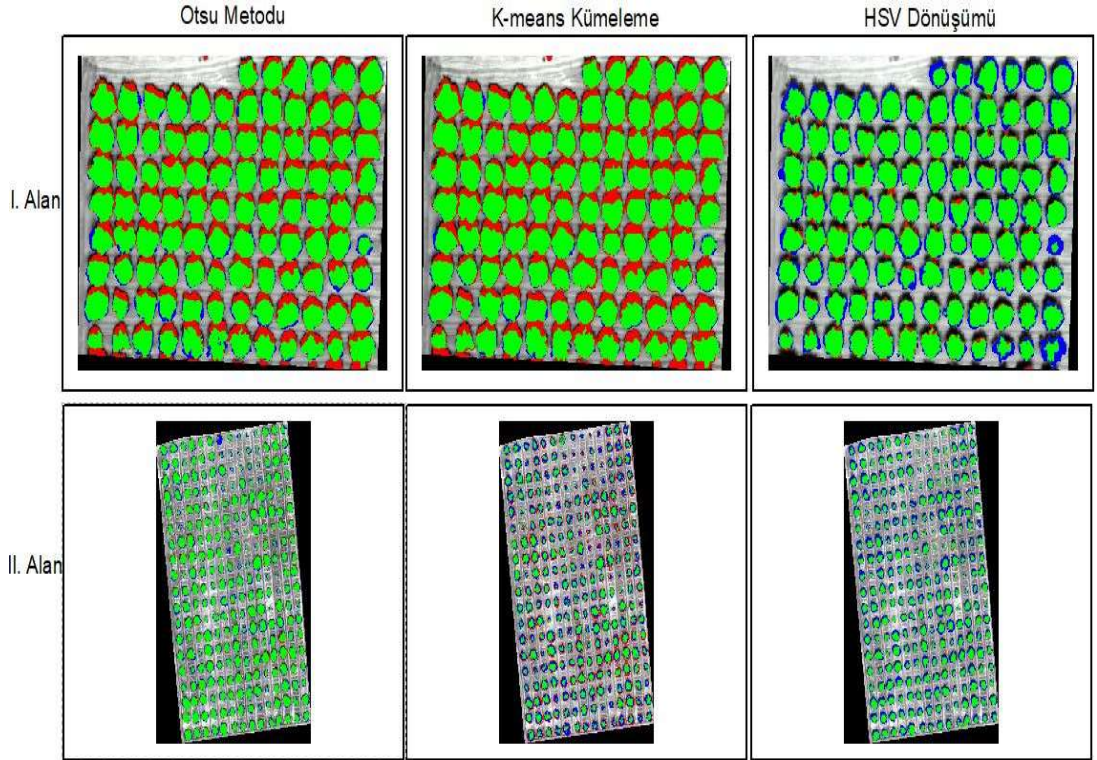
İkinci çalışma alanındaki uygulanan indekslerin piksel tabanlı değerlendirme görüntüleri Şekil 7.5’de verilmiştir. Görüntülerin değerlendirilmesi MATLAB yazılımında yapılmıştır. Her bir indeksin sonucu kaydedilmiştir. Yeşil pikseller tam tespiti, kırmızı pikseller fazla tespiti ve mavi pikseller az tespiti göstermektedir.



Şekil 7.5: İkinci çalışma alanının vejetasyon indekslerinin piksel tabanlı değerlendirme görüntüleri.

7.2. Ağaç Taç Segmentasyonu Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Tez kapsamında uygulanan üç farklı segmentasyon yönteminin değerlendirilmesi manuel olarak çizilen taçlara göre değerlendirilmiştir. Piksel tabanlı değerlendirme işlemiyle doğrulukları belirlenmiştir. Şekil 7.6’da birinci ve ikinci çalışma alanlarının segmentasyon sonucu değerlendirme görüntüleri verilmiştir. Yeşil pikseller tam tespiti, kırmızı pikseller taç dışındaki fazla tespiti ve mavi pikseller taç olan yerlerin az tespitini göstermektedir. Otsu metodu, k-ortalama kümeleme ve HSV dönüşüm her iki alan içinde uygulanmış değerlendirilme sonuçları az, fazla ve tam tespit oranlarıyla Tablo 7.5’de verilmiştir.



Şekil 7.6: Birinci ve ikinci çalışma alanlarının segmentasyon sonucu piksel değerlendirme görüntüleri.

Piksel tabanlı değerlendirmelerin sonucunda yeşil pikseller taçların tam tespitini, mavi alanlar az tespiti ve kırmızı alanlar fazla tespiti göstermektedir.

Tablo 7.5: Segmentasyon sonuçlarının değerlendirme tablosu.

Alan	Segmentasyon	TP	FP	TN	FN	Az Tespit	Tam Tespit	Fazla Tespit
1	OTSU	65233	19190	58749	3772	0.03	0.84	0.13
	K-MEANS	67160	22988	54951	1845	0.01	0.83	0.16
	HSV	55376	2818	75121	13629	0.09	0.89	0.02
2	OTSU	89249	3081	404991	21289	0.04	0.95	0.01
	K-MEANS	57574	31610	376462	52964	0.10	0.84	0.06
	HSV	63034	302	407770	47504	0.09	0.91	0.00

Birinci çalışma alanında yapılan segmentasyon işlemleri sonucunda en yüksek taç belirleme doğruluğu %89 oranında HSV dönüşümüyle elde edilmiştir. HSV dönüşümü %9 oranında taç piksellerinin az tespit etmiştir. K-ortalama kümeleme yönteminde taçların fazla tespiti %16 oranındadır. Kümeleme yönteminde az tespit oranı %1 oranındadır. İkinci çalışma alanının HSV dönüşümü ile segmentasyon sonucu %91 doğruluğu yakalamıştır. Otsu metodu ile %95 oranında doğrulukla taçlar tespit edilmiştir. İki alan için farklı segmentasyon yöntemleriyle taçları zeminden ve diğer objelerden ayırt etme doğruluğu taç boyutu ve eşik değer belirlenmesi oranına göre değişmektedir.

