

[946]

PLEIADES-1 TRI-STEREO UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN ELDE EDİLEN SAYISAL YÜZEY MODELLERİNİN NARENCİYE AĞACI TESPİTİ ÜZERİNDEKİ ETKİSİNİN İRDELENMESİ

Ali Özgün OK¹, Aslı ÖZDARICI OK², Emre BAŞESKİ³

¹Doç. Dr., Nevşehir H.B.V. Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, 50300, Nevşehir, ozgunok@nevsehir.edu.tr

²Yrd. Doç. Dr., Nevşehir H.B.V. Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh. Bölümü, 50300, Nevşehir, asliok@nevsehir.edu.tr

³Dr., HAVESAN A.Ş., Eskişehir Yolu 7.km, 06520, Ankara, ebaseski@havelsan.com.tr

ÖZET

Bu çalışmada yüksek mekânsal çözünürlüklü (50cm/piksel) Pleiades-1 tri-stereo uydu görüntülerinden Mersin bölgesindeki narenciye ağaçlarının otomatik çıkarılabilmesi için literatürde yer alan görüntü eşleme yöntemleri test edilmiş ve bu doğrultuda görüntü eşleme kavramı üzerinde yoğunlaşarak en uygun yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. İlk olarak stereo/tri-stereo görüntülerinden paralaks çıkarımı konusu ele alınmış ve bu konu özelinde literatürde geliştirilmiş olan lokal, yarı-global (semi-global) ve global yöntemler açıklanmıştır. Mersin test alanını kapsayan tri-stereo uydu görüntüsü üzerinde denenmiş yöntemler; (a) Lokal yöntemler ("korelasyon-tabanlı" ve "en küçük kareler metodu"), (b) Yarı global yöntem (Semi-global Matching) ve (c) Global yöntem (SIFT-akış) olarak adlandırılmaktadır. Bu yolla, seçilen test alanında yer alan narenciye ağaçlarına yönelik sayısal yüzey modelleri üretilmiştir. İlgili test alanının doğruluk analizlerinde kullanılan referans yüzey modeli ise ultra yüksek çözünürlüklü (≈ 4 cm/piksel) insansız hava aracı görüntülerinden çoklu görüntü eşleme tekniği ile elde edilmiştir. Karşılaştırmalar sonucunda elde edilen sonuçlara göre literatürde kullanılan yöntemler arasında en iyi sonucu Yarı-Global yöntemin ürettiği görülmüştür. Fakat sonuçlar, (a) kullanılan yöntemlerin Pleiades-1 görüntülerinin orijinal yer örnekleme aralığının 70 cm olması, (b) stereo çekim açılarının darlığı ve (c) ağaçların dikim özelliklerinden kaynaklanan ve görüntü eşlemenin en önemli problemlerinden biri olan tekrarlayan nesnelere sorunu nedeniyle narenciye ağacı tespitinde istenilen sonuçlara ulaşamadığını göstermektedir. Elde edilen sonuçlar hiçbir yöntemin narenciye ağaç yüksekliklerini arzu edilen hassasiyette elde edemediğini göstermiştir. Ayrıca tri-stereo görüntü kullanımının narenciye ağaçlarının yükseklik değerlerinde stereo eşlemeye nazaran gözle görülür bir iyileştirme getirmediği fakat eşlenemeyen alanları azaltarak yüzey modeli kalitesini görece arttırdığı ortaya koyulmaktadır.

Anahtar Sözcükler: Görüntü Eşleme, Narenciye Ağaçları, SYM, Pleiades-1, Stereo ve Tri-stereo görüntüler

ABSTRACT

INVESTIGATION OF THE EFFECT OF DIGITAL SURFACE MODELS OBTAINED FROM PLEIADES-1 TRI-STEREO SATELLITE IMAGES ON THE DETECTION OF CITRUS TREES

In this study, image matching methods existing in the literature were tested to automatically extract citrus trees in Mersin region from high spatial resolution (50cm/pixel) Pleiades-1 tri-stereo satellite images. In this way, the most appropriate method was tried to determine concentrating on image matching. First, the extraction of parallax from stereo/tri-stereo images was defined, and the local, semi-global and global methods developed in this context are described. The tested methods on tri-stereo images covering Mersin region were; (a) local methods ("correlation-based" and "least squares method"), (b) Semi-global method (Semi-Global Matching), and (c) global method (SIFT-flow). In this way, digital surface models were generated for citrus trees in a selected test area. The reference surface model used in the accuracy analysis of the test area was obtained using a multi-image matching approach from an ultra-high resolution (≈ 4 cm/pixel) images collected through an unmanned aerial vehicle. The results based on the comparison, the semi-global method was shown to produce the best result among the methods tested. However, the results confirm that anticipated results could not be reached for the detection of citrus trees because of the following reasons: (a) the original ground sampling distance of Pleiades-1 images is 70 cm, (b) the narrowness of the stereo acquisition angles, and (c) the problem of repetitive objects that is one of the most important problems of image matching caused by the planting characteristics of trees. The results exposed that none of the methods reached the accuracy required for the citrus trees. Besides, the use of tri-stereo images compared to stereo processing did not bring a noticeable improvement to the extracted heights of citrus trees but relatively increased the quality of the surface model by reducing the areas that are not matched.

Keywords: Image Matching, Citrus Trees, DSM, Pleiades-1, Stereo and Tri-stereo images

1.GİRİŞ

Tarımsal üretime yönelik plan kararlarının hızlı ve güvenilir şekilde elde edilebilmesi ve tarımda sürdürülebilirliğin sağlanabilmesi, özellikle Türkiye gibi tarım ülkeleri için büyük önem taşımaktadır. Geleneksel tarım uygulamalarında başvurulan saha çalışmaları ve hava fotoğraflarının bir operatör tarafından yorumlanması

gibi yöntemler, özellikle büyük alanlar için pahalı olmasının yanı sıra zaman alması nedeniyle de günümüzde plan kararlarının etkili şekilde alınabilmesinde yetersiz kalmaktadır. Ayrıca bu tür uygulamalarda herhangi bir bilginin tekrar ve sürekli olarak elde edilmesi de oldukça zordur. Uzaktan algılama teknolojileri tekrar edilebilir olması ve büyük alanlar üzerinde daha az maliyetle uygulanabilmesi sebebiyle kullanıcılara büyük kolaylıklar sağlamaktadır. Gelişen uydu teknolojileri ile birlikte arazi örtüsü ve kullanımına ilişkin bilgiler detaylı olarak görüntülenebilmekte, bu sayede devamlı artan güvenilirlikte tematik haritalar üretilebilmektedir. Uydu teknolojisine paralel olarak çok yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin ön plana çıkması, dünya üzerindeki nesnelerin daha detaylı görüntülenebilmesine ve analiz edilmesine olanak sağlamıştır.

