

# PLÉIADES 1A PANKROMATİK ÜÇLÜ BİNDİRMELİ ŞERİT GÖRÜNTÜLERİNİN 3B KONUM DOĞRULUĞUNUN ALGILAYICIYA BAĞIMLI YÖNELTME YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

Hüseyin TOPAN<sup>1</sup>, Ali CAM<sup>1,2</sup>, Bahattin ERDOĞAN<sup>3</sup>, Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Prof. Dr., Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, topan@beun.edu.tr

<sup>2</sup>Yük. Müh., Aliğa Belediyesi, 06530, Aliğa, İzmir, alicam193@gmail.com

<sup>3</sup>Prof. Dr., Yıldız Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Davutpaşa Yerleşkesi, 34220, Esenler, İstanbul, berdogan@yildiz.edu.tr

<sup>4</sup>Dr. Öğr. Üyesi, Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, ksgormus@beun.edu.tr

## ÖZET

*Bu bildiri, Pléiades 1A uydusuna ait pankromatik üçlü bindirmeli şerit görüntüleri, yine aynı uydunun algılayıcıya bağımlı yönelme yöntemi kullanılarak 3B konum doğruluğu açısından incelenmiştir. Yöntemin gereksinim duyduğu zaman ve iç/dış yönelme öğeleri kılavuz veri dosyasından alınmış, arazi çalışması ile toplanan 60 nokta ile farklı yer kontrol/denetim noktası setleri oluşturulmuştur. Dengeleme hesabı bilinmeyenli koşullu ölçüler dengelemesi ile gerçekleştirilmiştir; demet dengeleme hesabı öncesinde bakış açılarında ön dengeleme uygulanmış; farklı dış yönelme setlerinin sonuçlara olan etkisi ve aralarındaki olası doğrusal ilişkiler de irdelenmiştir. Sonuç olarak, yer kontrol noktalarındaki konum doğruluğunun  $\pm 1$  mm seviyesinde, bağımsız denetim noktalarında ise  $\pm 1-2$  piksel (50-100 cm) düzeyinde elde edilmiştir. Tüm hesaplamalar, GeoEtrim'in bir parçası olan Geo3o1'de MATLAB ortamında gerçekleştirilmiştir.*

**Anahtar Sözcükler:** Pléiades 1A, üçlü bindirme, algılayıcıya bağımlı yönelme, konum doğruluğu, Zonguldak test alanı.

## ABSTRACT

### 3D GEOREFERENCING ACCURACY ASSESSMENT OF PLÉIADES 1A PANCHROMATIC TRI-STEREO STRIP CASE IMAGES USING SENSOR DEPENDENT ORIENTATION MODEL

*This paper subjected the 3D georeferencing accuracy assessment of Pléiades 1A tri-stereo strip case panchromatic images using its private sensor depending orientation model. The time and interior/exterior orientation parameters required by the model were imported from the metadata file. Various GCP/ICP sets were established by 60 points surveyed by the field campaign. Adjustment by conditions was preferred in two steps, pre-adjustment for look angles, and bundle adjustment for simultaneous stereo/tri-stereo image evaluation. It's also available to analyses the efficiency of various exterior orientation parameter sets on the georeferencing accuracy, and the correlation among them. Although the accuracy was estimated as  $\pm 1$  mm at GCPs, they were  $\pm 1-2$  pixel (50-100 cm) at ICPs. The analyses was handled with a MATLAB tool, Geo3o1, as a part of GeoEtrim.*

**Keywords:** Pléiades 1A, tri-stereo, sensor dependent orientation, georeferencing accuracy, Zonguldak test site.

## 1. GİRİŞ

Pléiades 1A ve 1B, Avrupa'nın ilk metre altı geometrik çözünürlüğe (50 cm pankromatik, 2 m görünür ve yakın kızıl ötesi) sahip ikiz uydulardır ve sırasıyla 17 Aralık 2011 ve 2 Aralık 2012 tarihlerinde yörüngeye oturtulmuşlardır. Fransa ve İtalya arasındaki ORFEO (Optical and Radar Federated Earth Observation) programı kapsamında geliştirilen bu uyduları sırasıyla 9 Eylül 2012 ve 30 Haziran 2014 tarihinde yörüngeye yerleştirilen SPOT (Satellite Pour l'Observation de la Terre) 6 ve 7 uyduları izlemiş, böylece bir uydu takımı oluşturulmuştur. Bu takımı, 29 Nisan 2021 yılında yörüngeye yerleştirilen ilk uydusu ile Pléiades Neo uyduları takip etmiştir.

Airbus Savunma ve Uzay (o zamanki adıyla Astrium Geo Services) şirketi tarafından 22. ISPRS Kongresinde (Melbourne, Avustralya) duyurulan Pléiades Kullanıcılar Grubu (sonradan MyGIC) Programı ile Pléiades görüntülerinin değerlendirilmesi çağrısına yapılan başvuru üzerine Pléiades 1A görüntüleri Topan vd. (2013), Jacobsen vd. (2014), Cam vd. (2014), Özendi vd. (2014), Topan (2014), Topan vd. (2014), Jacobsen ve Topan (2015), Bakioglu vd. (2016), Topan vd. (2016b), Jacobsen vd. (2016), Topan vd. (2016a), Özendi vd. (2016), Topan vd. (2019) ve Terlemezoğlu ve Topan (2020) tarafından geometrik ve radyometrik açıdan değerlendirilmiştir. Uyduya has algılayıcıya bağımlı yönelme yöntemi ile 3B konum doğruluğunun belirlenmesi ise ilk kez Topan (2022) tarafından gerçekleştirilmiştir. Bu bildiri ise, Pléiades 1A'ya ait şerit görüntüleri yine algılayıcıya bağımlı yönelme yöntemi ile 3B konum doğruluğu açısından değerlendirilmiştir.

Pléiades 1A ve 1B uyduları pankromatik bantta algılama anında 70 cm ve yeniden örnekleme ile 50 cm, görünür ve yakın kızılötesi bantta ise sırasıyla 2.80 m ve 2.00 m geometrik çözünürlüğe sahiptir. Görüntüler 12 bit radyometrik çözünürlükle algılanırlar ve gürültü giderme ve ters evrişim (katlama) yöntemleri sonrasında 16 bit olarak kullanıcıya

sunulurlar. Airbus Defence and Space (2012) tarafından Pléiades 1A ve 1B uydularının doğrudan konumlama doğruluklarının yatayda  $\pm 8.5$  m'den daha yüksek düzeyde olması hedeflenmiştir ki Zonguldak test alanında Topan (2022) ve bu bildiri de elde edilen bulgular bunu destekler niteliktedir. Yeni nesil uydularda olduğu gibi Pléiades uyduları da üçlü bindirme ile görüntü alımı yeteneğine sahiptir ve baz/yükseklik (B/H) oranı 0.15-0.80 aralığındadır. Yeryüzünün eğikliğinin etkisini gidermek için kavisli bir bütün oluşturacak şekilde  $5 \times 6000$  benekten oluşan 20 adımlı TDI (Time Delay and Integration) algılayıcılarla pankromatik görüntüleme yapılmaktadır. Görünür ve yakın kızılötesi bant ise  $5 \times 1500$  CCD algılayıcıdan oluşmaktadır.

Pléiades uyduları üzerinde farklı alanlarda araştırmalar yapılmıştır. Uydunun devreye alınması sonrasında geometrik kalitesi hakkında Bernard vd. (2012), deLussy vd. (2012), Delvit vd. (2012), Greslou vd. (2012), Michel vd. (2013), de Franchis vd. (2014), Perko vd. (2014), Postelniak (2014), Poli vd. (2013), Abduelmola (2016), Gim ve Shin (2016), Henrico vd. (2016), Dukuzemariya (2017), Kartal vd. (2018), Perko vd. (2018), Perko vd. (2019a), ve Perko vd. (2019b) tarafından; yükseklik doğruluğu hakkında Durand vd. (2013), Berthier vd. (2014), Giraud vd. (2014), Stumpf vd. (2014), Eisank vd. (2015), Jacobsen (2015), Nasir vd. (2015), Noh ve Howat (2019), Qayyum vd. (2015), Ghuffar (2016), Ok vd. (2016), Sadeq vd. (2016), Sofia vd. (2016), Mertens vd. (2017), Peng vd. (2017), Ok vd. (2018), Piermattei vd. (2018) ve Loghin vd. (2020) araştırmalar yürütmüşlerdir. Tüm bu konuma bağlı doğruluk araştırmalarında RFM (Rational Functional Model) kullanılmış; algılayıcıya bağımlı yöneltme yöntemi ise ilk kez Topan (2022) tarafından konu edilmiştir. Bu araştırmada ise, Topan (2022)'den farklı olarak şerit görüntülerin konum doğruluğu araştırılmaktadır.