7.3. Ağaç Sayısı Tespitinin Değerlendirilmesi

Ağaç sayısı belirleme işlemleri üç farklı yazılımda yapılan çalışmalarda belirlenmiştir. Birinci çalışma alanında bulunan toplam ağaç sayısı 102 adettir. İkinci çalışma alanında 266 ağaç bulunmaktadır. Tez kapsamında MATLAB yazılımında yapılan işlemler sonucunda ağaçların taçlarının tespitine yönelik çalışmalar yapılmıştır. eCognition yazılımında şablon eşleme yöntemiyle ağaçların tepe noktaları tespit edilerek sayımı yapılmıştır. FUSION yazılımında lokal maksimum tespitiyle ağaç tepe noktası tespiti yapılmıştır. Tespit edilen ağaç sayısının mevcutta var olan sayısıyla oranlanmasıyla tespitlerin doğruluk kıyaslaması yapılmıştır. Tablo 7.6'da belirlenmiş bölgelerde tespit edilen ağaç sayısı ve doğruluk oranları verilmiştir.

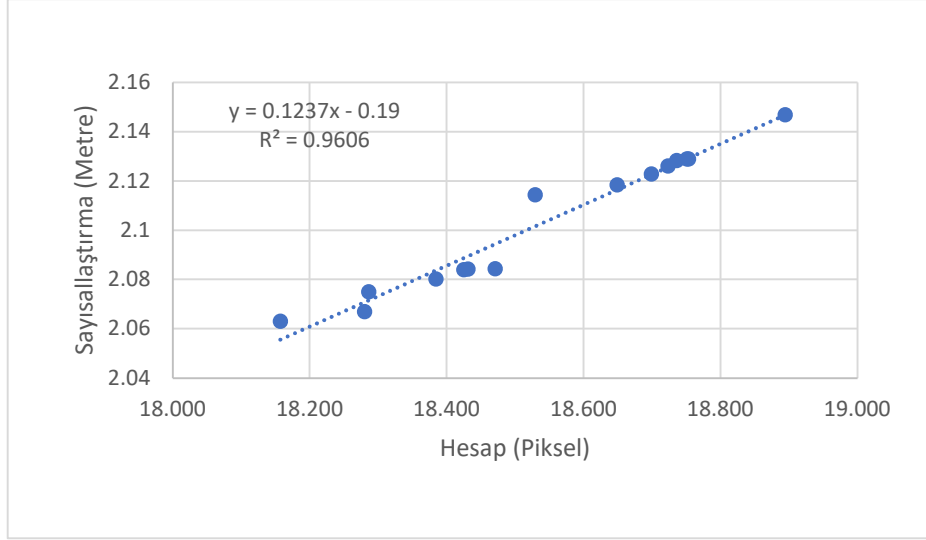
Tablo 7.6: Tespit edilen ağaç sayıları ve doğruluk oranları tablosu.

Alan	Kullanılan Yazılım	Toplam Ağaç Sayısı	Tespit Edilen Sayısı	Tespit Edilemeyen Sayısı	Doğruluk
I	Matlab	102	101	1	0.99
II	Matlab	266	262	4	0.98
I	eCognition	102	97	5	0.95
II	eCognition	266	221	45	0.83
I	FUSION	102	84	18	0.82
II	FUSION	266	204	62	0.77

MATLAB yazılımında taçların tespitine yönelik yapılan çalışmanın sonucunda birinci çalışma alanında tespiti yapılamayan 1 ağaç olduğu ve %99 doğrulukla tespit yapıldığı görülmektedir. İkinci çalışma alanında 4 adet tespit edilemeyen taç bulunmaktadır. Tespiti yapılamayan taçların ihmal kaçırma hatasından kaynaklandığı görülmektedir. Bu taçların boyutları belirlenen ağaç tacı boyutları altında kalması nedeniyle sayılamamıştır. Şablon eşleme metoduyla yapılan tespit çalışmasında ihmal edilen sayısı ikinci çalışma alanında 45 adettir. Bu çalışma alanında ağaç taç boyutları küçük olması sebebiyle ihmal hatası yüksektir. Lokal maksimum belirleme yöntemi uygulayan FUSION yazılımında birinci çalışma alanında %82 doğrulukla, ikinci çalışma alanında %77 doğrulukla tespit yapılabilmektedir.

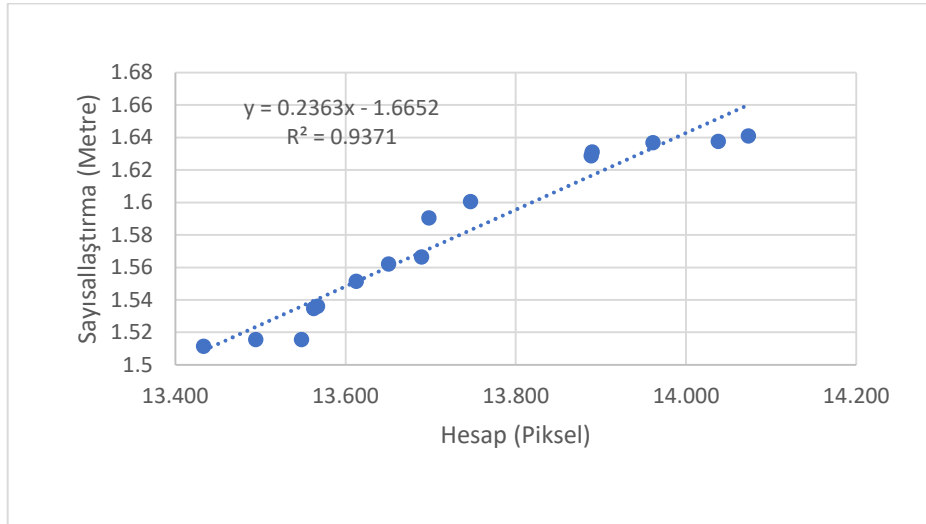
7.4. Ağaç Taç Boyutu Tespitinin Değerlendirilmesi

