NARENCİYE BAHÇELERİNDEKİ AĞAÇ SINIRLARININ SAYISAL YÜZEY MODELİNDEN OTOMATİK ÇIKARILMASI

A. Ö. Ok, A. Özdarıcı-Ok

Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Nevşehir H.B.V. Üniversitesi, 50300, 2000 Evler, Nevşehir (ozgunok, asliok)@nevsehir.edu.tr

Komisyon VII

ANAHTAR SÖZCÜKLER: Narenciye Ağaçları; Yönelim-tabanlı Işınsal Simetri; İHA SYM; Chan-Vese Aktif Çevrit

ÖZET:

Çok yüksek çözünürlüklü görüntülerden otomatik ve yarı-otomatik yöntemlerle bireysel ağaç veya ağaçlık alan tespiti uzaktan algılama ve bilgisayarda görü çalışmalarının uğraştığı önemli konulardan birisidir. Bu çalışmada insansız hava aracı (İHA) görüntülerinden üretilen Sayısal Yüzey Modeli'nden (SYM) narenciye ağaçlarının sınırlarının tespitine yönelik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşım SYM'de yer alan narenciye ağaçlarının simetriklik özelliğinin dikkate alınmasına dayanmaktadır. Bu kapsamda ilk olarak çalışmada narenciye ağaçlarının bulunması amacıyla yönelim-tabanlı ışınsal simetri dönüşümü sunulmuştur. İkinci adım, bulunan narenciye ağaçlarının sınırlarını bulabilmek amacıyla ilgi ve etki bölgeleri oluşturulmasını kapsamaktadır. Üçüncü aşamada her etki bölgesinde negatif büzülme eğilimli Chan-Vese aktif çevrit yöntemi uygulanmıştır. Son aşamada ise iki farklı strateji yardımıyla hatalı bölgeler temizlenmiştir. Çalışma bölgesi olarak Akdeniz Bölgesi kıyısında Türkiye'nin en verimli narenciye bahçelerini içeren Mersin ilinin kuzey kısmından 5 test alanı seçilmiştir. Önerilen yaklaşımın başarısını net olarak ortaya koyabilmek amacıyla elde edilen sonuçlar literatürdeki iki farklı yöntemin sonuçları ile de karşılaştırılmıştır. Elde edilen karşılaştırma sonuçları, önerilen yöntemin kesinlik ve geri-çağırma ölçütleri arasında iyi bir denge sağlayarak daha üstün bir performans sergilediğini ortaya koymuştur. Bu anlamda, hesaplanan toplam F_1 skorlar dikkate alındığında, sunulan yöntem ile diğer yöntemlere göre en az %7.5 oranında daha iyi sonuç elde edildiği görülmüştür. Piksel-tabanlı kesinlik değerlerinde ise önerilen yöntem diğer yöntemlere nazaran oldukça başarılı sonuçlar üreterek %90 civarında bir başarı oranına ulaşmıştır. Piksel-tabanlı gerigetirme yüzdesi ise %85 civarındadır. Değerlendirmeler, önerilen yaklaşımın SYM'den narenciye ağaç sınırlarının otomatik çıkarılması konusunda ümit verici sonuçlar elde edilebildiğini göstermiştir.

ABSTRACT:

Detection of individual trees or wooded areas using automatic or semi-automatic methods from very-high-resolution images is one of the most important research topics of remote sensing and computer vision. In this study, an approach has been developed to determine the boundaries of citrus trees from digital surface model (DSM) generated from images of unmanned aerial vehicles (UAV). The approach is based on the consideration of symmetrical nature of the citrus trees in a DSM. In this context, first, orientation-based radial symmetry is presented to detect citrus trees. Second step includes the generation of interest and influence regions to recover the boundaries of citrus trees detected. In the third step, Chan-Vese active contour method with a negative contraction bias has been applied to each influence region. In the last step, incorrect regions have been cleared with the help of two different strategies. Five test sites were selected from the northern part of Mersin province along the Mediterranean region, which contains the most productive citrus gardens of Turkey. Our results have been compared with the results of two different methods to clarify the success of the proposed approach. The comparison of the results showed that the proposed method performs better by exhibiting a good balance between precision and recall measures. In this sense, at least 7.5% better detection rate is reached compared to the other methods if the total F_i scores are taken into consideration. The proposed method achieved a success rate of about 90% for the pixel-based precision values when compared with the other methods. Pixel-based recall percentage was around 85%. Assessments have shown that the proposed approach can provide promising results for the automatic delineation of the citrus tree boundaries from a DSM.

