

ÇOK YÜKSEK ÇÖZÜNÜRLÜKLÜ İHA GÖRÜNTÜLERİNDEN OTOMATİK AĞAÇ TESPİTİ

Mehmet Fatih Gürbüz¹, Mustafa Türker²

^{1,2}Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 06800 Ankara, Türkiye.
e-posta:fatihgurbuz@gmail.com.tr, mturker@hacettepe.edu.tr

Geliş Tarihi: 27.01.2017 ; Kabul Tarihi: 18.07.2017

Özet

Bu çalışmada, insansız hava araçlarından (İHA) elde edilen çok yüksek çözünürlüklü renkli görüntülerden üretilen ortofoto ve sayısal yüzey modeli (SYM) verilerinden otomatik ağaç tespiti için bir yaklaşım ortaya koyulmuştur. Yaklaşım, Hacettepe Üniversitesi Beytepe yerleşkesinde farklı özelliklere sahip dört alanda test edilmiştir. Görüntü verisi olarak sabit kanatlı bir İHA ile havadan alınan görüntüler kullanılmıştır. Öncelikle görüntülerden otomatik eşleme tekniği ile SYM ve ortofoto üretilmiştir. Oluşturulan ortofotonun nesne-tabanlı yöntemle bölütlemesi ve sınıflandırması yapılarak ağaç alanları tespit edilmiştir. Sınıflandırma çıktısında hataların giderilmesi için açılma ve kapanma morfolojik filtrelemeler uygulanmıştır. Daha sonra, nesne-tabanlı sınıflandırma yöntemi ile tespit edilen her bir ağacın zirve noktası lokal maksimum bulma tekniği ile nSYM verisinden otomatik olarak elde edilmiştir. Geliştirilen yaklaşımla otomatik olarak elde edilen ağaçların konumları referans veri ile karşılaştırılarak doğruluk analizleri yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, birinci test alanında % 96, ikinci test alanında % 82, üçüncü test alanında % 96 ve dördüncü test alanında % 47 oranında başarı elde edilmiştir. Görüntülerde yer alan ağaçların yükseklikleri, yansıma değerleri ve yoğunluk durumları gibi faktörler ile bölütleme, sınıflandırma, morfolojik filtreleme ve ağaç zirve konumlarının tespiti işlemleri için kullanılan algoritmalarda yer alan parametrelerin sonuçları etkilediği görülmüştür. Elde edilen sonuçlar, bu çalışmada sunulan yaklaşımın, kentsel ve kırsal alanlarda ağaçların çok yüksek çözünürlüklü renkli İHA görüntülerinden otomatik olarak tespitinde, iyi bir potansiyelinin olduğunu göstermektedir.

Anahtar kelimeler

Fotogrametri, Ortofoto, Sayısal Yüzey Modeli (SYM), Sayısal Arazi Modeli (SAM), Görüntü Sınıflandırma, Otomatik Ağaç Tespiti

AUTOMATIC TREE DETECTION FROM VERY HIGH RESOLUTION UAV IMAGES

Abstract

In this study, an approach is presented for tree detection from very high resolution color images and digital surface model (DSM) which were obtained from a fixed-winged unmanned aerial vehicle (UAV). The approach was tested on four study areas having different characteristics, which are located in the Beytepe campus of the Hacettepe University. As the image data, the aerial images collected using a fixed wing UAV were used. First, an orthophoto and a DSM were generated from the images that cover the test areas using an automatic image matching technique. The areas of the trees were detected by means of object-based segmentation and classification of the generated orthophoto. To remove errors from the classification output, the opening and closing morphological filters were applied. Next, the highest points of the trees that were detected through object-based classification were automatically extracted from the nDSM data using a local maximum detection method. The accuracy assessment was carried out by comparing the tree locations detected automatically using the developed approach with the reference data. Based on the results, the accuracy values computed were % 96 for the first test field (field #1), % 82 for the second test field (field #2), % 96 for the third test field (field #3), and % 47 for the fourth test field (field #4). The results show that the factors, such as the heights of the trees, the reflectance values, and the density as well as the parameter values for the algorithms used for the segmentation, classification, morphological filtering and tree top

Keywords

Photogrammetry, Orthophoto, Digital Surface Model (DSM), Digital Terrain Model (DTM), Image Classification, Automatic Tree Detection

detection directly affect the results. The results obtained in this study illustrate that the developed approach for the automatic detection of the trees in urban and rural areas from very high resolution UAV imagery has good potential.

© Afyon Kocatepe Üniversitesi

1. GİRİŞ

Orman alanlarının sınırları, ağaçların türleri, sayıları, yükseklik ve konum bilgileri gibi bilgilerin tespiti şehir plancılığı, 3B kent modelleme, ormancılık ve tarım faaliyetleri gibi birçok uygulamaya olanak sağlamaktadır. Bu amaçla yapılan yersel ölçme yöntemleri oldukça fazla zaman ve iş gücü kaybına neden olmaktadır (Yılmaz et al. 2015).

Ağaçların ya da orman alanlarının tespiti için yersel ölçüm tekniklerinin yanı sıra, LiDAR verileri, yersel lazer tarayıcılar, hava fotoğrafları ya da uydu görüntüleri verileri kullanılarak otomatik ve yarı otomatik yöntemlerle tespit edilmesi çalışmalarında temel sorun ağaçların ya da orman alanlarının segmentasyonu ve yüksek doğrulukla tespitidir. Bu hususta çok sayıda algoritma geliştirilmiş olup halen yeni algoritmaların geliştirilmesi çalışmalarına devam edilmektedir. Bu alandaki çalışmalara dikkat edildiğinde, LiDAR verisi kullanılarak renkli hava fotoğraflarında yer alan ağaçların yükseklik gibi yapısal özelliklerini belirlemeyi amaçlayan detaylı analizlerin yapıldığı çalışmalar mevcuttur (Vauhkonen et al. 2010, Holopainen et al. 2010, Lindberg et al. 2010, Heinzl et al. 2011, Yu et al. 2011, Kaartinen et al. 2012 and Vastaranta et al., 2012). Yine otomatik eşleştirme tekniği ile elde edilen sayısal yüzey modeli (SYM) verisi kullanılarak renkli - kızılötesi hava fotoğraflarında yer alan ağaçların yoğunluk ve komşuluk ilişkisi gibi yapısal özelliklerini belirlemeyi amaçlayan çalışmalar da bulunmaktadır (Wolf et al. 2007).