Ağaçların taç boyutları MATLAB yazılımının kütüphanesinde bulunan “regionprops” fonksiyonu kullanılarak çıkarılmıştır. Ortofoto üzerinden sayısallaştırmayla çizilen taçlar yazılımla tespit edilen taçlarla kıyaslanmıştır. Regresyon analizi yapılarak belirlenen determinasyon katsayısı tespit edilen ölçülerin değerlendirilmesinde kullanılmıştır. Katsayı bire ne kadar yakınsa aralarında doğru ilişki olduğunu göstermektedir. Şekil 7.7’de birinci çalışma alanının taç boyutlarıyla tespit edilen taçların arasındaki ilişkinin analizi verilmiştir. Şekil 7.8’de ikinci çalışma alanının tespit edilen taçlarla sahada ölçülen taçlar arasındaki ilişki verilmiştir.



Şekil 7.7: Birinci çalışma alanının taç çapı belirlemesi regresyon analizi.

Birinci çalışma alanının taç boyutlarının 18 piksel ile 19 piksel arasındadır. 2 metre ile 2,16 metre arasında taç büyüklükleri ölçülmüştür. Determinasyon katsayısı $R^2 = 0,9606$ olması, hesaplanan değerlerin sayısallaştırma değerlerine yakın olduğunu göstermektedir.



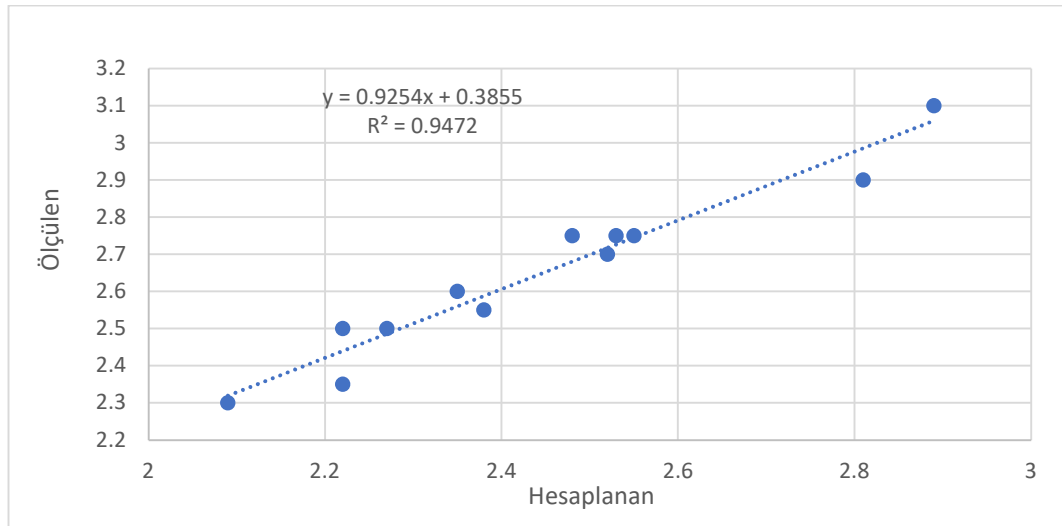
Şekil 7.8: İkinci çalışma alanının taç çapı belirlemesi regresyon analizi.

İkinci çalışma alanının taç çapları 1,5 metre ile 1,7 metre arasındadır. Taçların yazılımla hesaplanan çap değerleri 13-14 piksel arasındadır. Belirlenen determinasyon katsayısı $R^2 = 0,9371$ olarak hesaplanmıştır.

Regresyon grafiklerinin oluşturulması MS Excel yazılımında yapılmıştır. Hesaplanan y ve R^2 değerleri otomatik olarak üretilmiştir. Hesaplanan ölçüler piksel sayısı olarak verilmiştir. Sayılaşdırma ölçüleri yazılımda metre olarak ölçülmüştür.

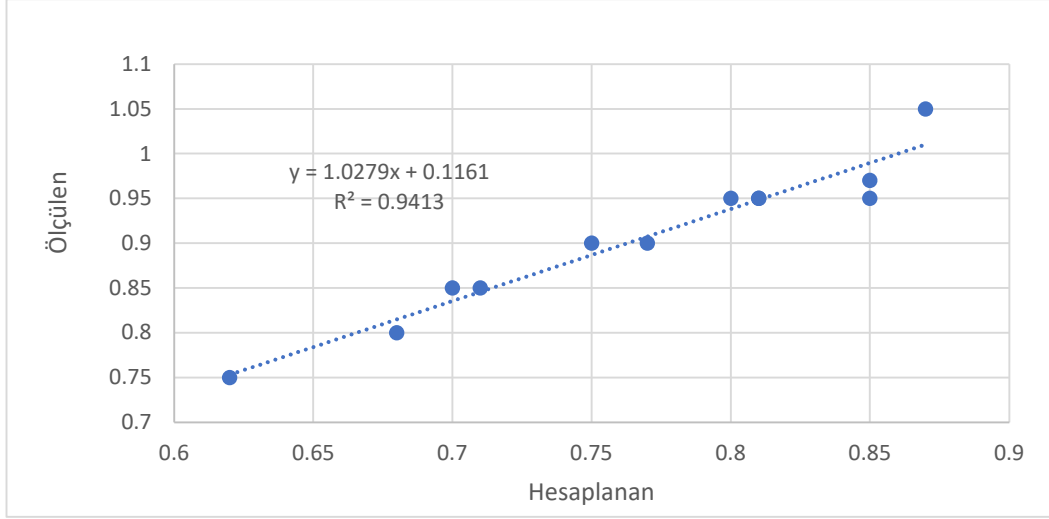
7.5. Ağaç Yükseklikleri Tespitinin Değerlendirilmesi