1. GİRİŞ

Günümüzde gelişen teknolojiye paralel olarak insansız hava araçlarının kullanımı (İHA), bu araçların yüksek kalitede yer örnekleme mesafesi sunması, güncel ve uydu görüntüleri ile karşılaştırıldığında daha hızlı tekrarlanabilen görüntü alımları gibi sebeplerden ötürü hızla artmaktadır. İHA ile kentsel alanlardan kırsal alanlara uzanan çok geniş bir yelpazede görüntüler alınarak birçok alanda çalışmalar yapılabilmektedir. IHA platformlarından elde edilen çok yüksek çözünürlüklü görüntülerden otomatik ve yarı-otomatik yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen ağaç veya ağaçlık alan tespiti de uzaktan algılama çalışmalarının ele aldığı önemli konular arasındadır. Türkiye'deki tarımsal ürünler içinde önemli bir yeri olan narenciye ağaçlarının İHA görüntüleri ile otomatik yöntemlerle algılanması, bu yöndeki tarımsal kararların hızlı ve güvenilir bir şekilde alınabilmesi ve bu sayede tarımda sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi açısından stratejik öneme sahiptir. Türkiye İstatistik Kurumu'nun yayınladığı 2015 verileri Türkiye'deki narenciye ağaçlarının yaklaşık 125 bin hektardan fazla bir alanı kapsadığını söylemektedir. Bu bilgi, Türkiye'deki narenciye bahçelerinden toplanan verinin kalitesinin yıllık ürün tahmini açısından büyük önem arz ettiğini belirtmektedir.

Bireysel ağaç tespiti konusunda bu güne kadar birçok çalışma yapılmıştır. Geliştirilen yöntemler arasında aktif veya pasif

verilerden üretilen sayısal yüzey modeli (SYM), normalize sayısal yüzey modeli (nSYM) ve taç yükseklik modeli (TYM) verileri için geliştirilen yöntemler dikkati çekmektedir. Yapılan çalışmalardan bireysel ve alansal ağaç tanımaya yönelik çalışmaların temelini görüntü bölütleme yöntemlerinin (örn. Hyyppa vd., 2001; Wolf ve Heipke, 2007) oluşturduğu görülmektedir. Bu yöntemin, başlangıç noktası üretimi (örn. Hirschmugl (2007)), lokal maksimum bulma (örn. Popescu and Wynne, 2004; Swetnam and Falk, 2014; Dalponte vd., 2015), bölge büyütme (örn. Zhen vd., 2015) gibi popüler yöntemlerle birlikte kullanılarak desteklendiği de gözlenmektedir. Bunun yanı sıra bireysel ağaç tespiti çalışmalarında kullanılan diğer yöntemler arasında görüntü sınıflandırma (örn. Dalponte vd., 2014) ve morfolojik analizler (örn. Heinzel vd., 2011) gelmektedir.

Bu çalışmada İHA görüntülerinden üretilen SYM'den narenciye ağaçlarının sınırlarının tespitine yönelik bir yaklaşım geliştirilmiştir. Bu yaklaşım SYM'de yer alan narenciye ağaçlarının simetriklik özelliğinin dikkate alınmasına dayanmaktadır. Bu kapsamda ilk olarak çalışmada narenciye ağaçlarının bulunması amacıyla yönelim-tabanlı ışınsal simetri dönüşümü sunulmuştur. İkinci adım, narenciye ağaçlarının sınırlarını bulabilmek amacıyla ilgi ve etki bölgeleri oluşturulmasını kapsamaktadır. Üçüncü aşamada her etki bölgesinde negatif büzülme eğilimli Chan-Vese aktif çevrit yöntemi uygulanmıştır. Son aşamada ise iki farklı strateji vardımıyla hatalı bölgeler temizlenmiştir. Çalışma bölgesi olarak Akdeniz Bölgesi kıyısında Türkiye'nin en verimli narenciye bahçelerini içeren Mersin ilinin kuzey kısmından 5 test alanı seçilmiştir. Önerilen yaklaşımın başarısını net olarak ortaya koyabilmek amacıyla elde edilen sonuçlar literatürdeki iki farklı yöntemin sonuçları ile de karşılaştırılmıştır.

Bölüm 2'de geliştirilen yöntemin detayları, Bölüm 3'te test alanları ve parametreler verilmiştir. Bölüm 4'te yöntemin sonuçları tartışılmıştır. Son bölümde (Bölüm 5) ise çalışmadan elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

2. GELİŞTİRİLEN YÖNTEM

Önerilen yaklaşım, girdi SYM verisine ait yer örnekleme mesafesi gözetilerek görüntüdeki narenciye ağaçlarına ait olası tüm yarıçap değerleri, $\mathbf{R} = \{r_{\min}, r_{\min+1}, \dots, r_{\max}\}$ dikkate alındıktan sonra, minimum ve maksimum yarıçap aralıklarını piksel cinsinden tanımlamayla başlamaktadır (r_{\min}, r_{\max}). Bir sonraki adımda SYM'ye ait gradyan (Farid ve Simoncelli, 2004) ve her bir **p** pikseli için büyüklük, m(**p**), ve yönelim, o(**p**), bileşenleri hesaplanır. Bu aşamada yönelim bileşeni normalize edilerek birim yön vektörlerine, **g**, dönüştürülmüştür. Bu aşamadan sonra, *R*'deki her bir *r* yarıçap için SYM görüntüsüne ait yönelim görüntüsü (O_r) Eş. 1'de belirtildiği gibi hesaplanmaktadır:

$$O_r(\mathbf{p}_r(\mathbf{p}))^{\{yeni\}} = O_r(\mathbf{p}_r(\mathbf{p}))^{\{eski\}} + 1 \quad . \quad (1)$$