Ağaç veya ağaçlık alanların tespiti, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden otomatik veya yarı otomatik yöntemlerle tespit edilmeye çalışılan konuların başında gelmektedir. Beslenme, ormancılık, barınma, CO2 depolama ve park ve bahçeler için yeşil alan olanağı sağlamada başlıca rezervuar olma özelliği taşımaları, ağaçları dünya üzerindeki arazi örtüsü bileşenlerinin en önemli topoğrafik öğelerinden yapmaktadır. Diğer taraftan uydu görüntülerindeki mekânsal çözünürlük seviyelerinin artması ile birlikte ortaya çıkan problemlerin giderilebilmesi ve daha hızlı ve güvenilir haritaların üretilebilmesi için otomatik yaklaşımlara olan talep de giderek önem kazanmaktadır.

Bu çalışmada yüksek mekânsal çözünürlüklü (50cm/piksel) Pleiades-1 tri-stereo uydu görüntülerinden Mersin bölgesinde yetiştirilen narenciye ağaçlarının otomatik tespiti ve çıkarılabilmesi için literatürde yer alan görüntü eşleme yöntemleri test edilmiş ve bu doğrultuda görüntü eşleme kavramı üzerinde yoğunlaşarak en uygun yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. İlk olarak stereo/tri-stereo görüntülerinden paralaks çıkarımı konusu ele alınmış ve bu konu özelinde literatürde geliştirilmiş olan lokal, yarı-global (semi-global) ve global yöntemler açıklanmıştır. Mersin test alanını kapsayan tri-stereo uydu görüntüsü üzerinde denenmiş yöntemler; (a) Lokal yöntemler (“korelasyon-tabanlı” ve “en küçük kareler metodu”), (b) Yarı global yöntem (Semi-global Matching) ve (c) Global yöntem (SIFT-akış) olarak adlandırılmaktadır. Bu yolla, seçilen test alanında yer alan narenciye ağaçlarına yönelik sayısal yüzey modelleri üretilmiştir. Elde edilen tüm yüzey modeli sonuçları farklı narenciye ağaç ve dikim şekillerini içeren bir test alanı kullanılarak karşılaştırılmıştır. İlgili test alanına ait referans yüzey modeli ise ultra yüksek çözünürlüklü ($\approx 4\text{cm/piksel}$) insansız hava aracı görüntülerinden çoklu görüntü eşleme tekniği (Yarı global yöntem) ile elde edilmiştir.

2.UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN SAYISAL YÜZEY MODELİ (SYM) ÜRETİLMESİ

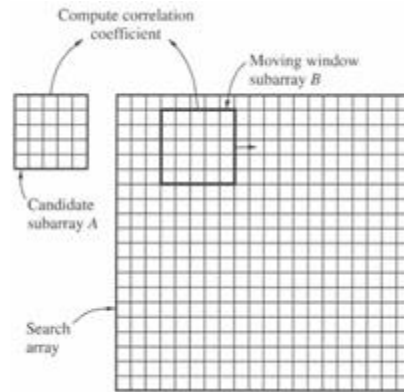
Bu çalışmada literatürde bilinen popüler görüntü eşleme yöntemleri Pleiades görüntüleri üzerinde test edilmiş ve narenciye ağaçları özelinde en uygun yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. Mersin test alanını kapsayan tristereo uydu görüntüsü üzerinde denenmiş yöntemler; (a) Alan-tabanlı (area-based) yöntemler (korelasyon tabanlı, en küçük kareler metodu), (b) Yarı global yöntem ve (c) Global yöntem (SIFT-akış) olarak adlandırılmaktadır. Yöntemlerin işleyişine ilişkin detaylar aşağıda açıklanmaktadır:

2.1.Alan-tabanlı (Area-based) Yöntemler

Alan-tabanlı yöntemler çoğunlukla stereo görüntülerin sayısal değerlerine dayalı görüntü eşleşme gerçekleştirmektedir. Sağ ve sol stereo görüntüler arasındaki eşlenik noktalar, parametreleri kullanıcı tarafından tanımlanan referans ve arama pencereleri kullanılarak tespit edilmektedir. Yöntem kısaca Şekil 1’de görülmektedir. Öncelikle küçük bir pencere dizisi (referans dizisi) ilk görüntüden seçilir. İkinci görüntüde referans dizisinin karşılık gelen konumunu bulmak için daha geniş bir arama alanı bu görüntüde tanımlanır. Daha sonra, referans dizisi ile aynı boyutta olan küçük alt-dizilimler ilgili arama alanı içinde seçilir ve her biri istatistiksel olarak referans penceresi ile karşılaştırılıp dizilimler arası benzerlik seviyesi belirlenir. Benzerlik seviyesinin derecesi, normalleştirilmiş çapraz-korelasyon katsayısı, ortalama normalize mutlak farkın toplamı, stokastik işaret değişikliği veya dış asgari sayı tahminçisi gibi çeşitli istatistiksel teknikler kullanılarak belirlenebilir (Toutin, 2002). Arama alanında yine kullanıcı tarafından belirlenmiş bir benzerlik eşik değerinin üzerinde hesaplanan ilişki değerlerinin en yüksek referans pencere için eşlenik nokta olarak kabul edilir.

İstatistiksel teknikler arasında normalleştirilmiş çapraz korelasyon katsayısı en doğru olarak kabul edilir (Leberl ve ark., 1994). Korelasyon katsayısı aşağıdaki denklem yardımıyla hesaplanır:

$$c = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [(A_{ij} - \bar{A})(B_{ij} - \bar{B})]}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [(A_{ij} - \bar{A})^2] \right] \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [(B_{ij} - \bar{B})^2] \right]}} \quad (1)$$



Şekil 1. Referans ve arama alanı kullanılarak Alan-tabanlı eşleme (Wolf ve Dewitt, 2000)