## 2. ALGILAYICIYA BAĞIMLI YÖNELTME VE DENGELEME HESABI

Bu çalışmada kullanılan algılayıcıya bağımlı yöneltme yöntemi, SPOT 1-5 görüntüleri için geliştirilen yöntemin sadeleştirilmiş halidir (Airbus Defence and Space, 2012; Riazanoff, 2004). Aynı yöntem, SPOT 6 ve 7, Pléiades Neo ve Göktürk 1 görüntüleri için de geçerlidir (Airbus Defence and Space, 2013, 2022; Aytekin ve Topan, 2022a, b). Bu yöntemde nesne koordinatları

$$\vec{P} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \vec{P}_U - s \underline{R} \begin{bmatrix} -\tan \psi_y \\ \tan \psi_x \\ -1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ile hesaplanır. Burada  $\vec{P} = [X \ Y \ Z]^T$  nesne uzayındaki konum vektörünü,  $\vec{P}_U = [X_U \ Y_U \ Z_U]^T$  uyduya ait konum vektörünü,  $s$  ölçeği,  $\underline{R}$  döndürmeler (kuaterniyonlar) aracılığı ile hesaplanan dönme matrisini,  $\psi_x, \psi_y$  ise bakış açılarını göstermektedir. (1) bağıntısındaki  $\underline{R}$  dönme matrisi

$$\underline{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (Q_0^n)^2 + (Q_1^n)^2 - (Q_2^n)^2 - (Q_3^n)^2 & 2(Q_1^n Q_2^n - Q_0^n Q_3^n) & 2(Q_1^n Q_3^n + Q_0^n Q_2^n) \\ 2(Q_1^n Q_2^n + Q_0^n Q_3^n) & (Q_0^n)^2 - (Q_1^n)^2 + (Q_2^n)^2 - (Q_3^n)^2 & 2(Q_2^n Q_3^n - Q_0^n Q_1^n) \\ 2(Q_1^n Q_3^n - Q_0^n Q_2^n) & 2(Q_2^n Q_3^n - Q_0^n Q_1^n) & (Q_0^n)^2 - (Q_1^n)^2 - (Q_2^n)^2 + (Q_3^n)^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

şeklinde açık biçimde yazılabilir. Burada

$$Q_j^n = \frac{Q_j}{\sqrt{Q^T Q}}, \quad j = 0, 1, 2, 3 \quad \underline{Q} = [Q_0 \ Q_1 \ Q_2 \ Q_3]^T, \quad (3)$$

$$Q_j = \sum_{i=0}^3 (Q_j)_i t_{MN}^i \quad (4)$$

dir. Görüntü merkezi için normalleştirilmiş zaman değeri

$$t_{MN} = \frac{t - t_{öteleme}}{t_{ölçek}} \quad (5)$$

$$t = t_{referans} + t_{aralık}(x - x_{referans}) \quad (6)$$

ile hesaplanır. Bakış açılarının oluşturduğu vektör ise

$$\vec{P}_{VS} = [\tan(\psi_y) \quad -\tan(\psi_x) \quad 1]^T \quad (7)$$

H. Topan vd: Pléiades 1A Pankromatik Üçlü Bindirmeli Şerit Görüntülerinin Konum Doğruluğunun Belirlenmesi

$$\tan \psi_y = \sum_{i=0}^n (\psi_y)_i (y - y_{referans}) \quad (8)$$

$$\tan \psi_x = \sum_{i=0}^n (\psi_x)_i (y - y_{referans}) \quad (9)$$

şeklinde hesaplanır. Burada  $x$  ve  $y$  sırasıyla görüntünün satır ve sütun koordinatlarıdır. Görüntü koordinatlarından nesne koordinatlarının hesaplanmasını sağlayan (1) bağıntısı dengeleme hesabında işlevsel (fonksiyonel) model oluşturmak için nesne koordinatlarından görüntü koordinatlarının hesabı şeklinde yazılacak olursa

$$\vec{P}_{VS} = \frac{1}{m} \underline{R}^{-1} (\vec{P}_U - \vec{P}) = \frac{1}{m} \underline{R}^T (\vec{P}_U - \vec{P}) \quad (10)$$

$$F_{\psi_y} = \frac{R_{11}^T (X_U - X) + R_{12}^T (Y_U - Y) + R_{13}^T (Z_U - Z)}{R_{31}^T (X_U - X) + R_{32}^T (Y_U - Y) + R_{33}^T (Z_U - Z)} - \tan(\psi_y) = 0 \quad (11)$$

$$F_{\psi_x} = \frac{R_{21}^T (X_U - X) + R_{22}^T (Y_U - Y) + R_{23}^T (Z_U - Z)}{R_{31}^T (X_U - X) + R_{32}^T (Y_U - Y) + R_{33}^T (Z_U - Z)} + \tan(\psi_x) = 0 \quad (12)$$

şeklinde oluşacaktır. Burada ortogonal özelliğinden dolayı  $\underline{R}^{-1} = \underline{R}^T$ 'dir. Bağıntıda kullanılan uduya ait konum verisi ve kayıt zamanları,  $(Q_j)_i$ ,  $t_{öteleme}$ ,  $t_{referans}$ ,  $t_{aralık}$ ,  $t_{ölçek}$ ,  $x_{referans}$ ,  $y_{referans}$ ,  $\tan(\psi_y)_i$ ,  $\tan(\psi_x)_i$  değerleri kılavuz veri dosyasından doğrudan alınabilmektedir.

Dengeleme hesabı ise bilinmeyenli koşullu ölçüler dengelemesi ile gerçekleştirilmiştir (Topan ve Maktav, 2014). Bunun nedeni, ölçü olarak kabul edilen bakış açılarına  $(\psi_x, \psi_y)$  ait Jakobiyen (tasarı veya katsayılar) matrisinin birim matris olmamasıdır. Bu yaklaşım Kornus vd. (2006), Weser vd. (2008) ve Topan ve Maktav (2014) tarafından doğrusal dizin uydü görüntülerine uyarlanmıştır. Dengeleme hesabında kullanılan işlevsel model

$$\underline{A} \underline{dP} + \underline{B} \underline{v} + \underline{w} = \underline{0} \quad (13)$$

Burada  $\underline{A}$  dış yönelme ögeleri ile bağımsız denetim noktalarının yaklaşık nesne koordinatlarına ait Jakobiyen matrisi,  $\underline{B}$  ölçülere ait Jakobiyen matrisi,  $\underline{w}$  ise kapanma artıklarını temsil etmektedir. Dengeleme bilinmeyenleri ( $\underline{dP}$ )

$$\underline{dP} = \left( \underline{A}^T (\underline{B} \underline{B}^T)^{-1} \underline{A} \right)^{-1} \underline{A}^T (\underline{B} \underline{B}^T)^{-1} \underline{w} \quad (14)$$

ve ölçü düzeltmeleri

$$\underline{v} = \underline{B}^T (\underline{B} \underline{B}^T)^{-1} (\underline{A} \underline{dP} + \underline{w}) \quad (15)$$

şeklinde hesaplanır. Dengeli ölçülerin ( $\bar{L} = L + v$ ) ve dengeli ögelerin ( $\bar{P} = P|_0 + dP$ ) hesaplanması sonrasında  $F(\bar{L}, \bar{P}) \stackrel{!}{=} 0$  denetimi yapılmalıdır. Burada

$$\underline{P} = \begin{bmatrix} t_{referans} & t_{aralık} & t_{öteleme} & t_{ölçek} & X_{U_0} & \dot{X}_U & \ddot{X}_U & Y_{U_0} & \dot{Y}_U & \ddot{Y}_U & Z_{U_0} & \dot{Z}_U & \ddot{Z}_U & \dots \\ Q_{0_0} & \dot{Q}_0 & \ddot{Q}_0 & Q_{1_0} & \dot{Q}_1 & \ddot{Q}_1 & Q_{2_0} & \dot{Q}_2 & \ddot{Q}_2 & Q_{3_0} & \dot{Q}_3 & \ddot{Q}_3 & X_{BDN} & Y_{BDN} & Z_{BDN} \end{bmatrix}^T \quad (16)$$

olarak kabul edilmiştir. Bunlardan biri veya birkaçı seçilerek dengeleme hesabı yapılabilir ve sonuç doğruluklar üzerindeki etkisi araştırılabilir. Doğrusal dizin görüntüleme sistemleri her bir satır için farklı DYÖ (Dış Yönelme Ögesi) değerlerine sahip olduklarından, genellikle satıra veya zamana bağlı polinom yöntemiyle modellenerek sayıları önemli ölçüde azaltılır. Örneğin  $X_U = X_{U_0} + \dot{X}_U (x - x_{referans}) + \ddot{X}_U (x - x_{referans})^2$  şeklinde modellenmiştir (Topan ve Maktav, 2014).