Uydu görüntüsü işleme yazılımları genel olarak piksel - tabanlı ya da nesne - tabanlı olmak üzere iki temel yöntemle dayalı olarak çalışmaktadır. Nesne - tabanlı yöntemlerde yoğunlukla görüntüdeki nesnelerin geometrik şekillerinden yararlanılırken piksel - tabanlı yöntemlerde ise görüntüyü oluşturan piksellerin gri seviye değerlerinden yararlanır. Uydu görüntülerinden ağaç ve bina gibi

nesnelerin çıkarılması çalışmalarında nesne - tabanlı analizler daha çok tercih edilmektedir. Geometrik şekil baz alınarak yapılan çalışmalarda nesne - tabanlı yaklaşımlar piksel - tabanlı yaklaşımlara göre doğruluğu daha yüksek sonuçlar üretmektedir (Jähne, 2005 and Nnam, 2012).

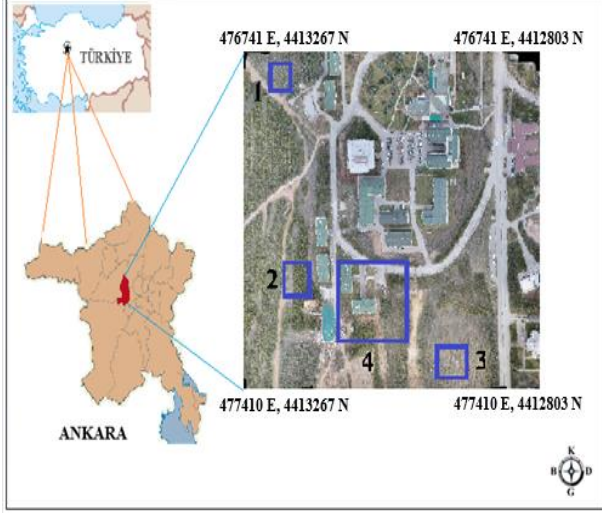
Bu itibarla, bu çalışmada insansız hava araçlarından (İHA) elde edilen çok yüksek çözünürlüklü renkli (Kırmızı, Yeşil, Mavi) görüntülerden üretilen ortofoto ve sayısal yüzey modeli (SYM) verilerinden otomatik ağaç tespiti için bir yaklaşım ortaya koyulmuştur. Önerilen yaklaşımın test edildiği alanlarında ağaçların nesne - tabanlı yöntemle segmentasyonu ve sınıflandırması yapılmış ve elde edilen sonuçlar görsel olarak analiz edilmiştir. Sınıflandırılmış görüntülerde her bir ağacın geometrik orta noktasına manuel olarak bir nokta atılmış ve eCognition yazılımında otomatik olarak her bir ağaç için lokal maksimum piksel değeri elde edilmiştir. Daha sonra, lokal maksimum piksel değerleri ile ağaç merkez noktalarının birbirlerine göre konumları ve sayıları üzerinden doğruluk analizleri yapılmıştır.

Çalışmada, Agisoft Photoscan yazılımı ile İHA görüntülerinden SYM (nokta bulutu) ve ortofoto üretimi, Lastools yazılımı ile de sayısal arazi modeli (SAM) oluşturulmuştur. Normalize edilmiş sayısal yüzey modeli (nSYM) oluşturulması, morfolojik filtreleme, bazı editleme işlemleri ve doğruluk analizleri için ArcGIS ve PCI Geomatica yazılımları kullanılmıştır. Segmentasyon ve sınıflandırma işlemleri ile ağaç zirve noktalarının tespiti (lokal maksimum tespiti) işlemleri ise eCognition yazılımı ile yapılmıştır.

2. Materyal ve Metot

Şekil 1' de görüldüğü üzere Hacettepe Üniversitesi Beytepe Yerleşkesine ait çalışma alanının yaklaşık koordinatları; 476741 E, 4413267 N (Kuzey batı),

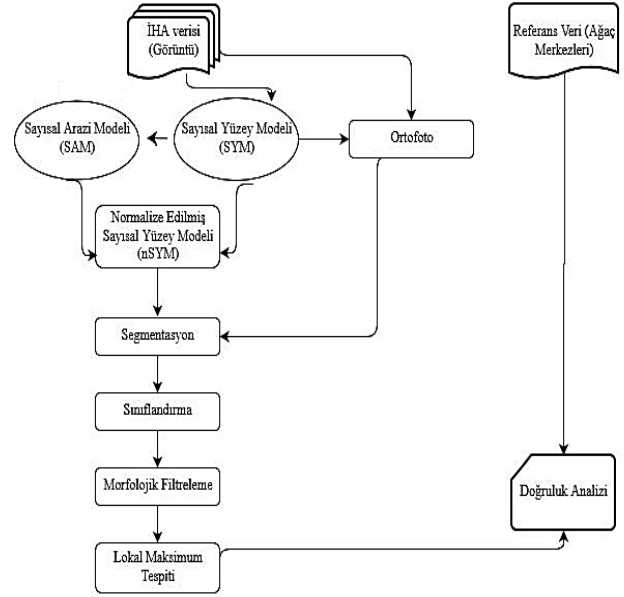
476741 E, 4412803 N (Güney batı), 477410 E, 4413267 N (Kuzey doğu) ve 477410 E, 4412803 N (Güney doğu)' dir. (WGS84 UTM - Zone; 36N)



Şekil 1. Çalışma alanı

Görüntü olarak, sabit kanatlı SmartPlanes insansız hava aracı (İHA) ile boyuna bindirme oranı % 80, enine bindirme oranı % 40 olacak şekilde yaklaşık 90 m yüksekten çekilen 231 adet renkli (Kırmızı - K, Yeşil - Y, Mavi - M) görüntü kullanılmıştır. İHA ile elde edilen renkli görüntüler 18.3 mm odak uzaklığına sahip modeli GR olan dijital kamera ile çekilmiştir. Elde edilen görüntünün boyutu; 4928 satır ve 3264 sütun olup görüntüdeki bir pikselin boyutu ise 4.784 x 4.784 µm' dir. Bir pikselin arazide kapladığı alanı ifade eden konumsal çözünürlük ise 0.022 metre / piksel olup tüm görüntülerin yerde kapladığı toplam alan yaklaşık olarak 24 hektardır.

Temel işlem adımları Şekil 2' de verilmekte olan yöntem yedi ana aşamadan oluşmaktadır. Bu aşamalar şunlardır; 1- Görüntülerden sayısal yüzey modeli (SYM) ve ortofoto üretilmesi, 2- Sayısal arazi modeli (SAM) ve normalize edilmiş sayısal yüzey modeli (nSYM) elde edilmesi, 3- Görüntünün segmentasyonu işlemi, 4- Görüntü sınıflandırması işlemi, 5- Sınıflandırılmış görüntü üzerinde morfolojik filtreleme işlemleri, 6- Lokal maksimum tespiti ve 7- Doğruluk analizleri.