FUSION yazılımında lokal maksimum filtreleme tekniğiyle tespit edilen ağaçların bilgileri koordinatlarıyla birlikte MS Excel formatına çevrilerek dışa aktarılmıştır. Bu dosyadan belirlenen ağaçların koordinatları ve yükseklik bilgileri arazide alınan ölçüler ile karşılaştırılarak regresyon analizi yapılmıştır. Şekil 7.9'da birinci çalışma alanının ağaç yüksekliği regresyon analizi, Şekil 7.10'da ikinci çalışma alanının ağaç yüksekliklerinin regresyon analizi verilmiştir.



Şekil 7.9: Birinci çalışma alanının ağaç yüksekliği tespiti regresyon analizi.

Belirlenen ağaç yükseklikleri ile yazılımda hesaplanan ağaç yükseklikleri arasında ilişkinin pozitif ve yüksek ilişki içerisinde olduğunu R^2 değerlerinin 1'e yakın olmasıyla ve çizginin pozitif artış yönüne bakarak belirleyebiliriz. Birinci çalışma alanının verilerine bakılınca hesaplanan değerlerin 2,1 m ile 2,9 m arasında, arazi ölçümlerinin 2,3 m ile 3,1 m arasında yüksekliklerden oluştuğunu göstermektedir.



Şekil 7.10: İkinci çalışma alanının ağaç yüksekliği tespiti regresyon analizi.

İkinci çalışma alanının saçılım grafiğinde arazi ölçülerinin 0,75 m ile 1,05 m arasındaki yüksekliklerden oluştuğunu, hesaplanan değerlerin 0,6 m ile 0,9 m arasında değerlerden oluştuğunu göstermektedir. Birinci çalışma alanının determinasyon katsayısı $R^2 = 0,9472$, ikinci çalışma alanının determinasyon katsayısı $R^2 = 0,9413$ olarak hesaplanmıştır. Ölçüler ile hesaplanan değerler arasında ilişkinin yüksek olduğu görülmektedir.

8. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çalışma alanının seçiminde multispektral kamerayla elde edilmiş görüntülerin temin edilebilir olması en büyük etkidir. Multispektral bantlarda kayıt yapan kameralar kolay temin edilememektedir. Bu nedenle TÜBİTAK tarafından sağlanan görüntüler elde edilmeden önce arazi çalışması imkânı olmamıştır. Bu nedenle yer kontrol noktası tesisi mevcut değildir. Dijital görüntülerin değerlendirilmesi sürecinde yer örneklem mesafesi 11,45 cm olarak hesaplanmıştır. Oluşturulan ortofoto ve sayısal arazi modelinde bir pikselin zeminde karşılık gelen kenar boyutu yer kontrol noktası tesisiyle daha yüksek çözünürlükte sağlanabilmektedir.

İHA'nın uçuş yüksekliği ve monte edilmiş olan kameranın spektral ve radyometrik çözünürlüğü elde edilen fotoğrafların kalitesini belirlemektedir. Uçuş yüksekliğinin fazla olması bir pikselin zeminde daha fazla alan kapsamına ve görüntüde nesnelerin ayırt edilebilmesi zorlaşmaktadır.

Fotoğrafların işlenmesi Pix4D yazılımının deneme sürümünde yapılmıştır. Programın en yüksek çözünürlük seçeneğinde işlem yapması sağlanmıştır. Nokta yoğunluğunu, görüntü ölçeğini ve bağlama noktalarının sıklığını en üst düzeyde oluşturacak şekilde belirlenmiştir.

Tez kapsamında kullanılan yazılım ve donanımlar en üst seviyede değerlendirilmeye çalışılmıştır. Veri olarak İHA üzerine monte edilmiş lazer tarama cihazından veri edilerek daha hassas sayısal arazi modeli elde edilebilir. Lazer tarama verisinin temini maliyet anlamında yük gerektirecektir.

Vejetasyon indekslerinin hesaplanmasında MATLAB yazılımı tercih edilmiştir. Matris çözümünde kullanım ve görüntü işleme konusunda etkili olduğu için tercih edilmiştir. İndekslerin oluşturulmasıyla binary formata dönüşümde eşik belirleme konusuna çok dikkat edilmelidir. Eşik değeri belirlenirken oluşan indeks görüntülerinin dikkatli incelenerek optimum değer belirlenmelidir. Taçların haricinde zeminde oluşan objeler için morfolojik operatörler tercih edilmiştir. Bu operatörlerin yapısal elemanlarının belirlenmesi azami özen gerektirmektedir. Yapısal elemanın büyük olması taçlarda fazla erime ya da fazla genişleme yapabilmektedir. Taç yapısının bozulması yanlış sonuçlara götürebilmektedir.

Açılma ve kapanma filtresi segmentasyonun en hassas şekilde yapılması için dikkatli ve ölçülü oranda kullanılması gerekmektedir. Birinci çalışma alanının taç

boyutlarında kullanılan açılma filtresinde yapısal eleman büyüklüğü ikinci çalışma alanında kullanılması taşların kaybolmasına sebep olmaktadır. Piksel tabanlı değerlendirmenin doğruluğu açısından taş alanlarının tam oluşması gerekmektedir. Morfolojik operatörlerin birbiri ardına kullanılarak taşların dışındaki objelerin kaldırılmasında taşların içinde boşlukların doldurulması sağlanmıştır. Filtrelerin ikisi de uygulanması gerekmektedir.