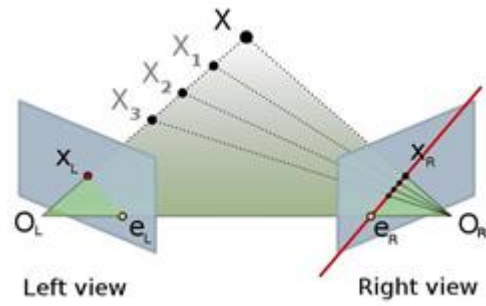
Yukarıdaki eşitlikte, c korelasyon katsayısı, m ve n sırasıyla alt-dizilimlerin satır ve sütun sayılarını, A_{ij} alt-dizilimdeki i . satır ve j . sütundaki sayısal değeri, alt-dizilimdeki tüm sayısal değerlerin ortalamasını, B_{ij} alt-dizilimdeki i . satır ve j . sütundaki sayısal değeri, alt-dizilimdeki tüm sayısal değerlerin ortalamasını ifade etmektedir. Korelasyon katsayısı "-1" ile "1" arasında olabilir. "-1" Mükemmel bir negatif korelasyonu, "0" alt-dizilimler arasında bir korelasyon olmadığını ve "1" mükemmel pozitif korelasyonu gösterir. Gürültü (noise), iki görüntü çekimi arasındaki zaman farkı ve farklı çekim geometrileri gibi nedenlerle alt-dizilimler karşılaştırılmasında mükemmel bir pozitif korelasyon elde etmek son derece zordur. Bu nedenle, bir korelasyon eşik değeri (örn. 0.7) bir çok durumda seçilir ve korelasyon katsayısının bu değeri aşması durumunda, alt-dizilimlerin merkezi piksellerinin eşleşen olduğu kabul edilir (Wolf ve Dewitt, 2000).

İkinci alan-tabanlı eşleştirme yöntemi, eşlenik pikselleri piksel-altı seviyede elde edebilen en küçük kareler eşleme yöntemidir. Bu yöntemin en yaygın formülasyonu aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır (Poli vd. 2009):

$$\begin{aligned} A(x, y) &= h_0 + h_1 B(x', y') \\ x' &= a_0 + a_1 x + a_2 y \\ y' &= b_0 + b_1 x + b_2 y \end{aligned} \quad (2)$$

Burada, $A(x, y)$ sol stereo görüntüdeki x, y konumundaki referans alt-dizilimindeki sayısal değeri, $B(x', y')$ sağ stereo görüntüdeki x', y' konumundaki aday alt-dizilimindeki sayısal değeri, h_0 radyometrik kayma değerini ve h_1 ise radyometrik ölçek değerini ifade etmektedir. Yukarıdaki eşitlikler sol ve sağ stereo görüntüyü afin dönüşümü (birinci derece polinom) ile ilişkilendirmektedir. En küçük kareler yaklaşımı doğası nedeniyle, bu yöntem bilinmeyenler için başlangıç değerleri gerektirir ($h_0, h_1, a_0, a_1, a_2, b_0, b_1$ and b_2). Her bir çözüm, doğrusallaştırılmış denklemlerin oluşturulmasını, düzeltmeleri elde etmeyi ve ilk yaklaşımlar için düzeltmeleri eklemeyi gerektirir. Bilinmeyenler için sonuçlar tatmin edici ve düzeltmeler önemsiz olana kadar bu süreç devam eder.

Alan-tabanlı yöntemlerin doğruluğunu etkileyen önemli bir faktör alt-dizilim boyutudur. Genel olarak, 20 x 20 ve 30 x 30 gibi alt-dizilim boyutları ile tatmin edici sonuçlar elde edilebilmektedir (Wolf ve Dewitt, 2000). Alt-dizilim boyutunun küçük tanımlandığı durumlarda olası eşlenik noktalar bulunamayabilir. Diğer taraftan alt-dizilim boyutu büyük seçilirse birden fazla eşleşen nokta bulunabilir. Bu nedenle her iki durum da problemleri üretecektir. Bu sorunun çözümü için kullanılan genel yöntem eşleme öncesinde ham stereo görüntülerden "epipolar görüntüleri" üretmektir. Bunun için sol ve sağ stereo görüntüler aralarındaki y paralaksı sıfırlanacak şekilde yeni stereo görüntülere dönüştürülür. Bu durumda, arama alanı iki boyuttan bir boyuta indirgenmiş olur (Şekil 2). Bu ön-işleme yanlış piksel eşleştirme olasılığını azaltmakta ve iki boyutlu arama ile karşılaştırıldığında işlem zamanında bir azalmayı beraberinde getirmektedir.



Şekil 2. Alan-tarayıcı algılayıcılarda epipolar düzlem (http://en.wikipedia.org/wiki/File:Epipolar_geometry.svg)

O_L ve O_R sol ve sağ kameraların merkezi, X görüntülenen nokta olsun. Bu üç noktanın oluşturduğu düzlemin sol ve sağ görüntü düzlemlerini kestiği doğru parçalarına epipolar doğrular denilmektedir. X_L , X 'in sol görüntü düzlemi üzerindeki projeksiyonu olsun. Bu noktanın sağ görüntü düzlemi üzerindeki eşleşmesi (X 'in sağ görüntü düzlemi üzerindeki projeksiyonu), sağ epipolar doğru üzerinde bulunmaktadır. Bir noktanın eşleşmesinin bulunması problemi noktayı tüm görüntüde aramak yerine sadece bir doğru üzerinde aramaya indirildiği için arama işlemi daha hızlı olacaktır ve doğru sonuca ulaşma ihtimali artacaktır. Görüntü düzlemlerinin paralel olması durumunda epipolar doğrular tek bir doğru olacağı için sol görüntüdeki (x_L, y_L) noktasının eşleşmesini sağ görüntüde aramak için sadece y_L ile aynı hizadaki piksellere bakmak yeterli olacaktır.

Kameraların birbirlerine göre yönelimlerini değiştirerek görüntü düzlemlerini aynı düzlem üzerine getirme işlemine epipolar düzeltme denilmektedir. Epipolar düzeltilmiş bir görüntü çifti yan yana koyulduğunda, eşleşen noktaların y koordinatlarının aynı olduğu gözlenecektir.

Çizgi-tarayıcı algılayıcılardan (uydu görüntülerinden) gelen görüntüleri epipolar rektifiye etmek, alan-tarayıcı algılayıcılara göre çok daha karmaşık bir işlemdir ve görüntü üzerinde iyi dağılmış hassas yer kontrol noktaları gerektirmektedir. Öncelikle, çizgi-tarayıcı algılayıcılarda epipolar doğru hiperboliktir. Ayrıca, görüntüde eşlenik bir epipolar hiperbol yoktur. Uydu görüntülerinin epipolar olarak düzeltilmesi için farklı yaklaşımlar vardır. Ono vd. (1999) ve Okamoto vd. (1999), sabit hız ve yükseklik kabullenmesi yaparak epipolar rektifikasyon yapmışlardır. Morgan (2004), odak uzaklığı ve dönüş açıları kullanarak perspektif projeksiyonu paralel projeksiyona çevirerek epipolar rektifikasyon işlemini gerçekleştirmiştir.