Şekil 2. Yöntem Adımları

2.1 Ortofoto Oluşturulması

Önce, Agisoft Photoscan yazılımında, İHA ile çekilen 231 adet hava fotoğrafı kullanılarak fotoğraf koordinat sistemi ile piksel koordinat sistemi arasındaki ilişkinin tanımlanması için kamera kalibrasyon raporundan kamera bilgileri, köşe markaları koordinatları ve mercek distorsiyon değerleri alınarak otomatik iç yönlendirme yapılmıştır. Sonra, görüntüler ile yer koordinat sistemi arasındaki ilişkiyi kurmak için dış yönlendirme işlemine geçilmiştir. Çalışma alanında fotoğraf alımı öncesi gerçekleştirilen jeodezik çalışmalar kapsamında tesis edilen fotogrametrik nirengi noktaları (17 adet) yardımıyla dengeleme işlemi yapılarak her fotoğrafa ait ışın demetinin araziye göre olan yönlendirilmesi ve konumu belirlenmiştir. Dengeleme sonuçları Tablo 1' de verilmekte olup 0.022 m x 0.022 m piksel boyutlu üretilen ortofoto Şekil 3' te gösterilmektedir.

Tablo 1. Yer kontrol noktaları dengeleme sonuçları

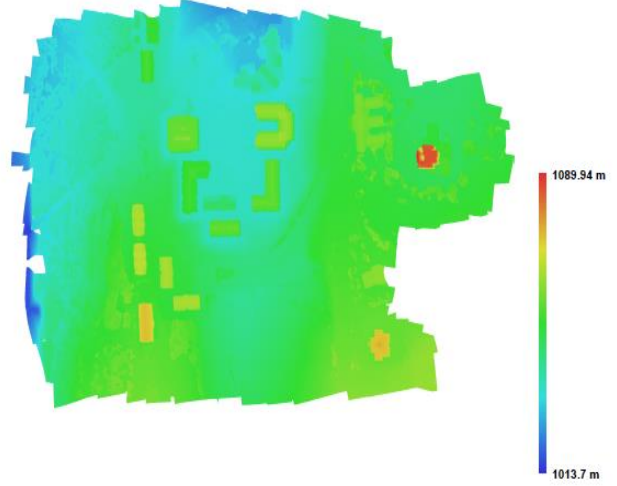
Label	X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
P.2	0.004638	0.000466	-0.005500	0.007210	5	0.255791
P.23	-0.000249	-0.000489	0.000771	0.000946	4	0.028255
P.24	0.000736	0.000023	0.001688	0.001842	6	0.146776
P.3	-0.000634	-0.008243	-0.005195	0.009764	6	0.255149
P.4	-0.003482	0.003027	0.013192	0.013975	4	0.137563
P.47	-0.002484	-0.000411	0.000195	0.002525	3	0.242495
P.48	0.001477	-0.001970	0.002802	0.003730	7	0.224077
P.49	-0.001833	0.001172	-0.001742	0.002787	13	0.233008
P.5	0.006261	0.005624	-0.007238	0.011101	2	0.032500
P.50	-0.001147	-0.000727	0.001359	0.001921	8	0.165186
P.51	0.002288	0.002038	-0.000441	0.003096	11	0.251857
P.52	-0.000568	-0.000542	-0.001713	0.001885	12	0.204264
P.53	0.002034	-0.003194	0.003298	0.005021	11	0.394365
P.54	-0.000715	0.002898	-0.000974	0.003139	10	0.201036
P.55	-0.000832	-0.002509	0.000547	0.002699	9	0.224245
P.67	-0.000536	-0.000242	-0.000046	0.000590	8	0.329880
P.7	-0.001470	0.009571	-0.002750	0.010067	3	0.265480
Total	0.002428	0.003727	0.004357	0.006226	122	0.243404

**Şekil 3.** Üretilen ortofoto

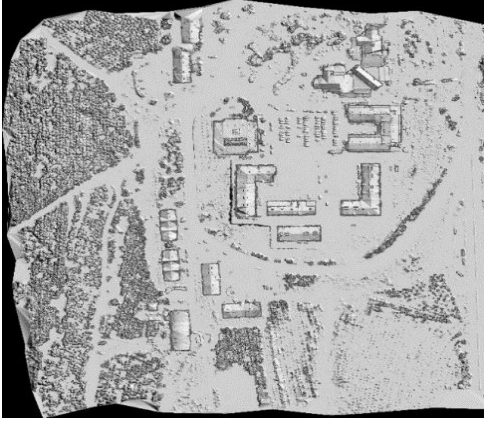
2.2 Sayısal Yüzey Modeli (SYM) Oluşturulması

Bilindiği üzere, sayısal arazi modelinde (SAM) zemin üstünde yer alan ağaçlar, binalar, doğal ve yapay tesisler vb. detaylar bulunmazlar. O nedenle bu model zemin üstü yükseklik detaylarını içermeyen yalnızca çıplak yeryüzü topoğrafyasını gösteren bir modeldir. Sayısal Yüzey Modelinde (SYM) ise sayısal arazi modelinden farklı olarak sadece zemin değil aynı zamanda zemin üstünde bulunan tüm doğal ve yapay tesisler de veri olarak bulunur (Wolf et al. 2000, Egels et al. 2004 and Int Kyn. 1). Diğer taraftan, normalize edilmiş sayısal yüzey modelinde (nSYM) çıplak arazi yüzeyi haricindeki yükseklik verisi bulunmakta olup matematiksel olarak nSYM

= SYM – SAM olarak gösterilir ve elde edilen fark model normalize edilmiş sayısal yüzey modelini verir (Wilson and Gallant, 2000 and Hashemi, 2008). Bu çalışmada SYM, Agisoft Photoscan yazılımı ile nokta bulutu şeklinde (yaklaşık 37 milyon nokta) üretilmiştir. Üretilen nokta bulutunun çözünürlüğü 0.087733 m / piksel ve yoğunluğu da 129.92 nokta / m²' dir (Şekil 4).