Taşların Otsu metodu, k-ortalama kümelemesi ve HSV dönüşümüyle segmentasyonu işleminde MATLAB yazılımının fonksiyonları kullanılmıştır. Oluşan görüntülerin binary formata dönüşümünde eşik değer deneme yöntemiyle belirlenmiştir. Oluşturulan görüntülerde morfolojik filtrelemeler yapılmıştır. Yapısal elemanların en uygun değeri her bir yöntem için farklı belirlenmiştir. Segmentasyon işleminde en iyi sonucu birinci çalışma alanı için HSV dönüşümü, ikinci çalışma alanında Otsu metodu vermiştir. Uygulanan üç metodun fonksiyonlarının dışında herhangi bir işlem uygulanmamıştır. Bu metodların haricinde sınıflandırmanın doğruluğunu artırmak için ek metodlar uygulanırsa daha iyi sonuçlar elde edilebilir.

Ağaç sayısının belirlenmesi işlemlerinde 3 farklı yazılım kullanılmıştır. Yöntem olarak 3 farklı yöntemle tespit sağlanmıştır. MATLAB yazılımında ağaçların taşlarının sayımının yapılması yöntemiyle ağaç sayısı belirlenmiştir. Taş sınırları düzgün olan ağaçların yuvarlaklığından yararlanarak tespit yapılmıştır. Düzgün sınırlar içermeyen veya arama penceresinin boyutlarından farklı olan taşlar tespit edilememiştir. Arama penceresi boyutu en küçük taş boyutu ve en büyük taş boyutu piksel sayısı olarak bir aralıkta belirlenir. Üst sınırın genişlemesi taşları birleştirerek bir taş olarak sayılmasına sebep olmaktadır. Alt sınırın küçük tutulması bir taş içerisinde birden çok küçük taş olarak tespit yapabilmektedir. Aralığın tespiti doğruluğu etkilemektedir. En uygun değer taşların piksel boyutlarının ölçülmesiyle belirlenmelidir.

eCognition yazılımıyla ağaç sayısının tespitinde şablon belirleme işleminin hassasiyetle yapılmasını gerektirmektedir. Şablonlar oluşturulurken taşlar tam olarak kapsanmalıdır. Yeterli sayıda taş seçilerek belirlenmelidir. Oluşturulan şablonun tam orta noktasının tacın ortasına denk gelmesine özen gösterilmelidir. Şablonun belirlenmesinde uygulanacak görüntüyü içeren ağaç taşlarının seçilmesi önem arz etmektedir. Tacın büyüklüğü, dokusu, renk içeriği ve gölgesi işlemin doğruluğunu etkilemektedir. Şablonun korelasyonu görüntüdeki taşlarla yüksek korelasyonda olması ve belirlenen eşik değerinin en uygun seçilmesi gerekmektedir.

FUSION yazılımı lokal maksimum tespiti yaparak ağaç sayısını tespit etmektedir. Lokal maksimum tespitinde nSYM'nin doğruluğu ve mekansal çözünürlüğü önemlidir. Oluşturulan yükseklik modelinde ağaçların ortalama yerden yüksekliği doğru tayin edilmelidir. Yüksekliğin fazla belirlenmesi kısa boylu ağaçların ihmal edilmesini, az belirlenen yüksekliklerin uzun boylu ağaçların ihmalini sağlamaktadır. Arama penceresinin boyutları tepe noktalarının tespiti için dikkat edilmesi gereken bir başka husustur. Pencere boyutları belirlenmesi alandaki taç boyutlarına göre yapılmalıdır. Arama penceresinin küçük tutulması ağaç tacı içerisinde birden fazla maksimum nokta belirlenmesine, fazla tutulması bazı ağaçların maksimumlarının atlanarak ihmal hatasına yol açmaktadır. Hem arama penceresi boyutu hem de minimum ağaç yüksekliğinin belirlenmesi ağaç sayısı tespitinde doğruluğu etkilediği sonucuna varılmıştır.

Ağaç yüksekliklerinin tespitinin değerlendirilmesinde FUSION yazılımında belirlenen ağaç yükseklikleriyle zeminde metre ile ölçülen ağaç yükseklikleri arasında ilişki yüksektir. Metreyle ölçülen yüksekliklerin yazılımda elde edilen değerlere göre 10 – 15 cm fazla olduğu görülmüştür. Bu farklılığın nSYM'nin mekansal çözünürlüğüyle alakalı olduğu sonucuna varılmıştır. Yüzey modellerinin üretiminde yer kontrol noktası tesisi mekansal çözünürlüğün artmasına ve değerlendirmenin doğruluğunun artmasını sağlayacaktır.

Ağaç taç boyutlarının değerlendirilmesinde sayısallaştırmayla elde edilen referans verinin doğruluğu göz hassasiyetiyle ve görüntünün mekansal çözünürlüğüyle doğrudan ilişkilidir. Referans verinin oluşturulmasında görüntüdeki ağaçlar detaylıca ve azami incelikte çizilmiştir. MATLAB yazılımında her iki alanda bulunan ağaçların en iyi sonuç veren vejetasyon indeksleriyle tespit edilen taçlar kullanılmıştır. Bu işlemde uygulanan morfolojik operatörlerin etkisi taçları küçültme etkisi görülmektedir. Yapısal operatör vasıtasıyla ve açılma filtresi taçların çapını 1 – 2 piksel boyutunda küçültmüştür. Görüntüde bulunan tüm ağaç taçlarında bu etki aynı orandadır.