Dengeleme hesabı ön ve demet dengeleme şeklinde iki adımlı olarak gerçekleştirilmiştir. Ön dengelemeye gereksinim duyulmasının nedeni, Kornus vd. (2006) tarafından önerildiği şekliyle, DYÖ'ler sabit kabul edilerek temel hata kaynağı olan bakış açılarına demet dengeleme öncesinde düzeltme getirilmesidir. Her ne kadar Kornus vd. (2006) bunun iç ve dış yönelme ögeleri arasındaki olası doğrusal bağımlılıktan kaynaklandığını belirtse de böyle bir durum Topan ve Maktav (2014) ve Topan (2022) tarafından tespit edilmemiştir. Ön dengeleme  $\underline{dP} = 0 \rightarrow \underline{A} \underline{dP} = \underline{0}$  kabul edilerek işlevsel model  $\underline{B} \underline{v} + \underline{w} = \underline{0}$  halini alır. YKN (Yer Kontrol Noktaları) kullanılarak düzeltilen bakış açılarından BDN'lere (Bağımsız Denetim Noktası) ait açıların kestirilmesi gerekir. Bu kestirim

H. Topan vd: Pléiades 1A Pankromatik Üçlü Bindirmeli Şerit Görüntülerinin Konum Doğruluğunun Belirlenmesi

$$A_{\psi_i} = [1 (x - x_{referans})_i (y - y_{referans})_i], \psi \in (\psi_x, \psi_y) \quad (17)$$

$$b_{\psi_i} = [\psi_i] \quad (18)$$

$$\underline{c}_{\psi} = (\underline{A}_{\psi}^T \underline{A}_{\psi})^{-1} \underline{A}_{\psi}^T \underline{b}_{\psi} \quad (19)$$

$$\psi_{BDN} = \underline{c}_{\psi}^T [1 (x - x_{referans})_{BDN} (y - y_{referans})_{BDN}]^T \quad (20)$$

şekindedir. Demet dengeleme hesabı ise (13) eşitliğinin görüntü sayısına göre genişletilmiş halidir. Burada temel sorun,  $P$  seçimine bağlı olarak değişen  $\underline{A}$  matrisinin kötü şartlı hale gelebilecek olması ve haliyle matris tersini almada yaşanacak tekil matris sorunudur. Bu sorun Moore-Penrose (pseudo) ters alma yöntemiyle veya özdeğerlerden birinin Tikhonov katsayısı olarak kabul edildiği yaklaşımla çözülebilir (Terlemezoğlu ve Topan, 2020). Demet dengeleme sonrasında YKN'lerin koordinatları düzeltilmiş DYÖ'lerden yeniden hesaplanarak, BDN'lerinki ise örneğin  $\bar{X}_{BDN} = X|_0 + dP_X$  şeklinde hesaplanmaktadır. Böylece konum doğrulukları

$$m_x = \pm \sqrt{\frac{[\Delta X \Delta X]}{p}}, \quad m_y = \pm \sqrt{\frac{[\Delta Y \Delta Y]}{p}}, \quad m_z = \pm \sqrt{\frac{[\Delta Z \Delta Z]}{p}} \quad (21)$$

şeklinde hesaplanır. Burada  $\Delta X = \bar{X}_{hesaplanan} - X_{arazi}$ ,  $p$  ise YKN/BDN sayısıdır. Haliyle YKN doğrulukları dengeleme hesabında düzeltilen DYÖ'lere bağlıdır.

DYÖ'lerin kendi aralarındaki doğrusal bağımlılığın yanısıra Kornus vd. (2006) tarafından bahsedilen iç ve dış yöneltme ögeleri arasındaki doğrusal bağımlılığın hesaplanması da mümkündür. DYÖ'ler arası doğrusal bağımlılık

$$\underline{Q}_{dP dP} = (\underline{A}^T (\underline{B} \cdot \underline{B}^T)^{-1} \underline{A})^{-1} \quad (22)$$

$$r_{dP_1 dP_2} = \frac{q_{dP_1 dP_2}}{\sqrt{q_{dP_1 dP_1} q_{dP_2 dP_2}}} \quad (23)$$

şeklinde hesaplanır. Burada  $\underline{Q}_{dP dP}$ ,  $q_{dP_1 dP_2}$  ögelerinden oluşan kofaktör matrisini,  $r_{dP_1 dP_2}$  ise  $P_1$  ve  $P_2$  şeklindeki iki DYÖ'ye ait dengeleme bilinmeyenleri arasındaki doğrusal bağımlılığı ifade etmektedir (Öztürk ve Şerbetçi, 1992). İç ve dış yöneltme ögeleri arasındaki doğrusal bağımlılık ise

$$\underline{Q}_{\psi dP} = -\underline{B}^T (\underline{B} \underline{B}^T)^{-1} \underline{A} \underline{A}^T (\underline{B} \underline{B}^T)^{-1} \underline{A} \quad (24)$$

$$r_{\psi dP} = \frac{q_{\psi dP}}{\sqrt{q_{dP dP}}} \quad (25)$$

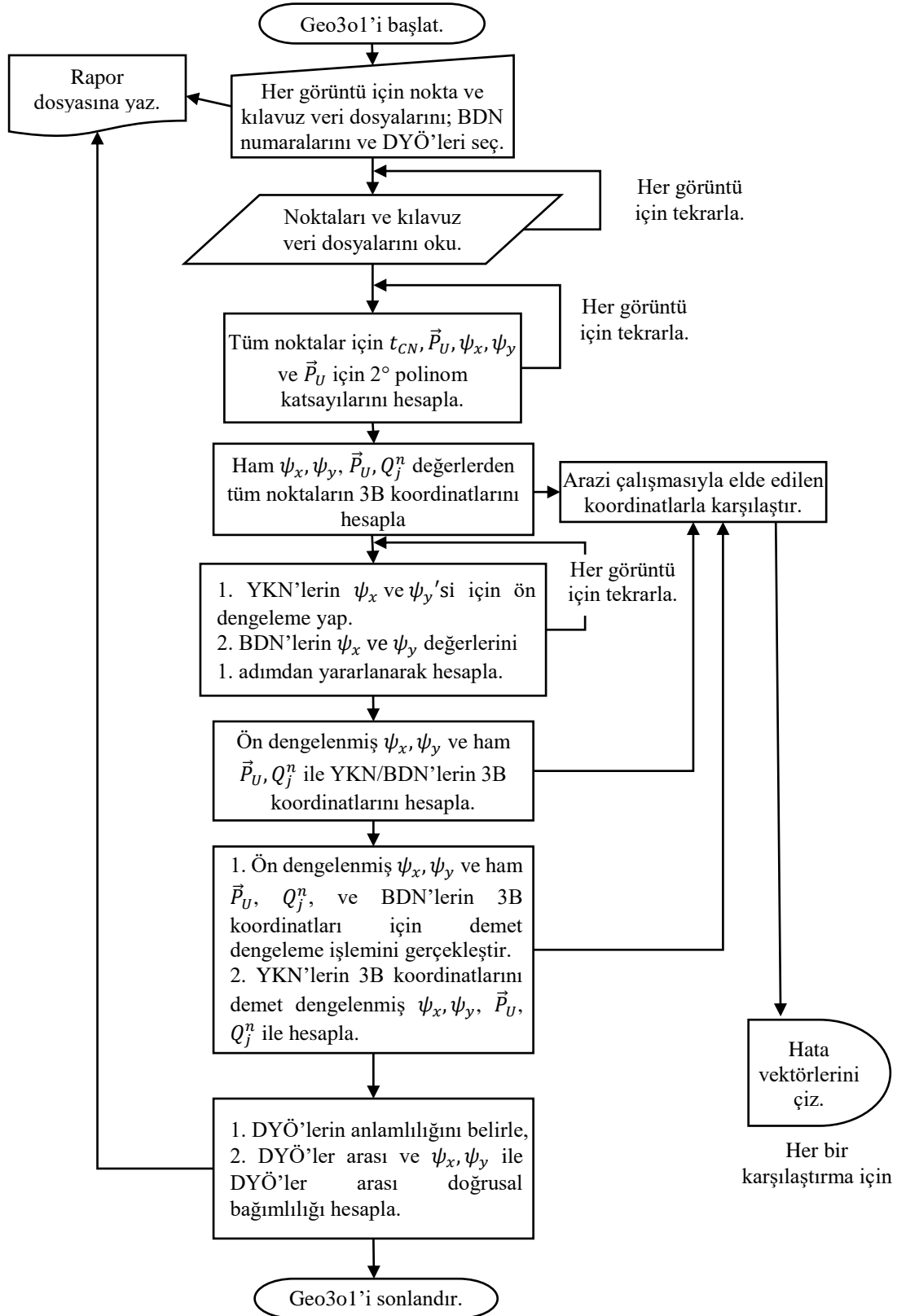
Burada  $\underline{Q}_{\psi dP}$  çapraz kofaktör matrisini ve  $r_{\psi dP}$  ise ölçüler ve dengeleme bilinmeyenleri arasındaki doğrusal bağımlılığı ifade eder. DYÖ'lerinin istatistiksel anlamlılığı ise