2.2. Yarı-global yöntem

Prensip olarak bu yöntem, güvenilir bir görüntü eşleşme elde etmek için art arda bir boyutlu operasyonların bir dizi ile oluşturularak 2B global enerji minimizasyonuna yaklaşması üzerine kurulmuştur. Yöntem, ön şart olarak epipolar görüntülerin oluşturulmasını gerektirmekte ve üç ana aşamada şekillenmektedir (Hirschmüller, 2008): (i) maliyet hesaplama, (ii) maliyet toplama ve (iii) paralaks hesaplama.

Stereo eşleme için maliyet fonksiyonu iki resim arasındaki potansiyel eşleşen pikseller arasındaki benzerlik (veya benzersizlik) seviyesini sağlamayı hedeflemektedir. Stereo eşleştirme için geliştirilen 15 farklı maliyet fonksiyon değerlendirilmiş (Hirschmüller ve Scharstein, 2009) ve değerlendirmeler sonucunda parametrik olmayan Census dönüşümü en iyi maliyet fonksiyonu olarak ortaya çıkmıştır.

Yarı-global yöntem eşleme safhasında Eş. 3'deki gibi düzleştirme etkisini dikkate alan bir enerji minimizasyonu problemini çözmeyi hedeflemiştir (Hirschmüller, 2008):

$$E(D) = \sum_{\mathbf{p}} \left(C(\mathbf{p}, D_{\mathbf{p}}) + \sum_{\mathbf{q} \in N_{\mathbf{p}}} P_1[|D_{\mathbf{p}} - D_{\mathbf{q}}| = 1] + \sum_{\mathbf{q} \in N_{\mathbf{p}}} P_2[|D_{\mathbf{p}} - D_{\mathbf{q}}| > 1] \right) \quad (3)$$

Burada $C(\mathbf{p}, D_{\mathbf{p}})$, D paralaks değerindeki tüm \mathbf{p} pikselleri için piksel tabanlı eşleme maliyetini tanımlamaktadır. Köşeli parantezler içlerindeki argümanların doğru olup olmadığını değerlendirmekte ve doğru ise 1 değilse 0 dönmektedir. Böylece eşitlikteki ikinci terim, \mathbf{p} ile $N_{\mathbf{p}}$ komşuluğundaki tüm \mathbf{q} piksellerle paralaks farkının 1'e eşit olduğu durumda sabit bir P_1 ceza değerini eklemektedir. Son terim ise paralaks farkının iki veya daha fazla olduğu durumda farklı bir sabit P_2 ceza değerini hesaba katmaktadır.

Yarı-global yöntem Eş. 3'deki iki boyutlu minimizasyonu gerçekleştirmek için dinamik programlama ile ilgili her pikseli belirli bir yönde (r) bir boyutlu olarak taramakta ve yön boyunca eşleme maliyetlerini () toplamaktadır. Nihai toplam maliyet değeri $S(\mathbf{p}, d)$ ise taranan tüm yönlerdeki (örn. $r = 8$ veya 16) toplam maliyet değerlerinin birbirine eklenmesi ile hesaplanmaktadır: $(,) = \sum (,)$. Sol görüntüdeki her \mathbf{p} pikseli için paralaks değerleri

nihai toplam maliyet değeri $S(\mathbf{p}, d)$ 'deki minimum değerin aranması neticesinde elde edilir.

2.3.Global Yöntem

Global yöntemler belirli bir enerji fonksiyonunu stereo görüntülerin tamamında minimize etme prensibine göre geliştirilmiştir (Ok, 2016). Bu çalışmada bilgisayar görüşünde çok farklı görüntüler üzerinde bile çalışabilen ve temelinde görüntü hizalama problemi için Liu vd. (2011) tarafından geliştirilmiş olan SIFT-akış yöntemi Pleiades-1 eşleme problemine adapte edilmiştir.

SIFT-akış, iki görüntü arasında yoğun olarak piksel-piksel eşlemeye izin veren optik akış yöntemlerinden esinlenilerek geliştirilen ve temelinde ham piksel değerleri yerine SIFT betimleyicisi üzerinde eşlemeyi gerçekleştiren bir yöntemdir. Bir SIFT betimleyicisi yerel görüntü yapılarını ortaya çıkarmak ve bağlamsal bilgileri kodlamak için her piksel için tanımlanır. Ardından süreksizlik koruyan bir akış tahmini algoritması iki görüntü arasında SIFT tanımlayıcıları eşleştirmek için kullanılır.

SIFT yerel gradyan bilgilerini karakterize eden bir betimleyicidir (Lowe, 2004). Bir görüntüdeki her pikselin komşuluğu (örn. 16×16) 4×4 hücreli diziye bölünür, ve her hücredeki gradyan yönelimi 8 bin'e bölünür ve her piksel için $4 \times 4 \times 8 = 128$ boyutlu bir vektör elde edilir. Bu vektör stereo görüntüler için tüm pikseller için oluşturulur ve stereo görüntülerden SIFT görüntüleri elde edilir.

SIFT-akış için optik-akış ile aynı yöntem kullanılmış fakat eşleme için stereo görüntülerdeki sayısal değerlerin yerine SIFT betimleyicileri kullanılmaktadır. Bu nedenle, SIFT-akışın amaç fonksiyonu optik akış fonksiyonuna çok benzemektedir. $\mathbf{p}=(x,y)$ görüntü piksel koordinatını, $\mathbf{w}(\mathbf{p})=(u(\mathbf{p}),v(\mathbf{p}))$ ise \mathbf{p} pikselindeki akış vektörünü, s_1 ve s_2 ise eşlemek istenilen iki SIFT görüntüsünü ve ε bir pikselin 4-komşuluğunu tanımlar ise SIFT-akışın enerji denklemi Eş. 4'deki gibi yazılabilir:

$$E(\mathbf{w}) = \sum_{\mathbf{p}} \min \left(\|s_1(\mathbf{p}) - s_2(\mathbf{p} + \mathbf{w}(\mathbf{p}))\|_1, t \right) + \sum_{\mathbf{p}} \eta(|u(\mathbf{p})| + |v(\mathbf{p})|) + \sum_{(\mathbf{p},\mathbf{q}) \in \varepsilon} \min(\alpha|u(\mathbf{p}) - u(\mathbf{q})|, d) + \min(\alpha|v(\mathbf{p}) - v(\mathbf{q})|, d) \quad (4)$$

Eş. 4 veri terimi, küçük yer değiştirme terimi ve pürüzsüzlük terimi olmak üzere 3 farklı formülasyonun birleşiminden meydana gelmektedir. Veri terimi akış vektörü boyunca eşleştirilecek SIFT betimleyicileri kısıtlamakta, küçük yer değiştirme terimi başka bir bilgi olmadığında mümkün olduğunca küçük akış vektörleri oluşmasını sağlamakta ve pürüzsüzlük terimi komşu piksellerin akış vektörlerinin benzer olmasını garanti etmektedir. t ve d ise sırasıyla veri terimi ve pürüzsüzlük terimleri için eşik değerlerini tanımlamaktadır.