Birbirinden konum olarak ayrık olan ağaçların taçları birbiri içerisine girmeyen yapıdaki vejetasyon alanlarında ağaç sayısı tespiti ve taç boyutlarının tespiti yüksek doğrulukla sağlanabilmektedir. MATLAB yazılımıyla yapılan ağaç sayısı tespitinde ihmal hatası belirlenen arama penceresinden küçük olan taçlarda gerçekleşmiştir. Birinci çalışma alanında 1 tane, ikinci çalışma alanında 4 tane tespit edilemeyen taç bulunmaktadır. Düzgün nizamda dikilen birbirinden ayrık ağaçların tespitinde %99

doğrulukla uygulanabilir olduğudur. Karışık nizamda dikili alanlarda bu yöntemin sonuçlarını başka çalışmalarda değerlendirmek gereklidir. Tam tespit yapılabilmesi için geliştirilmesi gereklidir.

Bu sonuçlara bakıldığında klasik yöntemlerle yapılan sayım işlerine ve ölçüm sonuçlarına göre yüksek doğrulukta ve maliyet açısından avantajlıdır.

Yakın kızılötesi bant kullanılarak farklı çeşit barındıran ağaçların sınıflandırılması mümkündür. Büyük orman alanına sahip alanlarda ağaç envanteri çıkarımı çalışmalarında kolaylık sağlayacaktır. İnsansız hava araçlarıyla elde edilecek bu görüntülerin kullanımı ağaç envanteri çıkarımı konusunda hızlı ve ekonomik sonuçlar verebilecektir. Orman meşcere alanlarında plantasyonun her yıl düzenli olarak izlenmesi mümkündür. Gelişimin izlenmesi ve zarar gören alanların hızlı tespiti yapılmasında bu yöntemler etkili olacaktır.

KAYNAKLAR

Akarsu N., (2019), “Orman sahalarında ağaç boyunun fotogrametrik yöntemlerle elde edilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Kastamonu Üniversitesi.

Atalı G., Özkan S. S., Karayel D., (2016), “Morfolojik görüntü işleme tekniği ile yapay sinir ağlarında görüntü tahribat analizi”, Academic Platform Journal of Engineering and Science, 4 (1), 1–7.

Beare R., (2006), “A locally constrained watershed transform”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 28 (7), 1063–1074.

Boztoprak H., Çağlar M. F., Merdan M., (2007), “Alternatif morfolojik bir yöntemle plaka yerini saptama”, Biyomedikal Mühendisliği Ulusal Kongresi, Eskişehir, Türkiye, 28 Nisan.

Brandtberg T., Walter F., (1998), “Automated delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images by multiple-scale analysis”, Machine Vision and Applications, 11 (2), 64–73.

Breen E. J., Jones R., Talbot H., (2000), “Mathematical morphology: A useful set of tools for image analysis”, Statistics and Computing, 10 (2), 105–120.

Boyras Ö., Yıldız M., (2016), “Mobil damar görüntüleme cihazı tasarımı”, 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, 159-168, Antalya, Turkey, 3-5 November.

Chen Qi, Baldocchi D., Gong P., Kelly M., (2006), “Isolating individual trees in a savanna woodland using small footprint lidar data”, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 72 (8), 923–932.

Chicco D., Jurman G., (2020), “The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation”, BMC Genomics 21 (1), 1–13.

Clevers Jan G. P. W., (2016), “Book review Fundamentals of Satellite Remote Sensing: An Environmental Approach, Emilio Chuvieco”, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 51, 74–75.

Culvenor D. S., (2002), “TIDA: An algorithm for the delineation of tree crowns in high spatial resolution remotely sensed imagery”, Computers and Geosciences 28 (1), 33–44.

Culvenor D. S., (2000), “Development of a tree delineation algorithm for application to high spatial resolution digital imagery of Australian native forest”, Doctor of Philosophy Thesis, The University of Melbourne.

Çölkesen İ., Yomralıoğlu T., (2014), “Arazi örtüsü ve kullanımının haritalanmasında WorldView- 2 uydu görüntüsü ve yardımcı verilerin kullanımı”, *Harita Dergisi*, 152 (2), 12–24.

Dralle K., Rudemo M., (1997). “Automatic estimation of individual tree positions from aerial photos”, *Canadian Journal of Forest Research*, 27 (11), 1728–1736.

Erikson M., (2004). “Segmentation and Classification of Individual Tree Crowns in High Spatial Resolution Aerial Image”, Doctor of Philosophy Thesis, Swedish University of Agricultural Sciences.

Fawcett T., (2006), “An introduction to ROC analysis”, *Elsevier Science Inc.*, 27 (8), 61–74.

Fujimoto A., Haga C., Matsui T., Machimura T., Hayashi K., Sugita S., Takagi H., (2019), “An end to end process development for UAV-SfM based forest monitoring: Individual tree detection, species classification and carbon dynamics simulation”, *Forests*, 10 (8), 1–27.

Gitelson A. A., Kaufman Y. J., Merzlyak M. N., (1996), “Use of a green channel in remote sensing of global vegetation from EOS- MODIS”, *Remote Sensing of Environment*, 58 (3), 289–298.

Gougeon F. A., (1995), “A crown-following approach to the automatic delineation of individual tree crowns in high spatial resolution aerial images”, *Canadian Journal of Remote Sensing*, 21 (3), 274–284.

Gougeon F. A., Leckie D. G., (2006), “The individual tree crown approach applied to Ikonos images of a coniferous plantation area”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 72 (11), 1287–1297.

Gürbüz M. F., (2016), “Kentsel alanlarda iha görüntülerinden ortofoto oluşturma ve otomatik ağaç tespiti”, *Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi*.

Gürbüz M. F., Türker M., (2017), “Çok yüksek çözünürlüklü iha görüntülerinden otomatik ağaç tespiti”, *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 17, 75–83.

Gomes M., Maillard P., (2016), “Detection of tree crowns in very high spatial resolution images” *Environmental Applications of Remote Sensing References*, IntechOpen, <http://dx.doi.org/10.5772/62122>.