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{v v^T}{n - u}} \quad (26)$$

$$T = \frac{|P_j|}{m_{P_1}} \quad (27)$$

şeklinde hesaplanabilir. Burada  $m_0$  ve  $m_{P_1}$  sırasıyla birim ağırlığın ve DYÖ'nün karesel ortalama hatası,  $T$  test büyüklüğü,  $t_{\alpha/2, f}$  ise sınır değer anlamına gelmektedir (Ghilani ve Wolf, 2006). Burada  $\alpha/2 = 0.025$  ve  $f = n - u$  ise serbestlik derecesidir.

Tüm hesaplamalar, Matlab ortamında Geo3o1 adı verilen bir araçla gerçekleştirilmiştir. Şekil 1, Geo3o1'in temel işlem akışını göstermektedir.



Şekil 1. Geo3o1'in temel iş akışı.

## 2. UYGULAMA

### 2.1. Kullanılan Görüntüler ve Veriler

H. Topan vd: Pléiades 1A Pankromatik Üçlü Bindirmeli Şerit Görüntülerinin Konum Doğruluğunun Belirlenmesi

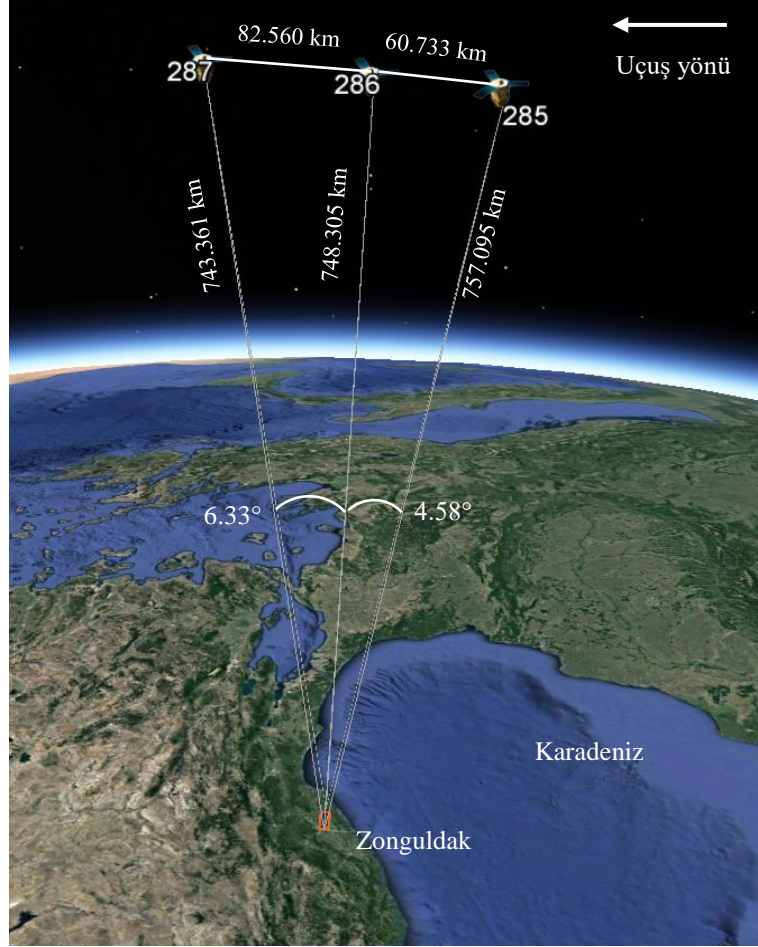
Uygulamada kullanılan görüntüler, Zonguldak merkez ilçesinin güneyini kapsamaktadır ve 31 Mart 2013 tarihinde alınmışlardır (Şekil 2). Görüntü alımına ait geometrik özellikler Çizelge 1 ve 2’de sunulmaktadır.

Çizelge 1. Görüntü merkezi için alım geometrisine ait temel özellikler.

Görüntü numarası	Görüntüleme zamanı	Bakış açısı	Yansımaya açısı	B/H	
285	08:39:57.406	20° 42' 09.95"	23° 03' 02.21"	0.082	0.192
286	08:40:05.806	19° 03' 02.13"	21° 13' 25.79"	0.111	
287	08:40:16.281	18° 01' 50.10"	20° 08' 07.36"		

Yansımaya açısı: Yüzey normali ile görüntüleme bakış doğrultusu arasındaki açı.

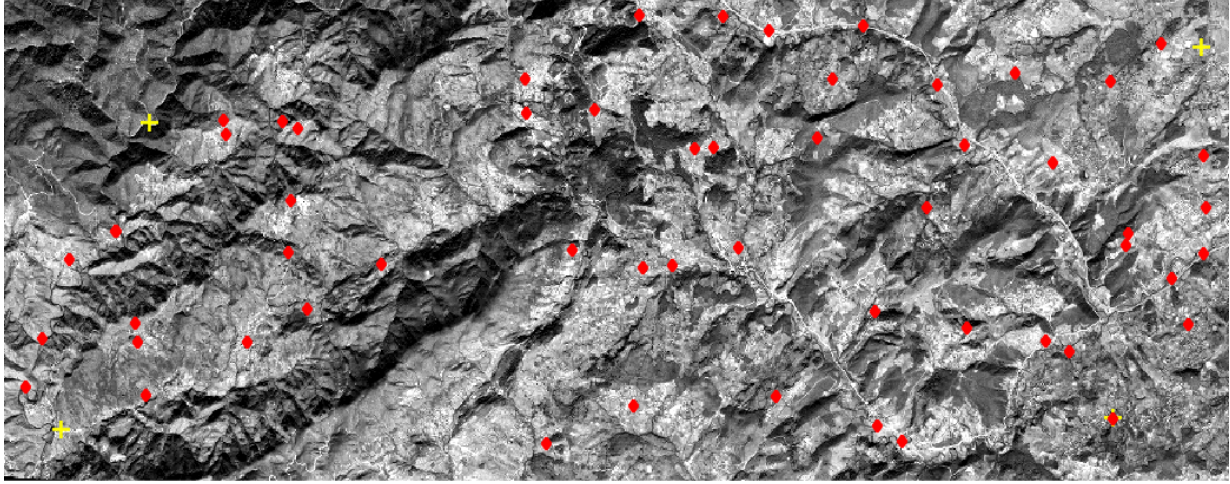
Bakış açısı: Ayakucu doğrultusu ile görüntüleme bakış doğrultusu arasındaki açı.