**Şekil 4.** Üretilen nokta bulutu

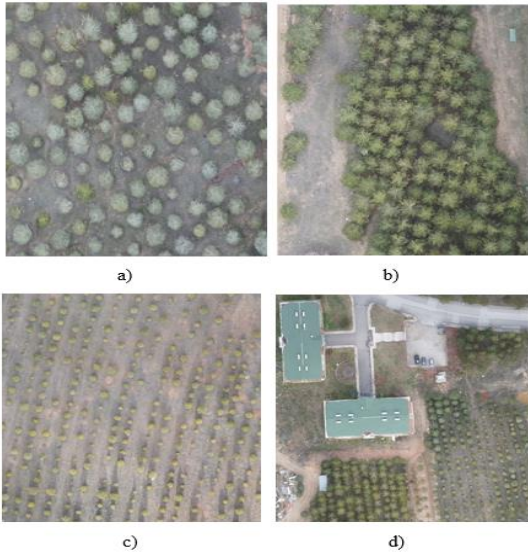
Oluşturulan nokta bulutu verisinden daha sonra ArgGIS ve Lastools yazılımları ile sırasıyla SAM, SYM ve nSYM verileri elde edilmiştir. Elde edilen nSYM verisi Şekil 5'te gösterilmektedir. Üretilen SYM'nin doğruluğunu test etmek amacıyla çalışma alanında yer alan bazı binaların keskin köşe noktaları yersel ölçüm yöntemi olan total station ile ölçülmüş ve aynı köşelerin koordinatları oluşturulan sayısal yükseklik modeli üzerinde tespit edilip okunarak aradaki farklar karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalar neticesinde aradaki farkın en fazla 5 cm olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5. Normalize edilmiş sayısal yüzey modeli (nSYM)

2.3 Segmentasyon

Oluşturulan ortofoto görsel olarak incelenerek ağaç yoğunluğuna ve büyüklüğüne göre farklı özelliklere sahip 4 adet test alanı (#1.test alanı, #2.test alanı, #3.test alanı ve #4.test alanı) seçilmiştir. #1.test alanında yer alan ağaçlar farklı büyüklüklerde olup yoğunluk nispeten azdır. #2.test alanında ağaçların büyük çoğunluğu birbirine bitişik şekilde olup, yoğunluk yüksektir. #3.test alanında yer alan ağaçların büyüklükleri yaklaşık olarak aynı olup, yoğunluk düşüktür. #4.test alanında ise ağaç büyüklükleri ve yoğunlukları farklı olup bu alanda ayrıca bina ve yol nesnelere de mevcuttur (Şekil 6).

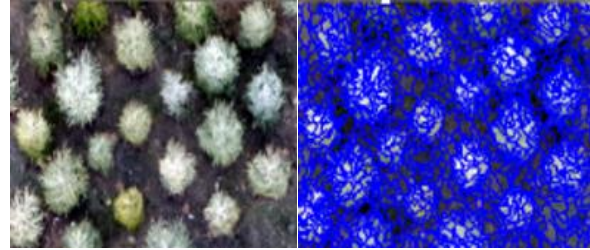


Şekil 6. Test alanları; a) #1, b) #2, c) #3 ve d) #4

Segmentasyon işlemi için eCognition yazılımında yer alan "çok çözünürlüklü segmentasyon (multi resolution segmentation)" algoritması kullanılmıştır. Çok çözünürlüklü segmentasyon algoritması ile görüntüdeki nesnelere heterojenliği

lokal olarak minimize edilirken homojenliği maksimize edilir. Nesnelere heterojen yapısı homojen hale getirilirken piksellerin komşuluk ilişkisi göz önüne alınarak benzer spektral ve mekânsal özellikler kriter olarak alınır (Trimble, 2014).

Bu algoritmada ölçek (scale), şekil (shape) ve yoğunluk (compactness) olmak üzere üç temel parametre kriteri yer almaktadır. Bu çalışmada şekil ve yoğunluk parametre değerleri sırasıyla 0.2 ve 0.5 olarak sabit alınarak ölçek parametresi değeri 10 ile 50 arasında değiştirilmiş ve kullanılan her ölçek parametresi için elde edilen segmentasyon sonucunun kalitesi görsel olarak yorumlanmıştır. Önceki çalışmalarda elde edilen sonuçlara göre şekil ve yoğunluk parametreleri için sırasıyla 0.2 ve 0.5 değerlerinin daha iyi sonuçlar verdiği görülmüştür (Suarez, 2003 and Shiba et al. 2006). Dolayısıyla, bu çalışmada da bu değerler kullanılmıştır. Şekil 7' de #1.test alanı için elde edilen segmentasyon çıktısı görülmektedir.



a) b)

Şekil 7. #1.test alanından seçilen küçük bir alana ait: a) İHA Görüntüsü ve b) Segmentasyon sonucu (Ölçek Parametresi = 20)

2.4 Sınıflandırma

Segmentasyon işleminden sonra sınıflandırma işlemine geçilmiştir. Sınıflandırma işleminde önce tüm test alanlarında yer alan nesnelere durumlarına göre zemin, ağaç, bina ve yol şeklinde sınıf tayini yapılarak görüntüden eğitim alanı örnekleri seçilmiştir. Daha sonra, yazılımın sınıflandırma fonksiyonu kullanılarak görüntünün sınıflandırması işlemi yapılmıştır. Sınıflandırma işlemi, her test alanı için, ölçek parametre değeri 10 ile 50 arasında değiştirilerek (10, 20, 30, 40 ve 50)

tekrarlanmış ve elde edilen sonuçlar görsel olarak değerlendirilmiştir.

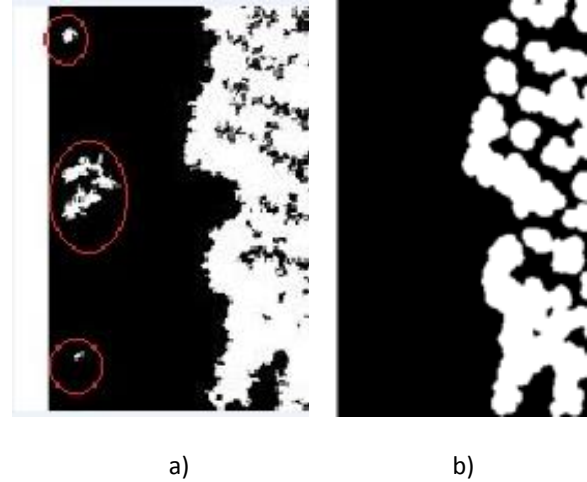
Sınıflandırmada, ağaç sınıfını zemin sınıfından daha yüksek doğrulukla ayırabilmek için, normalize edilmiş sayısal yüzey modeli (nSYM) verisi de ek bant olarak kullanılmıştır. Dolayısıyla, özellikle görüntüde ağaç olmayan ancak zeminde çimen gibi yeşil tonda bulunan alanların yanlış sınıflandırılması engellenmiştir. Netice olarak tüm test alanlarında görsel olarak yapılan analizlerde; ölçek parametresi değerinin 20 – 30 arasında olmasının, bu çalışmada kullanılan test alanları için, daha ideal değerler olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