Yöntemin çözümünde Eş. 4'deki enerji denklemini optimize etmek için bir çift katmanlı döngülü inanç yayılımı algoritması (Liu vd., 2011) kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra yöntemin performansını hem hız hem de eşleme doğruluğu bakımından arttırmak için düşük çözünürlükten yüksek çözünürlüğe doğru giden ve SIFT görüntülerinden oluşturulan görüntü piramitleri kullanılmış ve kabadan detaya doğru eşleme yapabilen bir strateji de uygulanmıştır.

3.REFERANS VERİ VE SAYISAL YÜZEY MODELİ (SYM) ÜRETİLMESİ

Bu çalışmada Pleiades-1 uydu görüntülerinin tercih edilme sebebi, uydunun tri-stereo görüntü çekim kabiliyetine sahip olmasıdır. Bu özelliğin, görüntülerden daha yüksek başarımda sayısal yüzey modeli (SYM) üretilmesine imkan vereceği ve üretilecek nihai harita doğruluğuna katkı sağlayacağı çalışmada öngörülmüştür. Bu kapsamda 100 km^2 büyüklüğündeki Mersin alanına ait Pleiades-1 tristereo uydu görüntüsü çekimi 18/07/2015 tarihinde arazi çalışmaları ile eş zamanlı olarak gerçekleştirilmiştir (Şekil 3a). Pleiades-1 uydusu pankromatik (50cm) ve çok-bantlı (2m) spektral kanallardan oluşmaktadır. Pankromatik kanala ait spektral aralık 480-830nm iken çok-bantlı uydu görüntüleri mavi (430-550nm), yeşil (490-610nm), kırmızı (600-720nm) ve yakın kızıl ötesi (750-950nm) olmak üzere 4 adet spektral bant içermektedir. Pankromatik görüntülere ait gerçek çözünürlük 70 cm olup ürün kullanıcılara 50 cm mekânsal çözünürlüğe yeniden örneklenerek teslim edilmektedir. Mersin test alanına ait Pleiades-1 tristereo görüntü çekim açıları "forward", "nadir" ve "backward" görüntüleri için sırasıyla -17.90° , 1.27° ve 15.96° dir.



(a)

(b)

Şekil 3. (a) Pleiades-1 Mersin test alanı tri-stereo görüntü çekimi geometrisi (Google Earth), (b) referans yüzeyi oluşturmak için çalışmada kullanılan insansız hava aracı (İHA).

Bu çalışmada, referans ağaç boylarının etkin ve yoğun nokta bulutu şekilden tespit edilmesi için insansız hava aracı (İHA) kullanılarak Mersin test alanında havadan bindirmeli görüntülerinin çekilmesi sağlanmıştır. İHA görüntülerine ait bindirme oranları %80 boyuna %60 enine ve çözünürlüğü ≈ 4 cm olacak şekilde uçuş planında ayarlanmıştır. Bu iş için kullanılan İHA (Şekil 3b) 1.2 m kanat genişliğine ve 200 W elektrik motoru 11.1 V Lipo cell pil ile çalışabilen, batarya ve kamera dâhil 1.1 kg ağırlığında, 13m/s seyir hızı ve 90 dakika uçabilme kapasitesine sahiptir (URL1). Bu sayede test alanına ait ultra yüksek çözünürlüklü (≈ 4 cm) bindirmeli İHA görüntüleri elde edilmiştir. İHA görüntüleri ile geniş alanların kaplanması ve model oluşturulması çok masraflı ve zaman alıcı olduğu için, ağaçların tespiti işlemi uydu görüntüleri ile yapılmaktadır.

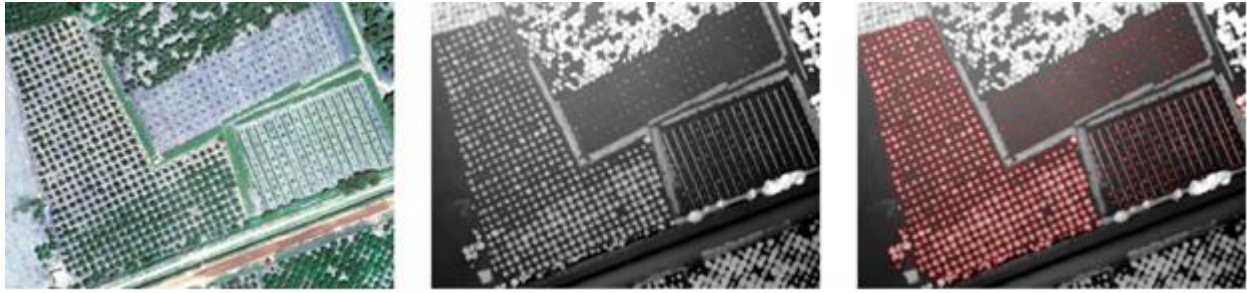
İHA uçuşu yapılan bölgelerde belirlenen noktalar için yer kontrol noktaları (YKN) tesis edilmiştir. Ardından bu noktaların jeodezik koordinatları yatayda 10 mm+1 ppm ve düşeyde 20 mm+1 ppm hassasiyetinde ölçüm yapabilen SL500 (URL2) RTK GNSS cihazı ile belirlenmiştir. Mersin test alanı için toplamda 52 YKN İHA verilerinde kullanılabilmiştir. Bu 52 nokta içinden belirlenen 9 adet Bağımsız Denetim Noktası (BDN) yoluyla veri olarak üretilen Sayısal Yüzey Modeli (SYM) ve ortogörüntülerin doğruluklarının hesaplanması için kullanılmıştır. İHA görüntülerinden Pix4D yazılımı kullanılarak referans veri olarak kullanılacak çok yüksek çözünürlüğe ve hassasiyete sahip nokta bulutu üretilmiştir. Ardından üretilen nokta bulutu verisi kullanılarak yine bu alanlara ait çok yüksek çözünürlüğe ve hassasiyete sahip Sayısal Yüzey Modeli (SYM) ve ortomozayikler elde edilmiştir. Pix4D yazılımı blok dengelemesi sonucunda YKN'ler (43 adet) ve BDN'ler (9 adet) için Ortalama Karesele Hata değerleri Çizelge 1'de sunulmuştur. Sonuçlar incelendiğinde tüm YKN'ler için blok dengelemesinin (< 0.5 piksel) oldukça başarılı olduğu görülmektedir. BDN'lerde ise sonuçların özellikle düşeyde 11 cm'ye (≈ 3 piksel) ulaşabildiği gözlenmiştir. Fakat bu sonucun bile Pleiades verisinin (50 cm) işlenmesi için referans veri anlamında oldukça başarılı ve güvenilir olduğu sonucuna varılmıştır.