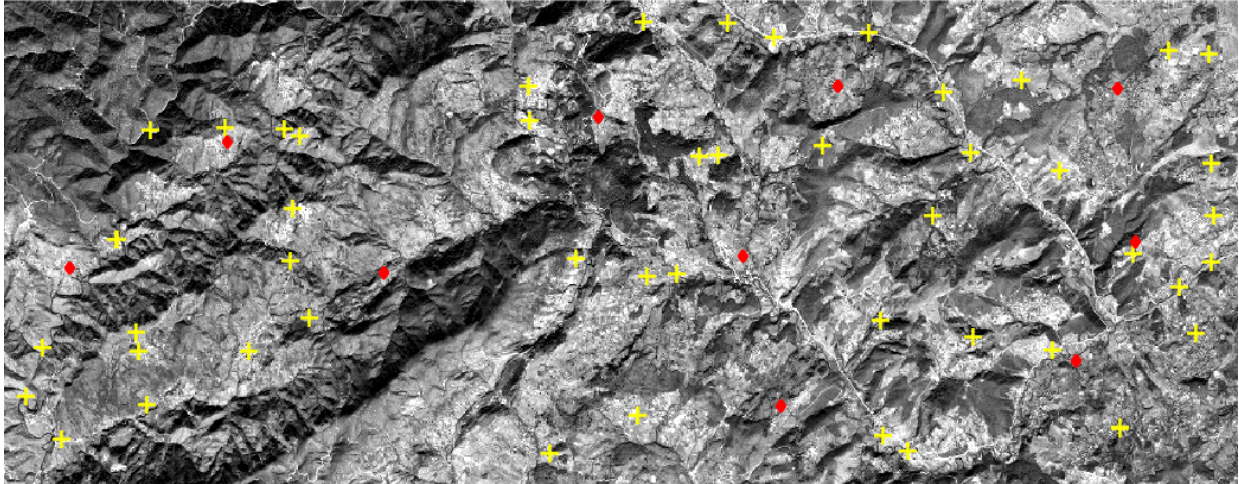
Şekil 2. Uygulamada kullanılan görüntülerin görüntü alım durumu (üstte) ve yerde kapladıkları alan (altta).



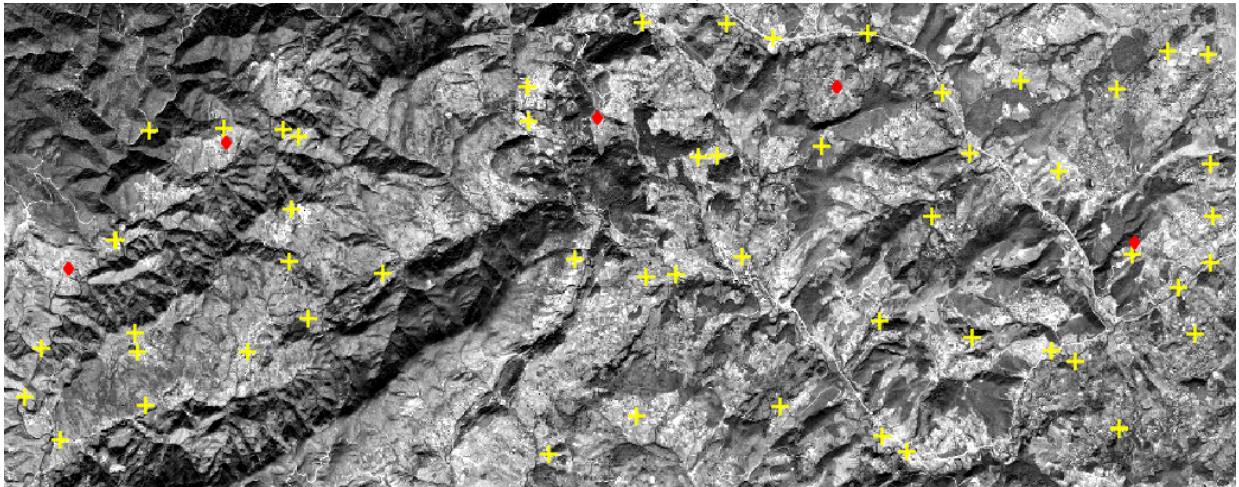
Birincil (primary) görüntü seviyesindeki üçlü bindirmeli pankromatik (50 cm YÖA) görüntüler değerlendirilmiştir. Her bir görüntü yerde 9 km × 23 km'lik alan kaplamaktadır. Toplam 60 noktadan oluşan üç nokta takımı oluşturulmuştur (Şekil 3). Noktaların tümü olabildiğince bakışımı (simetrik) nesnelere (yol kesişimleri, köprü merkezi vb.) seçilmiş ve homojen bir dağılımda olmalarına özen gösterilmiştir. Nesne (yer) koordinatları küresel konumlama sistemiyle gerçek zamanlı kinematik yöntemle belirlenmiş ve yer merkezli kartezyen dik koordinat sisteminin X ekseninde  $\pm 1.3$  cm -  $\pm 18.3$  cm, Y ekseninde  $\pm 2.9$  cm -  $\pm 35.2$  cm, Z ekseninde  $\pm 3.2$  cm -  $\pm 39.7$  cm doğruluk değerlerine ulaşılmıştır.



Nokta takımı 1: #YKN: 4, #BDN: 56



Nokta takımı 2: #YKN: 50, #BDN: 10



Nokta takımı 3: #YKN: 55, #BDN: 5

Şekil 3. Nokta takımlarının görüntüdeki dağılımları (+: YKN,  $\diamond$ : BDN)

## 2.2. Konum Doğruluğuna Dair Bulgular

Öncelikle her bir ikili bindirmeli görüntü takımı ve ayrıca üçlü bindirmeli görüntü için doğrudan yöneltme doğrulukları elde edilmiştir (Şekil 4 ve Çizelge 2). En yüksek doğruluğun  $\pm 7.33$  m ile üçlü bindirmeli ile elde edildiği, bunu sırasıyla  $\pm 7.36$  m ile 285-287 (en yüksek B/H oranı),  $\pm 7.99$  m ile 285-286 ve  $\pm 8.30$  m ile 286-287 çiftlerinin izlediği görülmektedir.

**Çizelge 2.** 3B konum doğrulukları ( $\pm$  metre).

Bindirmeli görüntü takımları	Doğrudan yöneltme doğruluğu	Nokta		Ön dengeleme (YKN için $\times 10^{-4}$ )			Demet dengeleme		
		Takım	Tür	$m_x$	$m_y$	$m_z$	$m_x$	$m_y$	$m_z$
285-286	$m_x = 2.68$ $m_y = 6.21$ $m_z = 4.26$	I	YKN	0.93	2.10	2.43	0.05	0.09	0.09
			BDN	1.99	3.85	3.90	2.01	3.90	3.96
		II	YKN	0.47	0.88	1.05	0.02	0.03	0.03
			BDN	1.00	1.16	1.06	1.00	1.16	1.06
		III	YKN	0.45	0.86	1.02	0.01	0.01	0.01
			BDN	0.66	0.98	1.16	0.66	0.98	1.16
286-287	$m_x = 3.47$ $m_y = 6.40$ $m_z = 3.99$	I	YKN	0.92	2.09	2.38	0.77	1.22	1.13
			BDN	2.83	2.81	3.16	2.60	3.51	2.94
		II	YKN	0.53	0.94	1.04	0.03	0.05	0.05
			BDN	1.19	1.41	1.71	1.17	1.41	1.71
		III	YKN	0.52	0.91	1.01	0.01	0.02	0.02
			BDN	0.82	0.76	0.96	0.82	0.75	0.95
285-287	$m_x = 2.80$ $m_y = 5.89$ $m_z = 3.42$	I	YKN	0.92	2.09	2.40	0.37	0.61	0.63
			BDN	1.60	2.49	1.62	1.60	2.14	1.79
		II	YKN	0.50	0.91	1.03	0.01	0.01	0.01
			BDN	0.86	0.81	1.09	0.85	0.81	1.09
		III	YKN	0.48	0.88	1.00	0.01	0.02	0.02
			BDN	0.70	0.83	0.96	0.70	0.82	0.96
Üçlü	$m_x = 2.78$ $m_y = 5.87$ $m_z = 3.40$	I	YKN	0.92	2.09	2.40	0.39	0.59	0.58
			BDN	1.61	2.04	1.58	1.66	2.23	1.81
		II	YKN	0.50	0.91	1.03	0.01	0.01	0.01
			BDN	0.88	0.77	0.98	0.88	0.83	1.11
		III	YKN	0.48	0.88	1.00	0.01	0.02	0.02
			BDN	0.70	0.82	0.98	0.71	0.80	0.97