2.5 Morfolojik Filtreleme

Matematiksel morfoloji görüntülerdeki nesnelere görüntünün diğer bölgelerinden ayırt etmek için kullanılabilir. Morfolojik operatörler iki bileşene ihtiyaç duyarlar. Bu bileşenler; operatörün uygulanacağı bir görüntü ve yapılanma elemanı denilen ve görüntüye uygulanan piksel grubudur. Yapılanma elemanları farklı şekillerde ve büyüklüklerde olabilirler (Jähne, 2005, Gonzalez et al. 2008 and Shih, 2009). Aşınma (erosion) ve genişleme (dilation) temel morfolojik operatörler arasında yer almaktadır. Aşınma operatörü görüntüdeki nesnelere inceltmekte iken genişleme operatörü ise aşınma operatörünün tersine olarak nesnelere içindeki küçük boşluk ve çatlakları kapatarak nesnelere boyutlarını büyütmektedir. Aşınma ve genişleme operatörlerinin birbiri ardına kullanılması ile açılma (opening) ve kapanma (closing) isimli üst seviye operatörler geliştirilmiştir (Gonzalez et al. 2004 and Jähne, 2005). Matematiksel olarak ifade edecek olursak; ikili bir görüntü A ve yapılanma elemanı B ile gösterilirse; aşınma operatörü $A \ominus B$, genişleme operatörü $A \oplus B$, açılma operatörü $A \circ B = (A \ominus B) \oplus B$ ve kapanma operatörü ise $A \bullet B = (A \oplus B) \ominus B$ ile gösterilir (Int Kyn. 2).

Sınıflandırılmış görüntüler içerisinde bir takım istenmeyen boşluk alanlar, çıkıntılar ile parazitlerin olduğu görüldüğünden istenmeyen bu tür durumların temizlenmesi için sınıflandırma çıktılarına önce morfolojik açılma filtresi sonra da

morfolojik kapanma filtresi uygulanmıştır. Morfolojik filtreleme işleminde piksel sayısı 1 ile 50 arasında girilerek en iyi sonuç elde edilmeye çalışılmıştır. Morfolojik filtreleme işlemleri ile sınıflandırma çıktılarından istenmeyen birçok çıkıntı ve parazit temizlendiği görülmüştür. Özellikle yoğun ağaçların bulunduğu alanlarda (örn., #2. ve #4. test alanları) ağaç nesnesinin diğer nesnelere daha yüksek doğrulukla ayrılabilmesi ve dolayısıyla, lokal maksimum piksellerin doğru tespitinde bu filtre operatörlerinin kullanılması gerekmektedir. Bu sayede ağaç alanları daha belirgin ve geometrik bir yapıya kavuştuğundan bu alanlar üzerinde daha iyi analizler yapılabilecektir. #2. test alanında bir bölgeye uygulanan morfolojik filtreleme sonuçları örnek olarak Şekil 8’de gösterilmektedir.

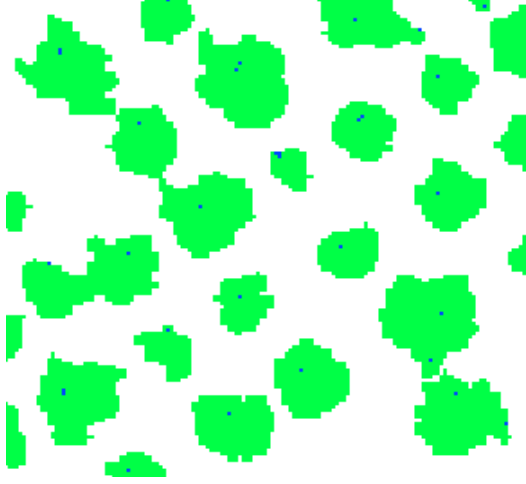


Şekil 8. a) Sınıflandırma çıktısı. b) Sınıflandırma çıktısına sırasıyla Açılma Filtresi (30 piksel) ve Kapanma Filtresi (4 piksel) uygulanması

2.6 Ağaç Zirve Noktalarının Tespiti

eCognition yazılımında bölgesel olarak maksimum piksel değerini tespit eden (find local extrema) fonksiyon kullanılarak sınıflandırılması yapılan ağaçların, normalize edilmiş sayısal yükseklik modeli (nSYM) yardımıyla, zirve noktaları otomatik olarak tespit edilmiştir. Bu fonksiyon ile, kullanıcı tarafından piksel sayısı girilerek oluşturulan bir arama penceresi yardımıyla, komşuluk ilişkisi esasına göre, pencerenin kapsadığı alan içinde yer alan yükseklik modeli verisinden maksimum ya da minimum piksel değerlerinin tespiti esasına göre, görüntüdeki nesnelere sınıflandırılabilir (Suarez et al. 2005).

Bu çalışmada, arama aralığı değerleri olarak 1 ila 50 arasındaki değerler denenmiş ve elde edilen sonuçlara göre, her bir çalışma alanı için, en ideal piksel boyutu, ilgili test alanında yer alan ağaçların ortalama yarıçap değerine göre (Örn., Şekil 9’ da 10 piksel) belirlenmiştir. Belirlenen arama penceresi içine düşen nSYM değerinin maksimum olduğu pikseller otomatik olarak tespit edilmiştir.

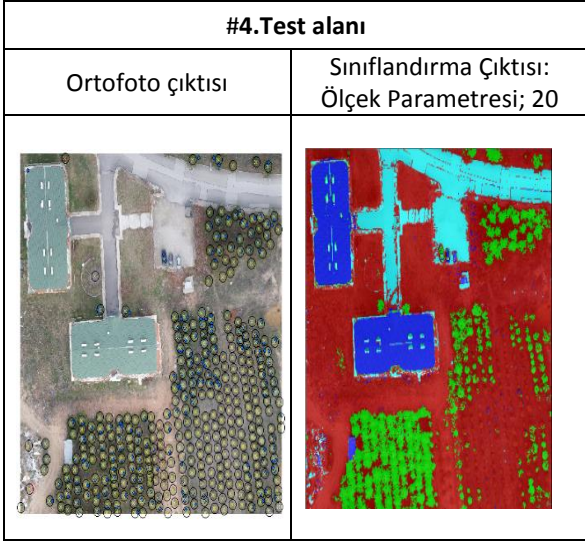


Şekil 9. #1.test alanından seçilen bir bölgeye ait sınıflandırma çıktısında “local extrema” fonksiyonu ile elde edilen ağaç zirve noktaları (mavi noktalar)

3. Bulgular

Doğruluk analizleri için, bir ağacın orta noktasının ağacın merkez konumunu temsil ettiği varsayımı ile görüntü üzerinde her bir ağacın orta noktasına gelecek şekilde manuel olarak bir nokta oluşturulmuştur. Bu noktalar doğruluk analizlerinde referans veri olarak kullanılmıştır. Daha sonra, oluşturulan bu noktalar ağaçların merkezleri olarak kabul edilmiş ve ağaçların ortalama çaplarına göre daire şeklinde tampon bölgeler tanımlanmıştır. eCognition yazılımında lokal maksimum tespiti fonksiyonu kullanılarak, her bir ağaç için, maksimum piksel değeri elde edilmiştir. Bundan sonra, her bir ağaç için, bu değerle ağacın merkez konumu olarak belirlenmiş olan referans değer arasındaki mesafe karşılaştırılmış ve elde edilen sonuçlar oransal ve sayısal olarak analiz edilmiştir. Test alanlarında elde edilen sınıflandırma sonuçları Şekil 10’ da, doğruluk oranları ve farklar ise Tablo 2 ve Tablo 3’ te gösterilmektedir.