Çizelge 1. Pix4D yazılımı blok dengelemesi sonucunda YKN'ler (43 adet) ve BDN'ler (9 adet) için Karesele Ortalama Hata (KOH) değerleri.

Test Alanı	YKN	BDN	YKN Karesele Ortalama Hata (m)			BDN Karesele Ortalama Hata (m)		
			X	Y	Z	X	Y	Z
Mersin 1	16	3	0.004815	0.005318	0.001084	0.060544	0.025990	0.117251
Mersin 2	10	3	0.013014	0.011500	0.000946	0.066620	0.046041	0.112256
Mersin 3	17	3	0.007393	0.005593	0.005223	0.028537	0.014852	0.041385

Ortorektifikasyon işlemi sonrasında çalışma alanlarında bulunan her narenciye ağacının kapladığı alan sayısallaştırılmış ve bu yolla çok yüksek çözünürlüklü detay görüntü kullanılarak 2B referans ağaç verisi üretimi sağlanmıştır. Test alanına ait sayısallaştırma işlemine ilişkin sonuçlar Şekil 4'te verilmektedir. 2B sayısallaştırma sonrasında referans SYM kullanılarak ağaçlara ait yükseklik bilgisi de elde edilmiş ve 3B referans verisi hazır hale

getirilmiştir.



Şekil 4. Test alanına ait (a) ortorektifiye İHA görüntüsü (RGB), (b) İHA görüntülerinden üretilmiş referans SYM ve (c) sayısallaştırılmış vektör veri ile çıkarılmış SYM.

Elde edilen Pleiades-1 tristereo uydu görüntülerinden SYM üretilmesi işleminin arzu edilen hassasiyet seviyesinde yapılabilmesi için uydu görüntülerinden Yer Kontrol Noktası (YKN) toplanması gerekmektedir. 50 cm çözünürlüğüne sahip Pleiades-1 tristereo uydu görüntülerden YKN toplama işi için uydu görüntüsünün çözünürlüğüne bağlı olarak yol kesişimleri ve/veya narenciye bahçe kenarları gibi arazide belirgin bölgeler yeterli olabilmektedir. Bu aşamada İHA verilerinin kapsadığı alanlara ait çok yüksek çözünürlüğe ve hassasiyete sahip referans SYM ve ortomozayikler elde edildiğinden Pleiades-1 tristereo uydu görüntüleri için gerekli YKN'ler İHA verilerinden üretilen bu SYM ve ortomozayikler kullanılarak toplanmıştır. Böylece İHA verileri ile uydu görüntülerinin de entegrasyonu sağlanmıştır.

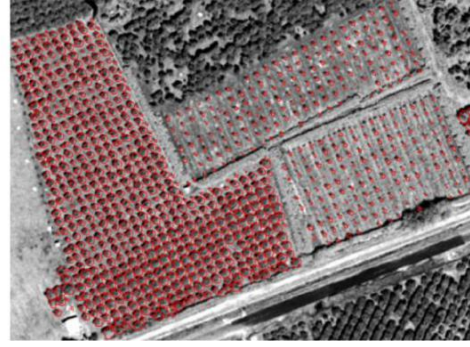
SYM SONUÇLARI

Elde edilen tüm SYM sonuçları farklı narenciye ağaç ve dikim şekillerini içeren küçük bir test alanı kullanılarak karşılaştırılmıştır (Şekil 5). Burada vurgulanması gereken bir husus, SIFT-akış yöntemine ait sonuç sadece x yönündeki paralaks olarak bulunduğu Şekil 5n'de görsel olarak sunulmuş ve değerlendirmelere bu çalışmada dahil edilmemiştir. Değerlendirmeye katılan tüm yöntemlerin performansı, referans ağaç yükseklikleri ve hesaplanan yükseklik modellerinin karşılaştırılarak yükseklikler arasındaki farkların analiz edilmesi suretiyle hesaplanmıştır (Çizelge 2). Elde edilen sonuçlardan da anlaşılacağı üzere literatürde bilinen yöntemlerden hiçbiri stereo ve/veya tri-stereo olsun Pleiades-1 görüntüleri için kabul edilebilir seviyede sonuçlar üretememiştir. Analizler sonucunda beklendiği üzere en kötü sonuç korelasyon tabanlı stereo yöntem (Şekil 5g) için elde edilmiştir. Yarı global stereo yöntem görece daha iyi sonuç sağlamasına rağmen bireysel ağaç tespiti için tatmin edici başarımda sonuç üretememiştir (Şekil 5c ve e). Tri-stereo görüntü kullanıldığında ise en küçük kareler yöntemi oldukça gürültülü bir sonuç üretmiştir (Şekil 5j). Yine tri-stereo olarak yarı-global yöntem görece başarılı sonucu üretse de sonuçlar stereo sonucuna göre çok az değişmiş olup bu çalışmanın temel hedefi olan bireysel ağaç tespiti için arzu edilen başarımda sonuç elde edilememiştir. Çizelge 2'de verilen sayısal sonuçlarda bu yorumları desteklemektedir.

Bu sonuçların 3 farklı nedenden kaynaklandığı düşünülmektedir: (i) Pleiades-1 görüntüleri orijinal olarak 70 cm çekilmekte ve 50 cm olarak satılmaktadır. Bu da elde edilen SYM'lerin kalitesini özellikle narenciye ağaçları gibi görece küçük boyutlu nesnelere bazında düşürmektedir. (ii) Pleiades-1 tristereo çekim açıları (-17.90°, 1.27° ve 15.96°) narenciye ağaçları gibi görece kısa nesnelere yüksekliklerinin elde edilmesi için yeterli düzeyde paralaks üretememesidir. Bunu sağlayabilecek stereo çekim açıları diğer uydularda olduğu gibi en az $\pm 30^\circ$ civarında olması gerekmektedir. (iii) Narenciye ağaçlarının dikim özellikleri ve görüntüdeki görünüşleri bakımından bir veya birden fazla parsel içerisinde birbirine çok fazla benzeyen yapılar oluşturması nedeniyle stereo görüntü eşleminin en zor konusu olan "tekrarlayan örüntü" problemini kullanılan tüm yöntemlere fazlasıyla yaşattırmasıdır. Bu da doğal olarak görüntülerdeki eşleme oranlarını düşürmekte ve dolayısıyla üretilen SYM'lerin kalitesini etkilemektedir.