Dengeleme hesabı ile elde edilen doğruluk sonuçları arasındaki farklılığın YKN'lerde olduğu gözlenmektedir. Bunun nedeni Şekil 1'in de yardımıyla aşağıdaki işlem sırasıyla açıklanabilir:

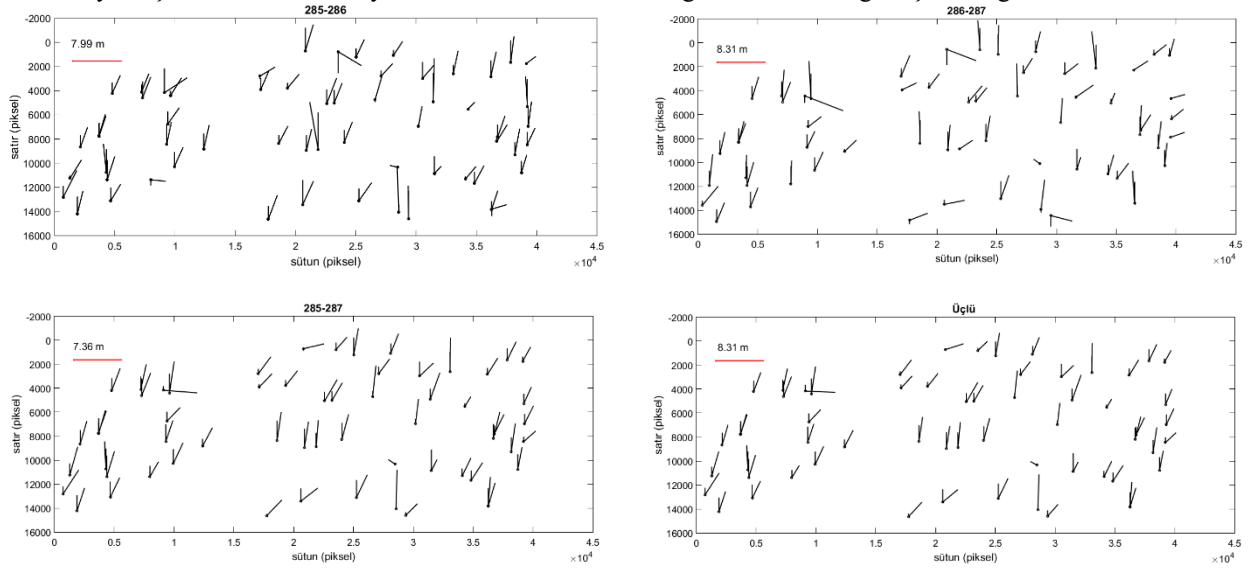
1. Ön dengeleme hesabında sadece YKN'lere ait bakış açıları düzeltilmekte ve BDN'lere ait bakış açıları (17-20) bağıntıları yardımıyla YKN'lerin bakış açılarından kestirilerek hesaplanmaktadır.
2. YKN ve BDN'lerin nesne koordinatları düzeltilmiş bakış açıları ve ham DYÖ'lerden hesaplanmaktadır.
3. Bu hesaplanan koordinatlar arazi çalışması ile elde edilen koordinatlar ile karşılaştırılarak doğruluk hesabı yapılmaktadır.
4. Demet dengeleme adımında hem ön-dengelenmiş bakış açılarına hem de ham DYÖ'lerine düzeltme getirilerek dengeli YKN koordinatları uzay geriden kestirme ile, dengeli BDN koordinatları ise ön dengelemede hesaplanan yaklaşık koordinatlara düzeltme getirilerek hesaplanmaktadır.
5. Doğruluk hesabı dengeli YKN/BDN koordinatlarının arazi koordinatları ile karşılaştırılması ile elde edilmektedir.

Haliyle, ön dengeleme sonucunda YKN'lerde  $10^{-4}$  m düzeyine kadar yükselen konum doğruluğu elde edilmesinde temel etken bakış açılarıyken, demet dengelemede ise seçilen DYÖ'dür. Çizelge 2'de düzeltme getirilecek DYÖ olarak *referans* seçilmiştir. Bunun temel nedeni, diğer DYÖ'lerin *referans*'a göre hesaplanması ve bu tür çalışmalarda bakış açılarının temel hata kaynağı olduğuna dair Kornus vd. (2006), Jung vd. (2007), Jung ve Won (2008), Topan ve Maktav (2014) ve Topan (2022) tarafından ortaya konulan deneyimdir. Bu çalışmada elde edilen bulgular da bunu destekler niteliktedir. Şekil 5-7 ile gösterilen hata vektörleri incelendiğinde, ön dengelemede hem YKN hem de BDN'lerdeki hata vektörlerinin rastgele dağılıma sahipken özellikle Şekil 6 ve 7'de açık bir şekilde görülebileceği gibi demet dengeleme sonunda YKN'lerdeki hata vektörlerinin sistematik bir yapıda oldukları görülmektedir.