#1.Test alanı	
Ortofoto çıktısı	Sınıflandırma Çıktısı: Ölçek Parametresi; 20
#2.Test alanı	
Ortofoto çıktısı	Sınıflandırma Çıktısı: Ölçek Parametresi; 30
#3.Test alanı	
Ortofoto çıktısı	Sınıflandırma Çıktısı: Ölçek Parametresi; 20



Lejant



Şekil 10. Test alanlarında elde edilen sınıflandırma sonuçları.

Tablo 2. Önerilen yöntemle tespit edilen ağaç sayıları ve doğruluk oranları

Test Alanı	Toplam Ağaç Sayısı (Referans)	Toplam Ağaç Sayısı (Tespit Edilen)	Doğruluk Oranı
#1	119	115	% 96
#2	136	111	% 82
#3	270	259	% 96
#4	371	173	% 47

Tablo 3. Test alanlarında referans ağaç merkezleri ile tespit edilen lokal maksimum noktaları arasındaki farklar

Ağaç Merkezden Olan Uzaklık (cm)	Toplam Ağaç Sayısı	Yüzdeler Dilimi
#1. Test alanı		
≤ 25 cm	68	% 59
≤ 50 cm	104	% 90
≤ 75 cm	112	% 97
≤ 100 cm	115	% 100
#2. Test alanı		
≤ 25 cm	24	% 22
≤ 50 cm	59	% 53
≤ 75 cm	91	% 82

≤ 100 cm	107	% 96
≤ 125 cm	108	% 97
≤ 150 cm	111	% 100
#3. Test alanı		
≤ 25 cm	39	% 15
≤ 50 cm	158	% 61
≤ 75 cm	235	% 91
≤ 100 cm	259	% 100
#4. Test alanı		
≤ 25 cm	7	% 4
≤ 50 cm	55	% 32
≤ 75 cm	114	% 66
≤ 100 cm	155	% 90
≤ 125 cm	166	% 96
≤ 150 cm	173	% 100

4. Tartışma ve Sonuç

Şekil 11' de İHA görüntülerinden oluşturulan ortofoto üzerinde kırmızı daire içine alınan bölgede radyometrik ve spektral çözünürlüğün etkisi görülmektedir. Bu durum yakın yansımaya değerine sahip zemin ve ağaç nesnelerinin sınıflandırılmasında hataya neden olmaktadır. Bu nedenle, radyometrik ve spektral çözünürlüğü daha yüksek olan kameralar ile daha iyi sonuçlar elde edilebilir. Yine de bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göreradyometrik ve spektral çözünürlüğün kullanım amacı doğrultusunda, oldukça yeterli olduğu söylenebilir.



Şekil 11. İHA ile çekilen hava fotoğrafında radyometrik ve spektral çözünürlüğün etkisi

Bu çalışmada Agisoft Photoscan yazılımı kullanılarak elde edilen ortofotoda birtakım bozuk alanların olduğu görülmüştür. Örneğin; Şekil 12' de #1.test alanından seçilen bir bölgede görüldüğü üzere görüntüde yer alan ağaç nesnelerinin ortofotoda bozulduğu (kırmızı renkli daire içindeki alanlar) görülmektedir. Bu durum; görüntülerdeki

ağaç nesnelere konumsal doğruluğunda, ağaçların sınıflandırmasında ve zemin ile oluşan karışıklık nedeniyle ağaç merkezlerinin tespitinde bir miktar hataya neden olacağından doğruluk analizlerinde doğruluk oranı da bir miktar düşmektedir. Bu hatanın, Agisoft Photoscan yazılımının SYM oluşturulması için kullandığı görüntü eşleştirme ve otomatik korelasyon algoritmalarından kaynaklandığı düşünülmektedir. Zira SYM doğruluğunun ortofoto doğruluğunu etkileyen önemli bir faktör olduğu bilinen bir gerçektir. Bu nedenle, ortofoto ve SYM üretimi işlemleri için daha profesyonel yazılımların kullanılması tercih edilmelidir. Ayrıca, varsa LiDAR verisinden elde edilen SYM bu tür çalışmalarda kullanılabilir. Ancak bu yönde yapılacak olan tercihler aynı zamanda ekstra maliyet anlamına da geldiğinden bu yönde bir karar kullanım amacına göre alınmalıdır.



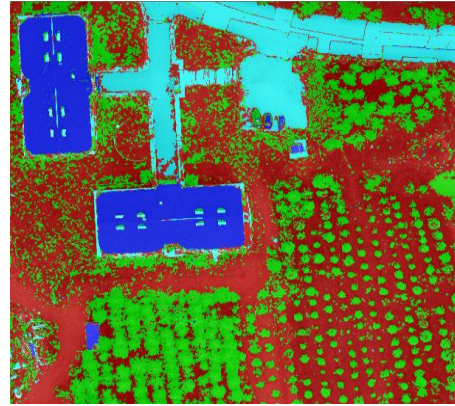
a) b)

Şekil 12. a) Orijinal görüntü ve b) Ortofotoda bozuk alanlar

Segmentasyon işleminin yapıldığı eCognition yazılımındaki çok çözünürlüklü segmentasyon fonksiyonu parametrelerinden “ölçek”, “şekil” ve “yoğunluk” parametrelerinin yeşil alanların tespitinde önem arz ettiği görülmüştür. Dolayısıyla, yapılacak benzer çalışmalarda bu parametrelere ait en uygundeğerlerin seçilmesi, elde edilecek doğruluk oranı için oldukça önem arz etmektedir. Bu çalışmada görüntünün otomatik sınıflandırması işlemi eCognition yazılımı ile yapılmıştır. Sınıflandırma işleminde özellikle değişik ölçek parametreleri ile elde edilen segmentasyon sonuçlarının sınıflandırmaya etkisi test edilmiştir. Bu nedenle, gerçekleştirilecek benzer çalışmalarda görüntülerde yer alan nesnelere çeşitleri ile

yapıları dikkate alınarak parametre seçimi kullanım amacına uygun olarak yapılmalıdır.