Eş. 1'de yer alan \mathbf{p}_r , r yarıçap değeri ile ifade edilen mesafe için birim yön vektörünü dikkate alarak \mathbf{p} 'den elde edilen piksel pozisyonunu ifade etmektedir ve $\mathbf{p}_r(\mathbf{p}) = [\mathbf{p} + \mathbf{g}.r + \mathbf{c}]$ formülü ile hesaplanmaktadır. Formülde yer alan \mathbf{c} sabit bir vektörü ($\mathbf{c} = [0.5 \ 0.5]$) ifade ederken [.] operatörü hesaplanan değeri kendinden bir önceki en büyük tam sayıya dönüştürmektedir. Eş. 1'deki üst simgeler ({yeni} ve {eski}) belirli bir r yarıçap değeri için görüntü uzayında gerçekleştirilen birikimi tanımlamaktadır. Yöntem, birikim işlemi sırasında herhangi bir düzeltme olmadan direk olarak gradyan vektörüne ait yönelimden yararlanmaktadır. Çünkü temel hedef, çevresine göre yüksek olan nesnelerin (örn. narenciye ağaçları) merkezini bulmaktır. Bu nedenle O_r görüntüsünde kümelenmiş değerleri tutan pikseller, SYM'de belirli bir yarıçap r değerine sahip dairesel nesnelere ait merkez noktalar hakkında ipucu vermektedir. Fakat SYM'de yer alan diğer nesneler de (örn. çizgisel, L şeklindeki yapılar) birikme işlemini etkilemekte ve bu nedenle hatalı birikim değerleri ortaya çıkabilmektedir. Bu şekilde ortaya çıkabilecek hatalı birikimden kaynaklanan etkileri en aza indirebilmek ve görüntü uzayında birikimin fazla olduğu piksellerin etkisini etrafına yaymak amacıyla birden çok ışınsal simetri düzeyi parametresi (α_i) ve sabit bir σ değerine sahip iki boyutlu Gauss filtresi (G_{σ}) kullanılmıştır:

$$O_r^A = \sum_{i=1}^m \left(\frac{(O_r)^{\alpha_i}}{\max\{(O_r)^{\alpha_i}\}} * G_\sigma \right) \qquad .$$
(2)

Eş. 2'de yer alan O_r^A belirli bir yarıçap r için seçilen ışınsal simetri düzeyi parametre sayısına (m) bağlı olarak elde edilen birleştirilmiş yönelim görüntüsünü ifade etmektedir. Eşitliğin payda kısmı, her bir α_i için hesaplanan değerlerin O_r^A 'ya eşit şekilde katkıda bulunmasını garanti etmektedir. Burada dikkat edilmesi gereken husus, hesaplanan birleştirilmiş yönelim görüntüsü (O_r^A) SYM'ye ait yönelim-tabanlı simetriyi R'deki belirli bir yarıçap değeri r için yansıtmaktadır. Bu nedenle, R'deki tüm r değerleri için yukarıdaki işlemler tekrar edilmiş ve tüm birleştirilmiş yönelim görüntüleri toplanarak ($O_s = \sum_R O_r^A$) SYM'ye ait yönelim simetri görüntüsü (O_s) hesaplanmıştır (Şekil 1b).

Yönelim simetri görüntüsü Os, SYM'de var olan dairesel ağaç nesnelerinin merkez bölgeleri çevresinde yüksek değerler içermektedir. Bu nedenle, yönelim simetri görüntüsüne bir eşik değeri (örn. $O_S > \tau$) uygulayarak ilgili bölgeler tanımlanmalıdır. Fakat bu işlem için uygulanacak optimum τ değerini (τ^*) bulmak, narenciye ağacı ile birlikte farklı nesneleri de (örn. farklı ağaç türleri, binalar, yollar, sera vb.) içeren SYM'ler için sorunlu bir konudur. Bu çalışmada otomatik eşik değeri elde etmek için kontrolsüz çok seviyeli eşikleme yöntemi olan Otsu yönteminde faydalanılmıştır (Otsu, 1979). Tek bir eşik istenmesi durumunda Otsu eşikleme yöntemi, oluşturulacak iki sınıf arasındaki sınıf varyanslarını, σ_B^2 , maksimum düzeyde tutarak optimum eşik değerini (7) bulur. Buna karşın, çoklu eşik değeri belirleme durumunda yöntem tanımlanan sınıf sayılarına (v) göre bir dizi optimum eşik değeri serisi $(\tau_1^*, \tau_2^*, \dots, \tau_{v-1}^*)$ belirlemektedir:

$$\sigma_B^2(\tau_1^*, \dots, \tau_{v-1}^*) = \max_{(1 \le \tau_1 < \dots < \tau_{v-1} < L)} \sigma_B^2(\tau_1, \dots, \tau_{v-1}) . (3)$$

Formülde yer alan *L* değeri, gri-seviyeli histogram sayısını tanımlar. Eş. 3'ün çözümü, *L* içinde eşit aralıklarla yerleştirilen bir dizi başlangıç eşiğinden ($\tau_1, ..., \tau_{v-1}$) optimum eşik değerini ($\tau_1^*, ..., \tau_{v-1}^*$) bulabilmek için bir arama-tabanlı optimizasyon (Lagarias et al. 1998) gerektirir. Bu çalışmada, yöntem tarafından sağlanan en küçük optimum eşik değeri (τ_1^*) kullanarak ilgi alanları (R_1) oluşturulmuştur: $O_S > \tau_1^*$ (Şekil 1c ve Şekil 1d).