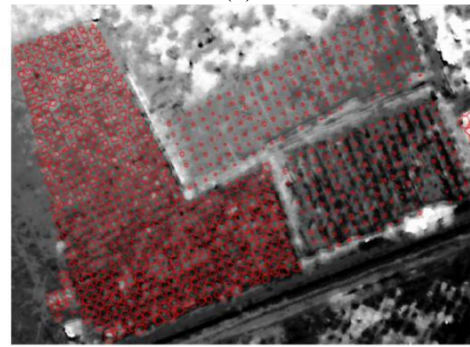
(a)



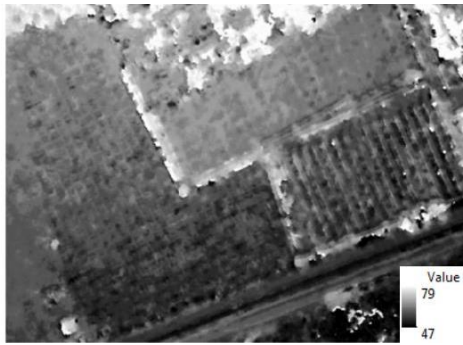
(b)



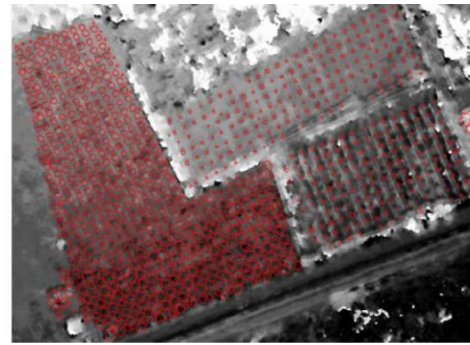
(c)



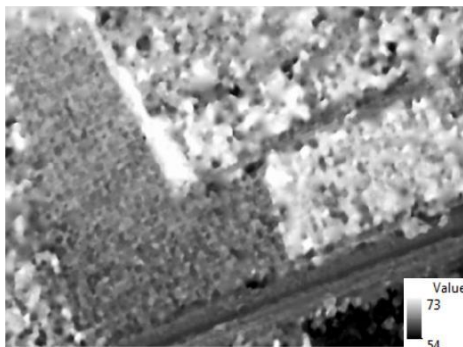
(d)



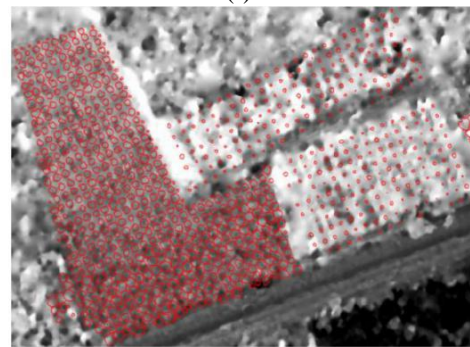
(e)



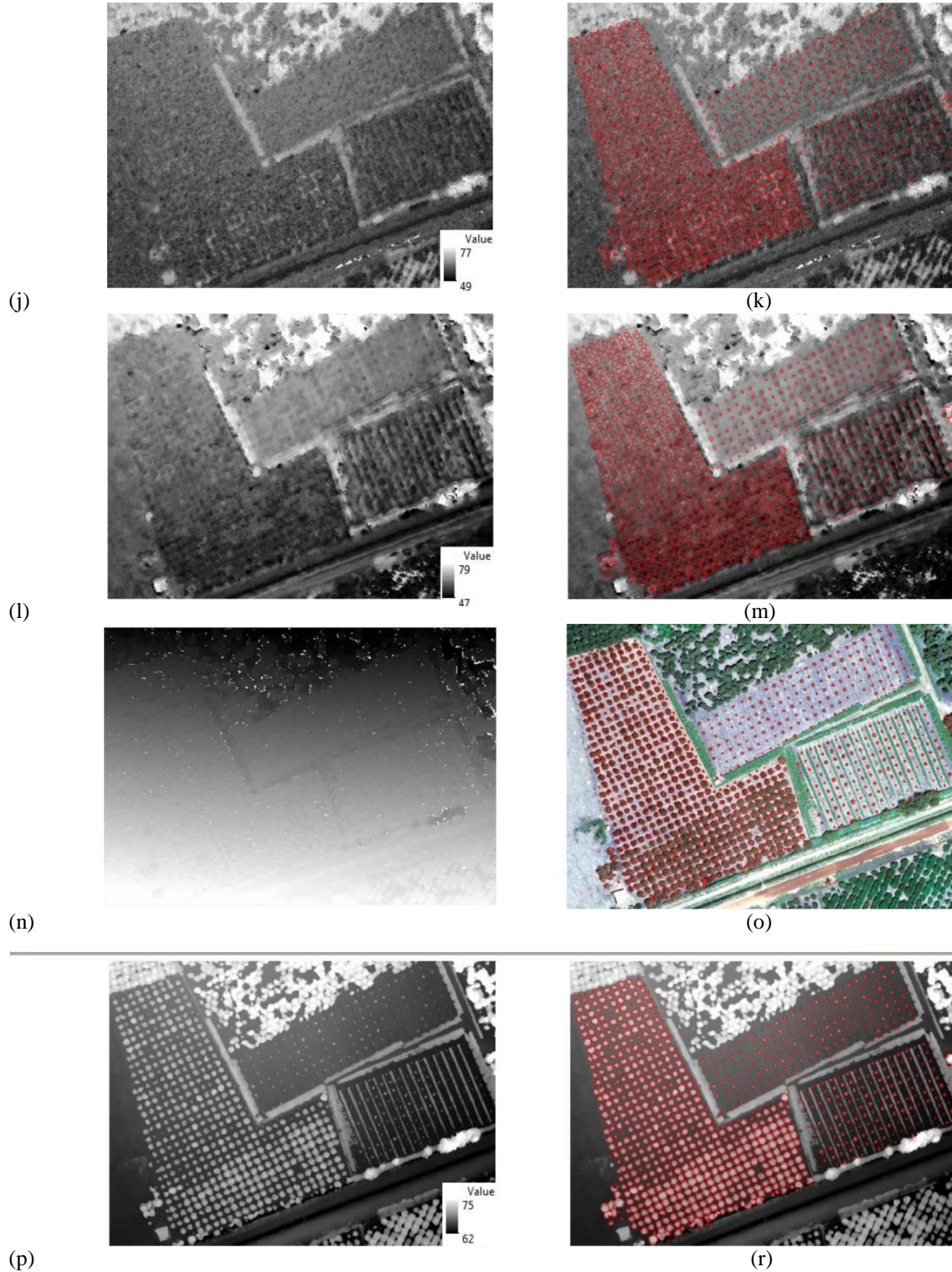
(f)