Hancock D. W., Dougherty C. T., (2007), “Relationships between blue- and red-based vegetation indices and leaf area and yield of alfalfa”, *Crop Science*, 47 (6), 2547–2556.

Haralick R. M., Sternberg S. R., Zhuang X., (1987), “Image analysis using mathematical morphology”, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, PAMI-9 (4), 532–550.

Hlaváč V., (2019), “Mathematical Morphology”, Lecture Note, Czech Technical University.

Hyypä J., Yu X., Hyypä H., Vastaranta M., Holopainen M., Kukko A., Kaartinen H., Jaakkola A., Vaaja M., Koskinen J., Alho P., (2012), “Advances in forest inventory using airborne laser scanning”, *Remote Sensing*, 4 (5), 1190–1207.

Kaartinen H., Hyypä J., Yu X., Vastaranta M., Hyypä H., Kukko A., Holopainen M., Heipke C., Hirschmugl M., Morsdorf F., Næsset E., Pitkänen J., Popescu S., Solberg S., Wolf B. M., Wu J. C., (2012), “An international comparison of individual tree detection and extraction using airborne laser scanning”, *Remote Sensing*, 4 (4), 950–974.

Karhan M., Oktay M. O., Karhan Z., Demir H., (2011), “Morfolojik görüntü işleme yöntemleri ile kayıslarda yaprak delen (çil) hastalığı sonucu oluşan lekelerin tespiti”, 6th International Advanced Technologies Symposium, Turkey, Elâzığ, 16-18 May.

Kattenborn T., Sperlich M., Bataua K., Koch B., (2014), “Automatic single palm tree detection in plantations using UAV-based photogrammetric point clouds”, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences- ISPRS Archives*, 40 (3), 139–144.

Kavzoğlu T., Tonbul H., (2017), “A comparative study of segmentation quality for multi-resolution segmentation and watershed transform”, *Proceedings of 8th International Conference on Recent Advances in Space Technologies, RAST 2017 (June)*, 113–117.

Ke Y., Quackenbush L. J., (2011), “A review of methods for automatic individual tree-crown detection and delineation from passive remote sensing”, *International Journal of Remote Sensing*, 32 (17), 4725–4747.

Keçeci S. B., (2011), “Sayısal yükseklik modellerinin oluşturulmasında kullanılan enterpolasyon yöntemlerinin karşılaştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi.

Lefèvre S., Weber J., Sheeren D., (2010), “Automatic building extraction in VHR images using advanced morphological operators”, *IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas (URBAN)*, DOI: 10.1109/URS.2007.371825.

Lindeberg T., (1998), “Feature Detection with Automatic Scale Selection”, *International Journal of Computer Vision*, 30 (2), 79–116.

Köse M. H., 2006. “Uydu radar görüntülerinden üç boyutlu sayısal arazi modelin üretilmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi.

Larsen M., Rudemo M., (1997), “Using ray-traced templates to find individual trees in aerial photographs”, In *Proceedings of the 10th Scandinavian Conference on Image Analysis*, 1007–1014.

Ok A. O., Ozdarici-Ok A., (2018), “Combining orientation symmetry and LM cues for the detection of citrus trees in orchards from a digital surface model”, *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 15 (12), 1817–1821.

Özdarıcı-Ok A., (2014), “Yüksek mekânsal çözünürlüklü uydu görüntülerinden otomatik ağaç tespiti: yeni bir yaklaşım”, 5. Uzaktan Algılama-CBS Sempozyumu (UZAL-CBS 2014), İstanbul, Türkiye, 14-17 Ekim.

Özşen Ö., (2004), “Mamogramlar üzerinde uygulanan görüntü işleme tekniklerini incelenmesi”, *Signal Processing and Communications Applications Conference*, 7 (1), 75-82.

Pádua L., Marques P., Adão T., Hruška J., Peres E., Morais R., Sousa A., Sousa J. J., (2018), “UAS-based imagery and photogrammetric processing for tree height and crown diameter extraction”, *ACM International Conference Proceeding Series*, 11 (7), 87–91.

Pinz A. J., (1991), “A computer vision system for the recognition of trees in aerial photographs”, NASA, Goddard Space Flight Center, Multisource Data Integration in Remote Sensing, 111-124, NASA, United States, 01 January.

Pitkänen J., (2001), “Individual tree detection in digital aerial images by combining locally adaptive binarization and local maxima methods”, *Canadian Journal of Forest Research*, 31 (5), 832–844.

Pollock J., (1996), “The Automatic Recognition of Individual Trees In Aerial Images Of Forest Based On A Synthetic Tree”, Doctor of Philosophy Thesis, University of British Columbia.

Pouliot D. A., King D. J., Bell F. W., Pitt D. G., (2002), “Automated tree crown detection and delineation in high-resolution digital camera imagery of coniferous forest regeneration”, *Remote Sensing of Environment*, 82 (2–3), 322–334.

Powers D. M. W., (2007), “Evaluation: from precision, recall and f-factor to roc, informedness, markedness & correlation”, *Journal of Machine Learning Technologies*, 2 (December), 37–63.

Qi J., Chehbouni A., Huete A. R., Kerr Y.H., Sorooshian S., (1994), “A modified soil adjusted vegetation index”, *Remote Sensing of Environment*, 48 (2), 119–126.

Rouse J. W., Hass R. H., Schell J. A., Deering D. W., (1973), “Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS”, *Third Earth Resources Technology Satellite (ERTS) Symposium*, 1, 309–317.

Serifoglu C., Gungor O., Yilmaz V., (2016), “Performance evaluation of different ground filtering algorithms for uav-based point clouds”, *ISPRS- International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, June, 245–251.

Sperlich M., Kattenborn T., Koch B., Kattenborn G., (2014), “potential of unmanned aerial vehicle based photogrammetric point clouds for automatic single tree detection”, Gemeinsame Tagung DGfK, September, 1–6.