Tüm ilgi alanları tanımlandıktan sonra bir sonra ki adım, ilgi alanlarına ait etki bölgelerini belirlemektir. Bu çalışmada, nesneden nesneye mesafe eşiğini (τ_d) dikkate alarak etki bölgelerinin oluşturulma sürecini yenileyecek orijinal bir morfolojik strateji önerilmektedir. İlk olarak, watershed dönüşümünün ardından nesne sınırları bulunur (örn.watershed dönüşümüne ait yükseklik değerleri sıfır olan pikseller) ve morfolojik olarak tüm nesnelere ait sınır piksellerin (görüntüyü çevreleyen pikseller dahil olmak üzere) en fazla 4-komşuluk bağına sahip olmaları sağlanır. Ardından, 3 veya daha fazla



Şekil 1. (a) Test alanı #1'e ait İHA SYM, (b) $\alpha_i = 4, 5, ve 6$ için yönelim simetri görüntüsü (O_S), (c) ilgi bölgeleri (R_I) ve (d) "+" ile ifade edilen yeşil pikseller (c) deki her bir R_I 'ya ait merkez noktalarını tanımlamaktadır.

komşu sınır pikselleri tarafından çevrelenen tüm dallanma noktaları izlenir ve herhangi iki dallanma noktası arasındaki tüm pikseller tek bir segmente atılır (Şekil 2b). Burada nesneden nesneye mesafeyi tanımlamak için ilgi bölgelerinden mesafe dönüşümü görüntüsü üretilir ve Şekil 2b'deki her segmentin altında kalan piksellerin en az birinin tanımlanan eşik değerini (örn. τ_d) sağlayıp sağlamadığı kontrol edilir. Sonuç olarak, eğer bir sınır segmentindeki bir piksel, verilen mesafe eşiğinin altında ise tüm sınır segmenti silinir. Böylece birbirine mesafe olarak yakın bulunan ilgi gruplarından (< τ_d) hatalı etki bölgeleri üretilmesi önlenerek (Şekil 2c ve 2d) narenciye ağaçlarının etki bölgelerinin nihai temsilinin daha sağlam ve başarılı olması sağlanmıştır.

Çalışmada narenciye ağaç sınırları, aktif çevrit yöntemi kullanarak bulunmuştur. Geçmişte yapılan çalışmalarda aktif çevrit yöntemleri bölge-tabanlı ve sınır-tabanlı olmak üzere iki geniş kategoride sınıflandırılmaktadır. Bölge-tabanlı modeller, nesne sınırlarını bulabilmek için görüntü uzayındaki istatistiksel özellikleri araştırır. Bu nedenle bu kategorideki yaklaşımlar genel anlamda daha iyi sonuçlar üretmektedir. Bu özelliğinden ötürü bu çalışmada, narenciye ağaçlarına ait taç sınırlarını doğru bir şekilde bulabilmek için bölge-tabanlı kategoride yer alan



Şekil 2. (a) Bulunan ilgi bölgeleri (R_I), (b) farklı renklerle gösterilen sınır segmentleri, (c) mesafe eşiği uygulandıktan sonra etki bölgelerinin kalan sınırları ($\tau_d = 0.4$ m) ve (d) SYM görüntüsü ile çakıştırılmış nihai etki bölgesi.

Chan-Vese aktif çevrit modeli (Chan and Vese, 2001) kullanılmıştır:

$$\operatorname{argmin}_{C} \left\{ \lambda_{1} \int_{inside(C)} |I(\mathbf{p}) - \mu_{1}|^{2} d\mathbf{p} + \lambda_{2} \int_{outside(C)} |I(\mathbf{p}) - \mu_{2}|^{2} d\mathbf{p} + \rho \operatorname{Len}(C) + v \operatorname{Area}(C) \right\} .$$
(4)

Eş. 4'te yer alan *C*, kapalı bir çevritin sınırını tanımlarken μ_1 ve μ_2 ise sırasıyla çevritin içindeki ve dışındaki ortalama piksel değerleridir. *Len* ve *Area* operatörleri sırasıyla çevritin uzunluğunu ve çevritin içindeki alanı temsil etmektedir. λ_1 ve λ_2 parametreleri sırasıyla iç ve dış terimleri ağırlıklandırırken ρ terimi çevrite ait düzleştirme düzeyini tanımlamaktadır. v terimi, kullanılacak katsayı işaretine (pozitif veya negatif) bağlı olarak dışa doğru büyümek veya içe doğru büzülmek için çevrit eğilimini kontrol eden parametredir. *I* görüntüyü (bu çalışmada SYM) ifade etmektedir.