Görüntü sınıflandırma işleminde kullanılan İHA görüntüsünün üç bandına (K, Y, M) ek olarak nSYM verisi de kullanılmıştır. Görüntülerden ağaç tespiti ile ilgili çalışmalarda yükseklik bilgisinin de işleme dahil edilmesi önem arz ettiğinden nSYM verisinin doğruluğu önemlidir. Bu nedenle, nSYM verisinin üretilmesinde kullanılan yöntem ile kullanılacak yazılımdaki ilgili parametre değerlerinin (bu çalışmada Lastools yazılımındaki “step”, “bulge”, “spike”, “downspike” ve “offset” parametreleri irdelenmiştir) özenle seçilmesi gerekmektedir. Yine, sınıflandırmada K, Y ve M bantlara ek olarak bir yakın kızıl ötesi (YKÖ) bandının kullanılmasının sınıflandırma doğruluğuna önemli etkisi olacaktır. Bu çalışmada, nSYM verisine 0.50 m eşik değeri uygulanmıştır. Bu sayede ağaç sınıfı ile ağaç harici yeşil bitki sınıflarının (Örn; çimenlik alanlar) karışmasının önüne geçilmiştir. Bu etkiden dolayı #4.test alanında bazı kısımlarda çimenlik alanların yanlışlıkla ağaç olarak sınıflandırıldığı görülmektedir (Şekil 13).

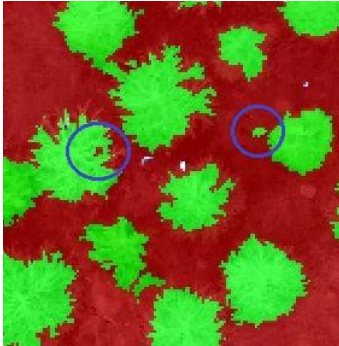


Şekil 13. Eşik değeri uygulanmadan elde edilen sınıflandırma sonucu

Ancak #4.test alanı sınıflandırma sonucunda incelendiğinde görüntüde yer alan bazı ağaçların zemin olarak sınıflandırıldığı görülmektedir. Bunun nedeni, bahsi geçen eşik değerinden (0.50 m) düşük yüksekliğe sahip ağaçlar ile diğer yeşil bitkiler arasında spektral örtüşme olmasıdır. Dolayısıyla bu test alanı için yapılan doğruluk analizinde başarı oranının % 47 seviyesinde kaldığı görülmüştür (Tablo 2). Bu nedenle, sonuçları direkt etkileyecek olmasından

dolayı yükseklik eşik değerinin dikkatlice seçilmesi gerekir.

Şekil 14' de görüleceği üzere; sınıflandırılmış görüntülerde bir takım istenmeyen boşluk alanlar, çıkıntılar ya da parazitler bulunmakta olup bunların giderilmesi için sınıflandırma çıktılarına morfolojik açılma ve kapanma filtreleri uygulanmıştır. Özellikle yoğun ağaçların bulunduğu alanlarda (#2. ve #4.test alanları) ağaç nesnesinin diğer nesnelere daha doğru ayrılabilmesi için, doğru lokal maksimum piksellerin tespitinde morfolojik açılma ve kapanma filtrelerinin kullanılması gerekir. Ayrıca, filtre boyutunun (piksel boyutu) yüksek seçilmesi durumunda bazı ağaçlar kaybolacağından filtre boyutu çok dikkatli seçilmelidir. Örneğin; Şekil 8' de görüleceği üzere, #2.test alanında morfolojik filtreleme öncesinde sınıflandırılmış görüntüde yer alan kırmızı daire içerisinde gösterilen ağaçlar filtreleme sonrasında silinmişlerdir. Filtreleme sonucu yok olan bu ağaçlar elde edilecek doğruluk değerini düşürecektir. Bu nedenle, morfolojik filtre uygulamasının gerekli olduğu ancak, yukarıda belirtildiği üzere, filtre boyutunun dikkatli seçilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.



Şekil 14. Ağaç sınıfında istenmeyen boşluk alanlar ve çıkıntılar

Ağaçların zirve noktalarının tespitinde eCognition yazılımının "find local extrema" fonksiyonu kullanılmıştır. Bu fonksiyon ile lokal olarak her bir ağaç alanında nSYM verisinden en yüksek değere sahip piksel ya da piksellerin tespiti yapıldığından fonksiyon içerisinde bulunan arama aralığının uygun bir değer olarak belirlenmesi gerekir. Bu çalışmada kullanılan test alanları için en uygun arama aralığı değerleri; #1.test alanı için 10, #2.test alanı için 13, #3.test alanı için 20 ve #4.test alanı

için 5 olarak belirlenmiştir. Şekil 15' de gösterildiği üzere, bazı ağaçlarda lokal maksimum tespiti yapılamamış ve gerçekte zemin olan bazı alanlarda lokal maksimum noktasının tespit edildiği görülmüştür. Dolayısıyla, elde edilen sonuçlara göre, nSYM verisi ile kullanılan fonksiyon için belirlenecek arama aralığı değerinin doğruluğu etkilediği sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 15. Tampon alanın (siyah daire) dışında kalan ve ağaç olmayan alanda tespit edilen lokal maksimum nokta mavi renkli daire ile, görüntüde yer alan ancak tespit edilemeyen ağaç ise kırmızı renkli daire ile gösterilmektedir.

Doğruluk analizleri için, görüntü üzerinde her bir ağacın geometrik orta noktasına manuel olarak bir nokta atılmış ve bu noktalar referans veri olarak kabul edilerek, her bir test alanında yer alan ağaçların yaklaşık büyüklüklerine göre, ağaç tepe noktası merkez alınarak daire şeklinde tampon bölgeler tanımlanmıştır. Daha sonra, oluşturulan tampon alanların içine düşen lokal maksimum piksel değerleri ile ağaç merkez noktalarının birbirlerine göre konumları ve sayıları üzerinden analizler yapılmıştır. Ancak bazı durumlarda lokal maksimum noktalarının tampon alanın dışında kaldığı görülmüştür. Örneğin; Şekil 16' da tampon alanı gösteren siyah renkteki dairenin dışında kalan alanda lokal maksimum noktası tespit edilmiş (mavi renkli noktalar) ancak bu nokta belirlenen tampon alanın dışında kaldığından bu ağaç değerlendirmeye alınmamıştır. Dolayısı ile bu durum doğruluk oranını düşürmüştür. Bu çalışmada, test alanlarında bulunan ağaçların tümü için ortak bir tampon değeri tespit edildiğinden bu şekilde hataların oluştuğu görülmüştür. Bu nedenle, tampon alanın her bir ağacın büyüklüğüne

görebilirilmesi sonuçların doğruluğunu artıracaktır.



Şekil 16. Ağaç tampon alanları (siyah daireler) dışında kalan lokal maksimum noktaları

Doğruluk analizleri yapılırken bazı ekstrem durumlarla da karşılaşmıştır. Örneğin; Şekil 17' de kırmızı renkle gösterilen dairelerin içerisinde yer alan lokal maksimum noktalarının tampon alan içerisindeki konumlarına göre hangi ağaca ait olduklarının tespitinin otomatik olarak yapılması oldukça zordur. Dolayısıyla, böyle durumların çözülmesi ve doğru karara varılabilmesi için önerilen yöntemin geliştirilmesi gerekir.