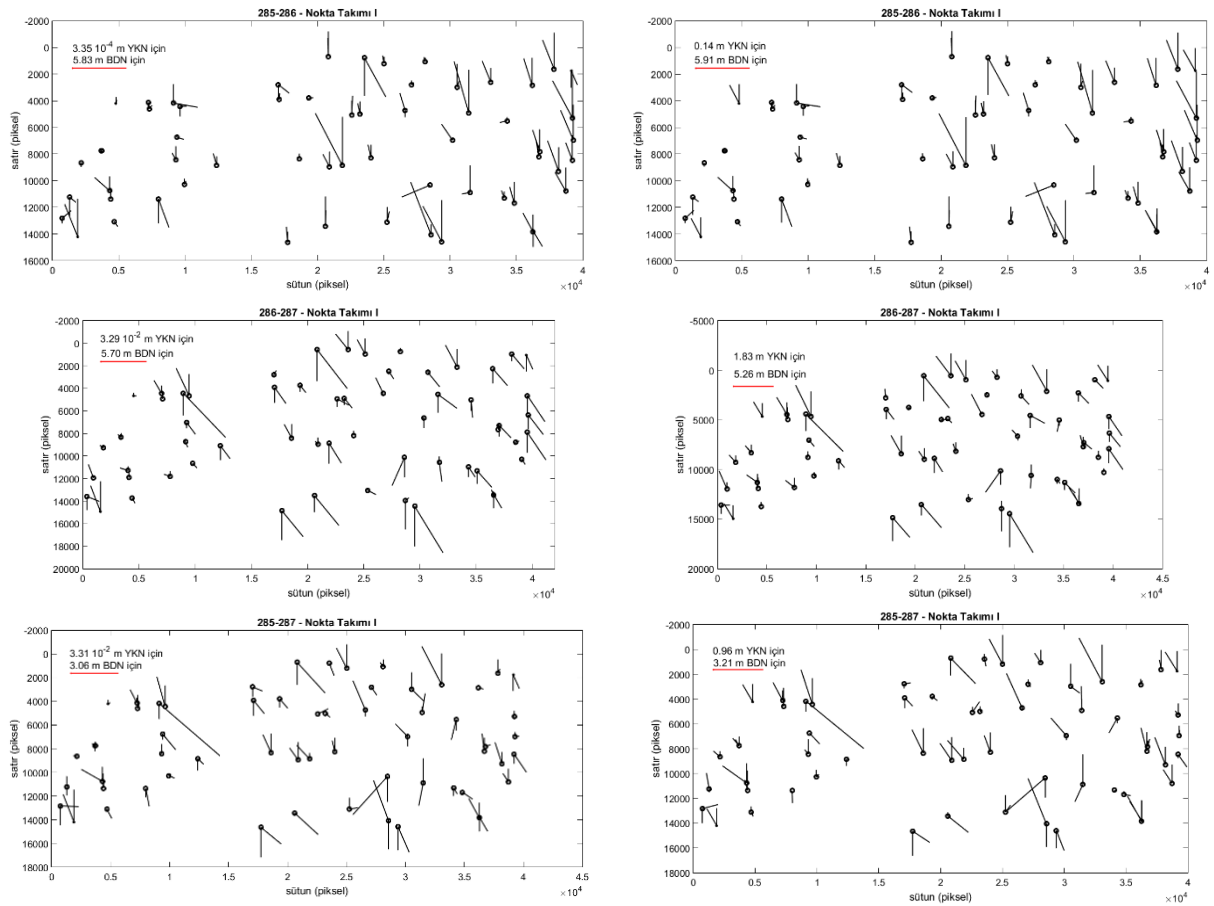


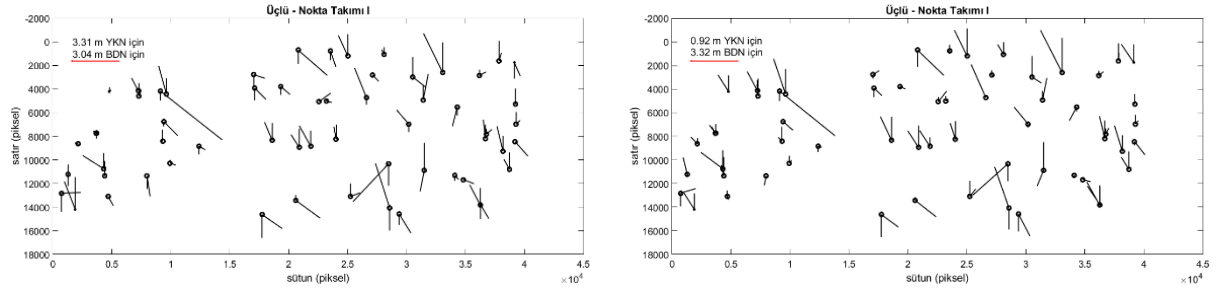
## H. Topan vd: Pléiades 1A Pankromatik Üçlü Bindirmeli Şerit Görüntülerinin Konum Doğruluğunun Belirlenmesi

Farklı bindirmeli görüntü ve nokta takımı çeşitlemeleri sonuçları karşılaştırıldığında en yüksek doğruluğun en büyük baz (285-287) veya üçlü bindirmeli görüntülerle ve üçüncü nokta takımı ile elde edildiği görülmektedir. Özellikle BDN'lerin yaklaşık koordinatlarını yüksek B/H oranı ile daha doğru kestirilebildiği düşünüldüğünde bu durum da

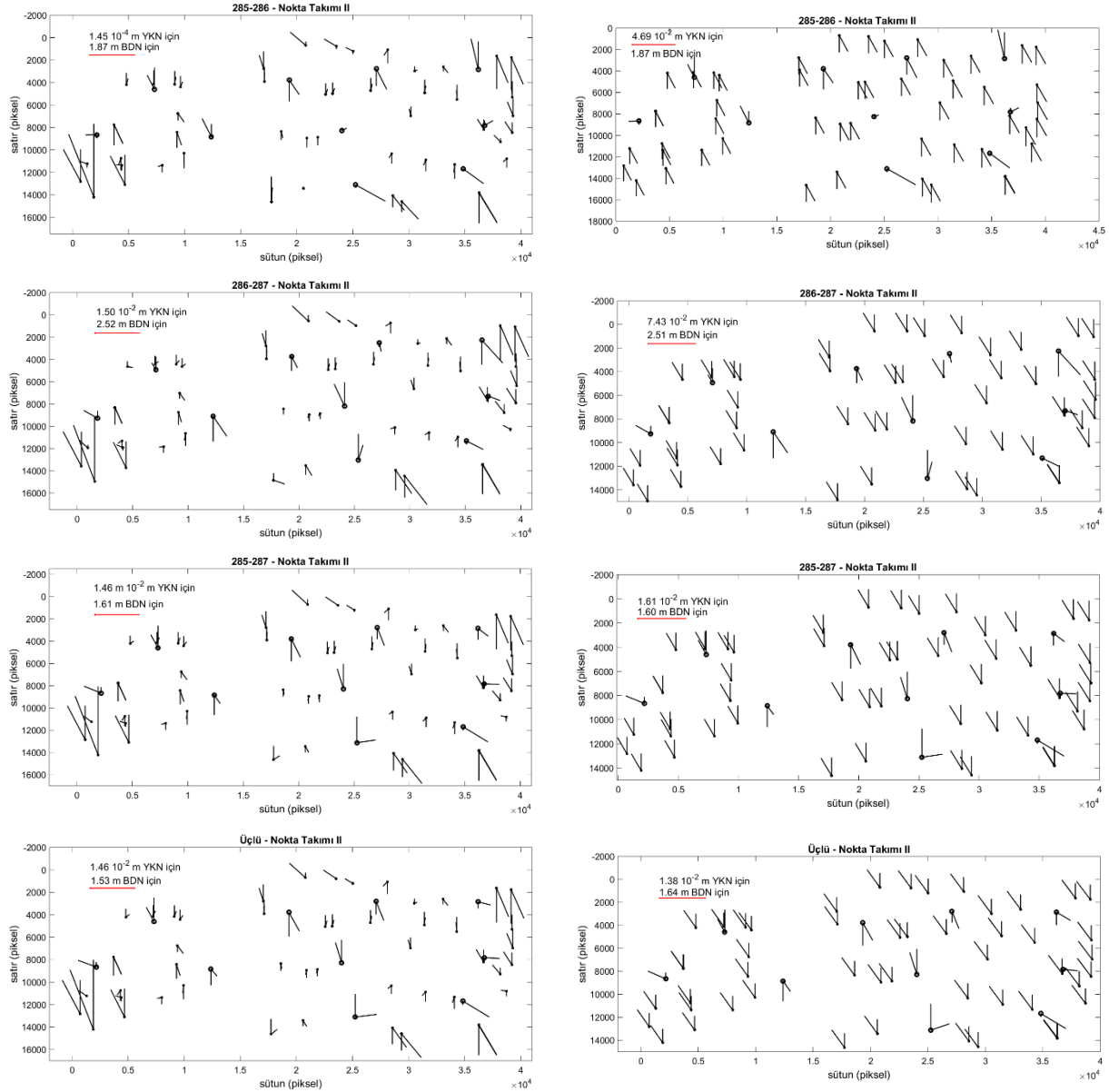


Şekil 4. Doğrudan yönelme ile elde edilen hata vektörleri.





Şekil 5. Birinci nokta takımı için ön (sol) ve demet (sağ) dengeleme ile elde edilen hata vektörleri.



Şekil 6. İkinci nokta takımı için ön (sol) ve demet (sağ) dengeleme ile elde edilen hata vektörleri.

beklenen bir sonuçtur. Ancak tüm nokta takımlarında ve bindirmeli görüntü çeşitlemelerinde BDN'lerde beklenen doğruluğa ( $\pm 1$  piksel,  $\pm 50$  cm) erişilememiştir ki bunun olası nedenleri 2.4. Araştırmanın Kısıtları ve İleriye Dönük Çalışmalar bölümünde tartışılmaktadır.