Bu çalışmada, her bir etki bölgesi için çevritin evriminin bağımsız olarak gerçekleştirilmesi önerilmektedir (Şekil 3). Bu amaçla, her etki bölgesine ait SYM'de kaplanan kısım bulunmuş ve bu kısım için ilgili SYM bölgesi kesilmiştir. Etki bölgesindeki evrimi başlatmak için gerekli ilk kontur sınırları için o etki bölgesini oluşturmak için kullanılmış olan ilgi alanının sınırları kullanılmıştır. Evrim, kullanıcı tarafından yüksek belirlenmis iterasyon en sayısı (τ_{iter}) ile sınırlandırılmıştır. Aktif çevrit evriminin uygulaması sırasında Whitaker (1998) tarafından önerilen seyrek-alan düzey-kümesi metodu kullanılmıştır. Etki bölgeleri için uygulanan her evrim ya toplam evrim sayısı τ_{iter} 'e ulaşıldığında ya da yinelemedeki çevrit konumu belirli bir yineleme için değişmediyse (en son gerçekleşen beş çevrit konumu aynı ise) durmaktadır. Burada dikkat edilmesi gereken önemli bir husus, evrim sonunda elde edilen çevritlerin herhangi bir kısmı ancak o etki bölgesindeki ilgi alanı ile örtüşürse elde edilen çevrit nihai olarak kabul edilmekte, aksi halde çevrit ve ilgi alanı silinmektedir.



Şekil 3. (*ilk sütun*) Etki alanlarından otomatik olarak kesilmiş görüntüler, (*ikinci sütun*) ilgi alanlarına bağlı olarak ayarlanan başlangıç çevritleri, (*üçüncü sütun*) evrim sonunda ortaya çıkan nihai çevritler. Son sıra narenciye olmayan durumu göstermektedir.

Bu çalışmada, narenciye ağacı dışındaki nesnelerden kaynaklı oluşabilecek hatalı tespitleri önlemek için iki farklı son-işlem stratejisi geliştirilmiştir. İlk strateji, bulunan her ilgi alanının aslında narenciye ağaç çaplarının merkezini tanımladığı gerçeğine dayanmaktadır (Şekil 1d). Bu nedenle aslında ilgi alanları altında kalan yükseklik değerleri aranan narenciye ağaçlarının tepesini yani ağaçların en yüksek kısımlarını kapsamaktadır. Bu gerçek ışığında aktif çevrit yoluyla bulunan ağaç sınırı içindeki ağaç yükseklik değerleri çevriti başlatmak için kullanılan ilgi alanlarına ait ağaç yükseklik değerlerinden daha büyük yükseklik değerleri içermemelidir. Fakat çoklu eşikleme ile üretilen ilgi alanları nadirde olsa narenciye ağaçlarının tepe kısımlarını kaçırabilmektedir. Bu nedenle bulunan bir ağaç sınırı içine düşen yükseklik değerleri ile o ağaca ait ilgi alanına içine düşen yükseklik değerlerini bir güven düzeyi (örn. %95) dikkate alınacak şekilde yüzdelik dilimler hesaplatılarak karşılaştıracak bir strateji geliştirilmiştir:

$$\Phi(\forall(z) \in \mathcal{C}_{baslangic}) \ge \Phi(\forall(z) \in \mathcal{C}_{cikti}) \quad . \tag{5}$$

Eş. 5'te, $\Phi(.)$ parantez içinde hesaplanan yükseklik değerlerinin (z) yüzdelik dilimlerini ifade etmektedir. Başlangıç ve çıktı çevritlerinin içine düşen pikseller sırasıyla $C_{başlangıc}$ ve $C_{çıktı}$ olarak belirtilmiştir. Burada, yüzdelik dilim hesaplamaları iki aşamada yapılmıştır. İlk olarak, C'nin içine düşen yükseklik değerleri sıralanır ve (50/n), (150/n), ..., ([n – 0.5]*100/n) yüzdelik dilimlerine atanır. Buradaki n değeri, C'nin altında kalan piksellerin toplam sayısını belirtmektedir. Ardından, doğrusal enterpolasyon yoluyla (Langford, 2006) herhangi bir spesifik yüzdelik dilim (% 95) hesaplanabilmektedir. Bu çalışmada Eş. 5'teki kriterin narenciye ağaçları için güvenle uygulanabileceğine ve bu kritere uymayan çevritlerin aslında diğer ağaçlara veya nesnelere ait olduğundan silinebileceğine karar verilmiştir (Şekil 4c).

İkinci son-işlem stratejisi, yarıçaplar açısından bir karşılaştırma yapmak için çıktı çevritlerinin daireselliğini araştırmaktadır:

$$\left|r_{\mathcal{C}_{Alan}} - r_{\mathcal{C}_{Sinir}}\right| < \tau_{\mathrm{r}} \qquad . \tag{6}$$

Eş. 6 iki farklı terimi içermektedir. İlk terim $r_{C_{Alan}}$ bulunan bir çıktı çevriti *C* içindeki alan ile aynı sayıda pikseli (*n*) çevreleyen dairenin çapının ($d_{C_{Alan}} = (\sqrt{4 \cdot n/\pi})$ yarısını belirtmektedir.



Şekil 4. (a) SYM test alanı #1, (b) tasvir adımından sonraki çıktı, (c) ilk işlem sonrası strateji (5) sonrasında kalan nesneler, ve (d) ikinci işlem sonrası strateji (6) sonrasında kalan nihai narenciye ağaçları ($\tau_r = 2.5$ piksel). Her bir renk farklı bir narenciye ağacını betimlemektedir in (b)-(d).