(g)



(i)



Şekil 5. (a) Ortorektifiye edilmiş ve (b) vektör veri ile çakıştırılmış pankromatik Pleiades-1 görüntüsü. (c) Yarı-Global stereo (Forward&Nadir) SYM ve (d) vektör veri ile çakıştırılmış SYM. (e) Yarı-Global stereo (Forward&Backward) SYM (ERDAS Imagine) ve (f) vektör veri ile çakıştırılmış SYM. (g) Korelasyon tabanlı (PCI Geomatica) stereo (Forward&Nadir) SYM ve (i) vektör veri ile çakıştırılmış SYM. (j) En küçük kareler yöntemi (ENVI) tristereo (Forward&Nadir&Backward) SYM ve (k) vektör veri ile çakıştırılmış SYM. (l) Yarı-Global tristereo (Forward&Nadir&Backward) SYM ve (m) vektör veri ile çakıştırılmış SYM. (n) SIFT-akış yöntemine ait hesaplanan paralaks sonucu. (o) Ortorektifiye edilmiş İHA görüntüsü (RGB) vektör veri ile çakıştırılmış görüntü. (p) İHA görüntülerinden üretilmiş SYM ve (r) vektör veri ile çakıştırılmış SYM.

Çizelge 2. Şekil 5’te verilen referans parseller için hesaplanan ortalama ve mutlak hata değerleri.

SYM	KOH _Z (m)	Ortalama Hata (m)	Ortalama Mutlak Hata (m)	En Yüksek Mutlak Hata (m)
Yarı-Global Stereo (Forward&Nadir)	2.41	-2.14	2.17	11.04
Yarı-Global stereo (Forward&Backward)	1.89	-1.53	1.64	8.43
Korelasyon tabanlı stereo (Forward&Nadir)	2.45	-1.88	2.18	8.58
En Küçük Kareler Yöntemi Tristere (Forward&Nadir&Backward)	3.46	-3.17	3.18	18.15
Yarı-Global Tristere (Forward&Nadir&Backward)	2.36	-2.07	2.10	10.45

5.SONUÇLAR

Bu çalışmada yüksek mekânsal çözünürlüklü (50cm/piksel) Pleiades-1 tri-stereo uydu görüntülerinden Mersin bölgesinde yetiştirilen narenciye ağaçlarının otomatik tespiti ve çıkarılabilmesi için literatürde yer alan görüntü eşleme yöntemleri test edilmiş ve bu doğrultuda görüntü eşleme kavramı üzerinde yoğunlaşarak en uygun yöntem belirlenmeye çalışılmıştır. Karşılaştırmalar sonucunda elde edilen sonuçlara göre literatürde kullanılan yöntemler arasında en iyi sonucu Yarı-Global yöntemin ürettiği görülmüştür. Fakat sonuçlar, kullanılan yöntemlerin Pleiades-1 görüntülerinin orijinal yer örnekleme aralığının 70 cm olması, stereo çekim açılarının darlığı ve ağaçların dikim özelliklerinden kaynaklanan ve görüntü eşlemenin en önemli problemi olan tekrarlayan nesnelere sorunu nedeniyle narenciye ağacı tespitinde istenilen sonuçlara ulaşamadığını göstermektedir. Yine elde edilen sonuçlar hiçbir yöntemin narenciye ağaç yüksekliklerini arzu edilen hassasiyette elde edemediğini göstermiştir. Ayrıca yapılan çalışmayla tri-stereo görüntü kullanımının narenciye ağaçlarının yükseklik değerlerinde stereo eşlemeye nazaran gözle görülür bir iyileştirme getirmediği fakat eşlenemeyen alanları azaltarak SYM kalitesini görece arttırdığı ortaya koyulmaktadır.

TEŞEKKÜR

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

KAYNAKLAR

- Hirschmüller, H.**, 2008, Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 30(2), 328-341.
- Hirschmüller, H., Scharstein, D.**, 2009, Evaluation of Stereo Matching Costs on Images with Radiometric Differences, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 31(9), 1582-1599.
- Leberl, F., Maurice, K., Thomas, J. K., Millot, M.**, 1994, Automated Radar Image Matching Experiment, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 49, 19-33.
- Liu, C., Yuen, J., Torralba, A.**, 2011, SIFT Flow: Dense Correspondence across Scenes and Its Applications, *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 33(5), 978-994.
- Lowe, D.G.**, 2004, Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints, *International Journal of Computer Vision*, 60(2), 91-110.
- Morgan, M.**, 2004, Epipolar resampling of linear array scanner scenes, *Doktora Tezi*, University of Calgary, Alberta, Canada.
- Ok, A.Ö.**, 2016, Göktürk-2 Stereoskopik Görüntülerinin Otomatik Eşlenmesi, *IEEE 24. Sinyal İşleme ve İletişim*

Uygulamaları Kurultayı, 16-19 Mayıs, Zonguldak, 4 syf, CDROM.

Okamoto, A., Ono, T., Akamatsu, S., 1999, Geometric Characteristics of Alternative Triangulation Models for Satellite Imagery, *Proceedings of the ASPRS 1999 Annual Conference*, 17-21 May, Portland, Oregon, USA.

Ono, T., Honmachi, Y., Ku, S., 1999, Epipolar Resampling of High Resolution Satellite Imagery, *Joint Workshop of ISPRS WG I/1, I/3 and IV/4 Sensors and Mapping from Space*.

Poli, D., Wolff, K., Gruen, A., 2009, 3D Geodata recovery from high resolution satellite imagery, *33rd International Symposium on Remote Sensing of Environment, Sustaining the Millennium Development Goals - Vol. I, II.*, Ispra, Italy, syf: 1081-1085.

Toutin, T., 2002, Three Dimensional Topographic Mapping with ASTER Stereo Data in Rugged Topography, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 40(10), 2241-2247.

Wolf, P. R., Dewitt, B. A., 2000, *Elements of Photogrammetry with Applications in GIS, 3rd Edition*.