Şekil 17. Lokal maksimum noktalarının (mavi noktalar) birden fazla ağaca ait tampon alanların (siyah daireler) kesişim bölgelerinde yer alması

Çalışma alanında yer alan ağaçların yükseklikleri, yansıma değerleri ve konumsal olarak birbirlerine olan yakınlıkları gibi faktörlerin de elde edilen sonuçları doğrudan etkilediği görülmektedir. Özellikle heterojen yapıda olan ve farklı yükseklik değerlerinesahipsık ağaçlıklı alanlarda doğruluk oranı düşmektedir. Örneğin, bu durumda olan #2.test alanında doğruluk oranı% 82 ve #4.test alanında ise % 47 olarak hesaplanmıştır. Ağaç yoğunluğu az olan ya da homojen yapıdaki alanlarda ise elde edilen sonuçların daha iyi olduğu görülmektedir. Örneğin; bu durumda olan #1. ve

#3.test alanlarında doğruluk oranlarının % 96 olduğu görülmektedir. Dolayısı ile önerilen ağaç tespiti yaklaşımının yoğun olmayan alanlarda çok daha iyi sonuç verdiği görülmüştür.

Elde edilen sonuçlar, uçak ya da uydu görüntülerine nazaran daha düşük maliyetli olan İHA görüntülerden ağaçların otomatik olarak tespit edilebileceği ve bu çalışmada elde edilen test sonuçlarına göre, doğruluk oranlarının da oldukça yeterli düzeyde olabileceği sonucunu göstermektedir. Yukarıda belirtildiğiüzere, #4.test alanında bulunan bazı ağaçların boylarının seçilen yükseklik eşik değeri olan 0.50 m' nin altında olması sebebiyle sonuçların doğruluğudüşmüştür. Ancak, böyle durumlar için geliştirilecek farklı yöntemler ya da eşik değerinin uyarlanabilir şekildebelirlenmesi gibi metotlarla sonuçlar iyileştirilebilir. Bu çalışmada sunulan yöntem ile özellikle homojen yapıda olan ormanlık alanlarda, ağaç tespiti başarılı bir şekilde yapılabilir. Ayrıca, önerilen yöntem yersel ölçme metotlarına nazaran daha etkin ve düşük maliyetli olma avantajına da sahiptir.

5. Kaynaklar

- Egels, Y., Kasser, M., 2004.Digital photogrammetry, CRC Press.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E., 2008.Digital Image Processing, 3th ed., Pearson Prentice Hall Press.
- Gonzalez, R. C., Woods, R. E., Eddins, 2004. Digital Image Processing Using Matlab,Pearson Education. Inc. Upper Saddle River, New Jersey.
- Hashemi, S. A. M., 2008. Automatic peaks extraction from Normalized Digital Surface Model (NDSM), The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII. Part B3a.
- Heinzel, J.N., Weinacker, H., Koch, B., 2011. Prior-knowledge-based single-tree extraction, Int. J. Remote Sens., 32, 4999 – 5020.
- Holopainen, M., Mäkinen, A., Rasinmäki, J., Hyypä, J., Hyypä, H., Kaartinen, H., Viitala, R., Vastaranta,

- M., Kangas, A., 2010. Effect of tree level airborne laser scanning accuracy on the timing and expected value of harvest decisions, *Eur. J. For. Res.*, 29, 899 – 910.
- Jähne, B., 2005. *Digital Image Processing*, 6th ed., Springer Berlin Heidelberg Press.
- Kaartinen, H., Hyypä, J., Yu, X., Vastaranta, M., Hyypä, H., Kukko, A., ... & Næsset, E., 2012. An international comparison of individual tree detection and extraction using airborne laser scanning, *Remote Sensing*, 4 (4), 950 - 974.
- Lindberg, E., Holmgren, J., Olofsson, K., Wallerman, J., Olsson, H., 2010. Estimation of tree lists from airborne laser scanning by combining single-tree and area-based methods. *Int. J. Remote Sens.*, 31, 1175 – 1192.
- Nnam, U. G., 2012. Comparison of Pixel based and Object based Image Classification for Mapping Urban Greenery in Uwani, Enugu, DPR 762. Department of Geoinformatics and Surveying, University of Nigeria, Enugu Campus.
- Shiba, M., Itaya, A., 2006. Using eCognition for improved forest management and monitoring systems in precision forestry, *Proceedings International Precision Forestry Symposium*, Stellenbosch University, South Africa.
- Shih, F. Y., 2009. *Image processing and mathematical morphology: fundamentals and applications*, CRC Press.
- Suarez, J. C., Ontiveros, C., Smith, S., Snape, S., 2005. Use of airborne LiDAR and aerial photography in the estimation of individual tree heights in forestry, *Computers & Geosciences.*, Vol 31: 253-262.
- Suarez, J. C., 2003. Tree counting analysis using eCognition.
- Trimble, 2014. *eCognition Developer Reference Book*.
- Vastaranta, M., Kankare, V., Holopainen, M., Yu, X., Hyypä, J., Hyypä, H., 2012. Combination of individual tree detection and area-based approach in imputation of forest variables using airborne laser data, *ISPRS J. Photogrammetry*, 67, 73 – 79.
- Vauhkonen, J., Korpela, I., Maltamo, M., Tokola, T., 2010. Imputation of single-tree attributes using airborne laser scanning-based height, intensity, and alpha shape metrics, *Remote Sens. Environ.*, 114, 1263 – 1276.
- Wilson, J. P., Gallant, J. C., 2000. *Terrain analysis: principles and applications*, John Wiley and Sons, Inc.: New York
- Wolf, B. M., Heipke, C., 2007. Automatic extraction and delineation of single trees from remote sensing data, *Mach. Vision Appl.*, 18(5):317–330.
- Wolf, Paul R., Dewitt, Bon A., Wilkinson, Benjamin E., 2000. *Elements of Photogrammetry: with applications in GIS*, Vol. 3. New York: McGraw-Hill.
- Yılmaz, V., Güngör, O., Kadioğulları, A. İ., 2015. Görüntü İşleme Teknikleri ile Ağaçların Boy, Tepe Çapı ve Tepe Hacimlerinin Belirlenmesi, *TUFUAB VIII. Teknik Sempozyumu*.
- Yu, X., Hyypä, J., Vastaranta, M., Holopainen, M., Viitala, R., 2011. Predicting individual tree attributes from airborne laser point clouds based on random forests technique, *ISPRS J. Photogrammetry*, 66, 28 – 37.

İnternet kaynakları

- 1- http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_elevation_mode
- 2- http://en.wikipedia.org/wiki/Mathematical_morphology