İkinci terim olan $r_{C_{Strur}}$ ise doğrusal olmayan en küçük kareler yöntemi kullanarak cebirsel hatayı (sınır piksellerden daireye olan mesafelerin karelerinin toplamı) minimize ederek *C* çevritine ait sınırları oluşturan piksellere uyan bir dairenin yarıçapını tanımlamaktadır. Hesaplanan iki yarıçap arasındaki mutlak fark ise bir eşik değeri (τ_r) ile kontrol edilmektedir. Eğer iki yarıçap arasında hesaplanan mutlak fark değeri τ_r 'den az is çevrit kabul edilmekte, aksi takdirde silinmektedir (Şekil 4d).

3. TEST ALANLARI

Beş farklı SYM'den oluşan test verisi çok yüksek mekânsal çözünürlüklü İHA görüntülerinden elde edilmiştir. Bu amaç için kullanılan İHA, 200W elektrik motoruna sahip 1.2 m kanat genişliği olan bir hava aracıdır (Smartplanes, 2016). Çalışmada sırasıyla %80 ve %60 boyuna ve enine bindirme oranları sağlanmıştır. İHA görüntüleri, 8 bit radyometrik çözünürlükte ve çok yüksek yer örnekleme mesafesine (\approx 3.5 cm/piksel) sahip olan doğal renk kombinasyonunda (RGB) elde edilmiştir.

Çalışma bölgesi olarak Akdeniz Bölgesi kıyısında Türkiye'nin en verimli narenciye bahçelerini içeren Mersin ilinin kuzey kısmından 5 test alanı seçilmiştir (Şekil 5). Test alanlarına ait SYM'ler Pix4D yazılımında (Pix4D, 2016) yer alan yarı-global eşleme yöntemi ile elde edilen yoğun nokta bulutundan (m³ başına ortalama 40-50 nokta) üretilmiştir. SYM'de yer alan ayrıntıyı azaltmak ve uygulanan işlem yükünü hafifletmek amacıyla yer örnekleme aralığı \approx 7 cm/piksel olacak şekilde yeniden örneklenmiştir.

Narenciye ağaçlarının sınırlarını içeren referans veri elle üretilmiştir. Bu çalışmada, önerilen yöntemin performansını test etmek amacıyla piksel-tabanlı *Kesinlik, Geri-getirme* ve F_I skoru adıyla anılan üç kalite değerlendirme ölçütü kullanılmıştır:

$$Kesinlik = \frac{\|DP\|}{\|DP\| + \|YP\|} \tag{7}$$

$$Geri - getirme = \frac{\|DP\|}{\|DP\| + \|YN\|}$$
(8)

$$F_1 = \frac{2.Kesinlik.Geri-getirme}{Kesinlik+Geri-getirme}$$
(9)

Yukarıdaki formüllerde yer alan *DP* doğru-pozitif, *YP* yanlışpozitif ve *YN* yanlış-negatif değerlerini ifade etmektedir. $\| \cdot \|$ operatörü bu kategorilere atanan piksel sayılarını göstermektedir. F_1 skoru ise *Kesinlik* ve *Geri-getirme* ölçütlerini eşit şekilde ağırlıklandırarak yöntemin genel performansını yansıtmaktadır.

Önerilen yaklaşım için gerekli tüm parametreler için farklı değerler kullanılarak çok sayıda deney gerçekleştirilmiş ve her bir parametrenin sonuca etkisi *Kesinlik, Geri-getirme* ve F_I skoru değerleriyle araştırılarak optimum parametre kombinasyonuna ulaşılmıştır (Ok ve Ok-Ozdarici, 2017).

4. DEĞERLENDİRME

Geliştirilen yaklaşımın görsel sonuçları Şekil 5'te verilmiştir. Görsel sonuçların yanı sıra, yaklaşımın sayısal performans sonuçları ise Tablo 1'de sunulmuştur. Tablo 1'deki önerilen yaklaşıma ait genel kesinlik, geri-getirme ve F_1 skoru performans değerlerinin tamamında %90 ve üzerinde bir pikseltabanlı sonuç elde edilmiştir. Bu da yaklaşımın oldukça başarılı sonuçlar üretebileceğini işaret etmekte ve güvenilir bir yöntem olduğunu kanıtlamaktadır.



Şekil 5. Piksel-tabanlı görsel sonuçlar. (*ilk sütun*) Popescu ve Wynne (2004) ve Kwak vd. (2007) yaklaşımının sonuçları, (*ikinci sütun*) Dalponte vd. (2015) yaklaşımının sonuçları, (*üçüncü sütun*) geliştirilen yaklaşımın sonuçları. Yeşil, kırmızı ve mavi renkler sırasıyla doğru-pozitif, yanlış-pozitif ve yanlış-negatif pikselleri tanımlamaktadır.