Sripada R. P., Heiniger R. W., White G. J., Meijer A. D., (2006), “Aerial color infrared photography for determining early in-season nitrogen requirements in corn”, *Agronomy Journal*, 98 (4), 968–977.

Steven M. D., (1998), “The sensitivity of the OSAVI vegetation index to observational parameters”, *Remote Sensing of Environment*, 63 (1), 49–60.

Szeliski R., (2004), “Computer Vision: Algorithms and Applications”, Springer.

Tarp-Johansen M. J., (2002), “Automatic stem mapping in three dimensions by template matching from aerial photographs”, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 17 (4), 359–368.

Tarım ve Orman Bakanlığı, (2015), Türkiye orman varlığı istatistik verileri, Türkiye Ankara.

Tucker C. J., (1979), “Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation”, *Remote Sensing of Environment*, 8 (2), 127–150.

Vadrevu K. P., (2013), “Introduction to Remote Sensing 5th Edition By J. B. Campbell and R. H. Wynne”, Guilford Press *The Photogrammetric Record*, 28 (141), 117–118.

Wafi K. A. A., (2020), “Analyzing and improving image processing techniques via uav and satellite images in monitoring precision agriculture”, Master of Engineering Thesis, Gebze Technical University.

Walsworth N., King D., (1999), “Comparison of two tree apex delineation techniques”, *Automated Interpretation of High Spatial Resolution Digital Imagery for Forestry*, International Forum, February, 93–104.

Wang L., Gong P., Biging G. S., (2004), “Individual tree-crown delineation and treetop detection in high-spatial-resolution aerial imagery”, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70 (3), 351–357.

Web 1, (2020), <https://www.mathworks.com/products/matlab.html>, (Erişim Tarihi: 01/07/2020).

Web 2, (2020), <http://forsys.cfr.washington.edu/fusion/fusionlatest.html>, (Erişim Tarihi: 01/07/2020).

Web 3, (2020), <https://geospatial.trimble.com/products-and-solutions/ecognition>, (Erişim Tarihi: 01/07/2020).

Web 4, (2020), <https://www.arcgis.com/index.html>, (Erişim Tarihi: 01/07/2020).

Web 5, (2020), <https://www.pix4d.com/>, (Erişim Tarihi: 01/07/2020).

Web 6, (2020), <https://uk.mathworks.com/help/images/ref/im2bw.html>, (Erişim Tarihi: 01/07/2020).

Web 7, (2020), <https://uk.mathworks.com/help/matlab/ref/imread.html>, (Erişim Tarihi: 01/07/2020).

Web 8, (2020), <https://uk.mathworks.com/help/images/morphological-filtering.html>, (Erişim Tarihi: 01/07/2020).

Web 9, (2020), <https://uk.mathworks.com/help/images/ref/hough.html>, (Erişim Tarihi: 01/07/2020).

Web 10, (2020), <https://uk.mathworks.com/help/images/ref/regionprops.html>, (Erişim Tarihi: 01/07/2020).

Web 11, (2020), <https://uk.mathworks.com/help/images/ref/graythresh.html>, (Erişim Tarihi: 01/07/2020).

Web 12, (2020), <https://uk.mathworks.com/help/stats/kmeans.html>, (Erişim Tarihi: 01/07/2020).

Web 13, (2020), <https://uk.mathworks.com/help/matlab/ref/rgb2hsv.html>, (Erişim Tarihi: 01/07/2020).

Weidner U., (1997), “Roof extraction from digital surface models”, Institut fur Photogrammetrie, Tecnical Report, Universitat Bonn.

Wolf P. R., Dewitt B. A., Wilkinson B. E., (2014), “Elements of Photogrammetry with Applications in GIS”, 4th Edition.

Wu, W., (2014), “The generalized difference vegetation index (gdv₁) for dryland characterization”, Remote Sensing, 6 (2), 1211–1233.

Wulder M., Niemann K.O., Goodenough D. G., (2000), “Local maximum filtering for the extraction of tree locations and basal area from high spatial resolution imagery”, Remote Sensing of Environment, 73 (1), 103–114.

Yılmaz V., (2017), “Estimating basic forest stand parameters from uas images”. Doctor of Philosophy Thesis, Karadeniz Technical University.

Yu X., Litkey P., Hyypä J., Holopainen M., Vastaranta M., (2014), “Assessment of low density full-waveform airborne laser scanning for individual tree detection and tree species classification”, Forests, 5 (5), 1011–1031.

Yüksekkaya A., (2006), “Dijital görüntüler kullanılarak sayısal arazi modellerinin (DTM) olusturulması”, Yüksek Lisans Tezi, Ondokuz Mayıs Üniversitesi.

Zaharescu, E. (2009), “Morphological algorithm for color objects classification”, 2009 4th Balkan Conference in Informatics, Thessaloniki, Greece, 8, 17–21.

ÖZGEÇMİŞ

Fatih ÇELİK 1992 yılında Trabzon'da doğdu. Gümüşhane Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği bölümünden 2013 yılında mezun oldu. 2018 yılından itibaren Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Tezli Yüksek Lisans Programı öğrencisi olarak devam etmektedir. Lisans eğitimi tamamladıktan sonra yurtdışında projelerde çalıştı. 2014 yılından kendi işletmesi olan Yalova Harita Mühendislik bünyesinde çalışma hayatına çeşitli projelerde bulunarak devam etti. Halen hem kendi şirketi bünyesinde aynı zamanda Gebze-Darıca Metro Projesinde müşavir firmada harita kontrol mühendisliği yapmaktadır.

EKLER

Ek A: Tez Çalışması Kapsamında Yapılan Yayınlar

Ek B: Üretilen Ortofoto Haritalar ve Çalışma Dosyaları (CD)