Veri seti	Piksel-tabanlı Performans (%)								
	Popescu ve Wynne (2004) + Kwak vd. (2007)			Dalponte vd. (2015)			Önerilen Yaklaşım		
	Kesinlik	Geri-getirme	F_1	Kesinlik	Geri-getirme	F_1	Kesinlik	Geri-getirme	F_1
#1	70.9	92.2	80.2	68.2	85.0	75.7	94.4	90.0	92.1
#2	73.5	89.4	80.6	68.8	87.1	76.8	92.4	92.5	92.5
#3	75.2	94.3	83.7	73.0	90.4	80.8	91.3	90.9	91.1
#4	68.9	77.2	72.8	49.1	57.4	53.0	65.6	59.1	62.2
#5	76.4	95.2	84.8	75.0	95.5	84.0	89.2	92.8	90.9
Genel	74.7	93.2	82.9	72.0	90.6	80.3	90.0	90.9	90.4

Tablo 1. Önerilen ve literatürde güvenilirliği kanıtlanmış iki farklı ağaç bulma yöntemin piksel-tabanlı sonuçları

Sunulan yöntemin sonuçları literatürde güvenilirliği kanıtlanmış iki farklı ağaç bulma yöntemi sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Burada bu iki yöntemin başarılı olarak çalıştırılabilmesi için test alanlarına ait nSYM üretilmiş ve bu iki yöntemin girdi verisi olarak kullanılmıştır. Karşılaştırmada ilk göze çarpan gerçek, sunulan yöntemin elde edilen genel *Kesinlik* ve F_I skorları dikkate alındığında tüm yöntemlere nazaran çok daha iyi sonuçlar üretmiş olduğudur. Bu anlamda hesaplanan toplam F_I skorları dikkate alındığında geliştirilen yöntem diğer yöntemlere göre en az %7.5 oranında daha iyi piksel-tabanlı sonuç elde etmiştir. Önerilen yöntemin performansı test alanı bazında değerlendirildiğinde en kötü sonuç 4 nolu test alanında gözlenmiştir (Şekil 5). Bu test alanında yer alan yeni dikim ve henüz meyve vermemiş olan narenciye ağaçlarının çoğu yönelim-tabanlı ışınsal simetri dönüşümü tarafından bulunamamıştır. Bunun temel sebebi, görece küçük ağaç tacına sahip narenciye ağaçları yüksek çözünürlüğe rağmen simetrik birikim için yeterli sayıda bilgi toplanmasına engel olmakta ve bu nedenle eşikleme sonrasında yeterince tatmin edici sonuçlara ulaşılamamaktadır. Bunun yanı sıra, sonuçlar incelendiğinde önerilen yöntemin geri-getirme yüzdeleri bir alan hariç olmak üzere en iyi sonucu üretememiştir. Fakat her alan için en iyi geri-getirme sonucunu üreten yöntemin sonuçları ile karşılaştırıldığında geliştirilen yöntemin sonuçları 4 nolu test alanı hariç olmak üzere çok da farklı değildir. Bu nedenle de sunulan yöntem genel piksel-tabanlı geri-getirme yüzdesi olarak %90'nın üzerinde bir sonuç üretebilmiştir. Ağaç bulma konusunda kabul görmüş yöntemlerle karşılaştırma sonucunda yöntemin kesinlik ve geri-çağırma ölçütleri arasında iyi bir denge sağlayarak üstün bir performans sergilediği sonuçlardan görülmektedir. Fakat diğer yöntemlerin de %80 üzerinde F1 skorları üreterek genel olarak başarılı olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra oldukça zor bir test alanı olan 4 nolu test alanında en iyi sonucu %72'in üzerinde bir F_1 skoru ile Popescu ve Wynne (2004) ve Kwak vd. (2007) yaklaşımının sonucu üretmiştir. Fakat diğer yöntemlerin sonuçlarının nSYM verisinden üretildiğini ancak geliştirilen yöntemin direkt olarak SYM verisi kullanarak bu sonuçlara ulaştığı da ayrıca vurgulanması gereken önemli bir husustur.

5. SONUÇ

Bu çalışmada tek bir SYM girdi verisinden narenciye ağaçlarının sınırlarının bulunmasına yönelik orijinal bir yaklaşım geliştirilmiştir. Öne sürülen yaklaşımın temelini, özellikle SYM gibi girdi verileri için geliştirilen ve dairesel nesnelere (örn. narenciye ağaçları) odaklanmayı kolaylaştıran yönelim-tabanlı ışınsal simetri dönüşümü oluşturmaktadır. Ayrıca bu çalışmada bir narenciye ağacına ait ilgi alanlarının ve etki bölgelerinin etkili bir şekilde üretilebilmesi için bir yöntem sunulmuştur. Narenciye ağaçlarının sınırlarının bulunması için negatif büzülme eğilimli Chan-Vese aktif çevrit yönteminin kullanılabilirliği de ortaya koyulmuştur. Son-işlem aşaması için ise hatalı tespitleri temizlemek için iki etkili strateji geliştirilmiştir.

Öne sürülen yaklaşım, çok yüksek çözünürlüklü İHA görüntülerinden üretilen SYM kullanılarak farklı dikim yapısına, yöne, dokuya, şekle ve yüksekliklere sahip narenciye bahçelerini içeren 5 test alanında değerlendirilmiştir. Elde edilen veriler önerilen yaklaşımın oldukça ümit verici sonuçlar sağladığını göstermektedir. Tüm test alanları için piksel ve nesne tabanlı genel F_1 -skoru %90.4 olarak hesaplanmıştır. Bunun yanında önerilen yaklaşıma ait sonuçların daha önceden öne sürülen iki ağaç sınırı bulma yaklaşımı sonuçları ile karşılaştırılması, sunulan yaklaşımın potansiyelini ortaya koymaktadır. Sonuçların literatürde kabul görmüş yöntemlerle karşılaştırılması, önerilen yaklaşımın kesinlik ve geri-getirme ölçütleri arasında iyi bir denge kurarak narenciye ağacı sınırlarının bulunması için daha başarılı bir performans sağladığını göstermektedir.

Gelecek çalışmalarda, başarı oranlarını arttırabilmek için diğer çok-seviyeli eşikleme stratejileri test edilecektir. Buna ek olarak, kritik bir diğer çalışma, narenciye bahçelerini tanımlama ve ayırmayı içermektedir. Bu sayede, narenciye bahçe sınırlarının otomatik güncellenmesi mümkün olabilecektir. Ayrıca farklı bir çalışmada SYM'lerden narenciye ağaç sınırlarının tanımlanması ve üç boyutlu olarak temsil edilmesi planlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK tarafından desteklenmektedir [Proje Numarası 114Y671]. Yazarlar, Dr. Emre Başeski'ye, ATAY Mühendislik Genel Müdürü Hürcan ATAY'a ve SATLAB Geosolutions şirketine proje ve arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı teşekkürleri sunar. Ayrıca arazi ve referans veri üretimindeki çalışmalarından dolayı lisans öğrencileri Süleyman TOPRAK'a ve Esengül ZEYREK'e teşekkürlerini iletirler.

Dr. Michele Dalponte'ye yaklaşımı ile ilgili kodları¹ paylaştığı ve kodla ile ilgili yardımlarından ötürü yazarlar teşekkürlerini sunar. Popescu ve Wynne (2004) ve Kwak vd. (2007) yaklaşımına ait kaynak kodlar Matthew Parkan tarafından geliştirilmiş olup Digital Forestry Toolbox² ta yer almaktadır.

REFERANSLAR

Chan, T. F., and L. A. Vese. 2001. Active Contours without Edges. *IEEE Transactions on Image Processing*, 10(2), pp. 266-277.

Dalponte, M., Ørka, H.O., Ene, L.T., Gobakken, T., and Næsset, E., 2014. Tree crown delineation and tree species classification in boreal forests using hyperspectral and ALS data. *Remote Sensing of Environment*, 140(1), pp. 306-317.

Dalponte, M., Reyes, F., Kandare, K., and Gianelle, D., 2015a. Delineation of individual tree crowns from ALS and hyperspectral data: a comparison among four methods. *European Journal of Remote Sensing*, 48(8), pp. 365-382.

Farid, H., Simoncelli, E.P., 2004. Differentiation of discrete multidimensional signals. *IEEE Transactions on Image Processing*, 13(4), pp. 496-508.

Heinzel, J.N., Weinacker, H., and Koch, B., 2011. Priorknowledge-based single-tree extraction. *International Journal* of *Remote Sensing*, 32(17), pp. 4999-5020.

Hirschmugl, M., Ofner, M., Raggam, J., and Schardt, M., 2007. Single tree detection in very high resolution remote sensing data. *Remote Sensing of Environment*, 110(4), pp. 533-544.

Hyyppa, J., Kelle, O., Lehikoinen, M., and Inkinen, M., 2001. A segmentation-based method to retrieve stem volume estimates from 3-D tree height models produced by laser scanners. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 39(5), pp. 969-975.

Kwak, D.-A., Lee, W.-K., Lee, J.-H., Biging, G.S., and Gong, P., 2007. Detection of individual trees and estimation of tree height using LiDAR data. *Journal of Forest Research*, 12(6), pp. 425-434.

Lagarias, J. C., Reeds, J. A., Wright, M. H., and P. E. Wright. 1998. Convergence Properties of the Nelder-Mead Simplex Method in Low Dimensions. *SIAM Journal of Optimization*, 9(1), pp. 112-147.

Langford, E. 2006. Quartiles in Elementary Statistics. *Journal of Statistics Education*, 14(3).

¹ https://cran.r-project.org/web/packages/itcSegment/index.html

² http://mparkan.github.io/Digital-Forestry-Toolbox/

Ok, A.O., and Ozdarici-Ok, A. 2017. 2-D Delineation of Individual Citrus Trees from UAV-based Dense Photogrammetric Surface Models, (değerlendirme aşamasında)

Otsu, N., 1979. A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, 9(1), pp. 62-66.

Pix4D, 2016. https:// pix4d.com (19 Jul. 2016).

Popescu, S.C., and Wynne, R.H., 2004. Seeing the trees in the forest: Using lidar and multispectral data fusion with local filtering and variable window size for estimating tree height. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 70(5), pp. 589-604.

Smartplanes, 2016. http://smartplanes.se/ (19 Jul. 2016).

Swetnam, T.L., Falk, D.A., 2014. Application of Metabolic Scaling Theory to reduce error in local maxima tree segmentation from aerial LiDAR. *Forest Ecology and Management*, 323(6), pp. 158-167.

Whitaker, R. T. 1998. A Level-Set Approach to 3d Reconstruction from Range Data. *International Journal of Computer Vision*, 29(3), pp. 203-231.

Wolf (né Straub), B.M., Heipke, C., 2007. Automatic extraction and delineation of single trees from remote sensing data. *Machine Vision and Applications*, 18(5), pp. 317-330.