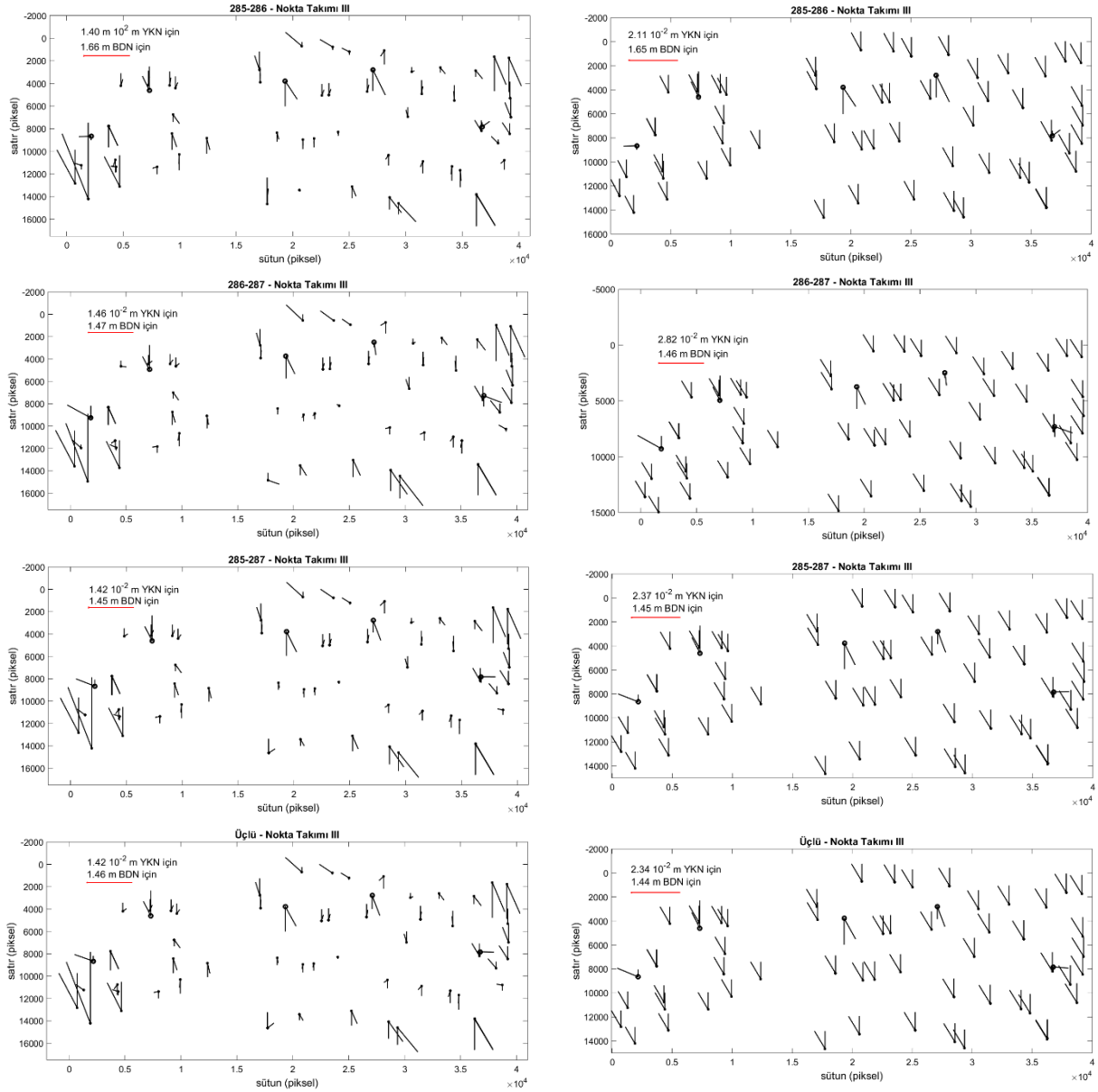
### 2.3. Farklı DYÖ Seçiminin Etkisi, DYÖ Anlamlılık Testi ve Doğrusal Bağımlılık İncelemesi

Farklı DYÖ çeşitlemelerinin sonuçlar üzerindeki etkisinin de araştırılması mümkündür. Bu nedenle Topan (2022)'dekine benzer şekilde üçüncü nokta takımı ve 285-287 çifti için  $\underline{P}_1 = [X_{U_0} Y_{U_0} Z_{U_0}]^T$  ve  $\underline{P}_2 =$

$[Q_{0_0} Q_{1_0} Q_{2_0} Q_{3_0}]^T$  şeklinde iki DYÖ çeşitlemesi yapılmıştır ve sonuçlar Çizelge 3'te ve Şekil 8'de sunulmuştur. Görüldüğü gibi doğruluk değerleri BDN'lerde değişmemekte, buna karşın DYÖ seçimine bağlı olması nedeniyle YKN'lerde hem yön hem de büyüklük olarak değişkenlik göstermektedir.

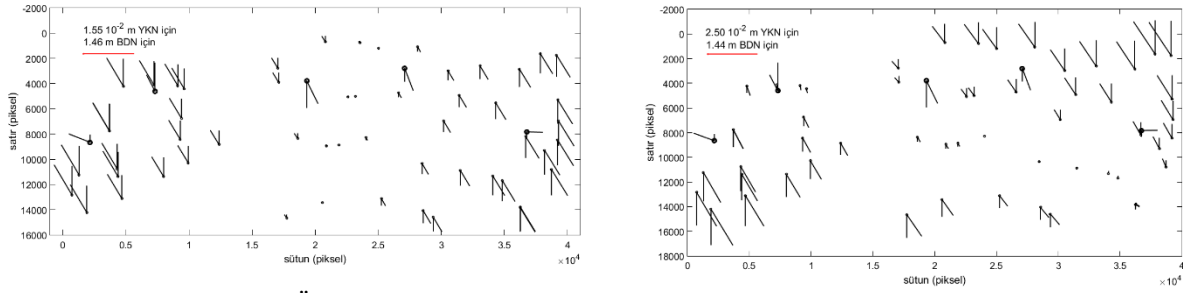
**Çizelge 3.** Farklı DYÖ'lere göre demet dengelemeye elde edilen konum doğrulukları ( $\times 10^{-2}$  m YKN için).

Nokta türü	$P_1$			$P_2$		
	$m_X$	$m_Y$	$m_Z$	$m_X$	$m_Y$	$m_Z$
YKN	0.61	1.01	1.00	1.01	1.61	1.63
BDN	0.71	0.83	0.97	0.70	0.82	0.95



**Şekil 7.** Üçüncü nokta takımı için ön (sol) ve demet (sağ) dengeme ile elde edilen hata vektörleri.

## H. Topan vd: Pléiades 1A Pankromatik Üçlü Bindirmeli Şerit Görüntülerinin Konum Doğruluğunun Belirlenmesi



Şekil 8. Farklı DYÖ seçimlerine göre üçüncü nokta takımı ve 285-287 çifti için hata vektörleri.

Her bir görüntüye ait  $t_{referans}$ 'lar arası doğrusal bağımlılığın bindirmeli görüntü çeşitlemelerinden bağımsız olarak YKN sayısı arttıkça 0.86'dan 0.04'e kadar azaldığı; bu değer görece yüksek olsa dahi kötü şartlı matris sorunuyla karşılaşmadığı görülmüştür. Bununla birlikte bakış açıları ve  $t_{referans}$  arası azami doğrusal bağımlılığın da 0.02'den 0.13 düzeyine çıktığı gözlenmiştir ki bu da çapraz doğrusal bağımlılığın söz konusu olmadığını işaretidir. Bununla birlikte yukarıda verilen  $P_1$  ve  $P_2$  ögeleri arası %100 doğrusal bağımlılık tespit edilmiştir.

$t_{referans}$ 'ın istatistiksel olarak anlamlılığı incelendiğinde birinci nokta takımı için anlamlı, diğer bir deyimle dengeleme hesabı ile getirilen düzeltmenin gerekli olduğu görülmüş; diğer tüm nokta takımlarında hem  $t_{referans}$ , hem de  $P_1$  ve  $P_2$  ögeleri için ise bu durum tespit edilmemiştir.

### 2.4. Araştırmanın Kısıtları ve İleriye Dönük Çalışmalar

Araştırmanın temel kısıtlarından ve ileriye dönük çalışmalardan da bahsedilmesinde yarar vardır. Bu çalışmada temel kısıt, ön dengeleme ile düzeltilen YKN'lere ait  $\psi_y$  bakış açısı yardımıyla BDN'lerin kestirilerek yaklaşık koordinatların hesaplanması zorunluluğudur. Her ne kadar (8) nolu eşitlikle her bir nokta için  $\psi_y$  değeri bir polinom şeklinde hesaplanması gerektiği düşünülse de bu değer Pléiades 1A'nın kılavuz veri dosyasında sabit ve  $\psi_x$  ile karşılaştırıldığında oldukça küçük ( $8.0 \cdot 10^{-5}$ ) olduğundan olabildiğince uygun bir kestirim yöntemiyle BDN'ler için hesaplanması gerekmektedir. Topan (2022) tarafından uygulanan çözüm, (17-20) bağıntıları ve uygun YKN/BDN dağılımı ile BDN'lerde arzu edilen doğruluğa ( $\pm 1$  piksel,  $\pm 50$  cm) ulaşabileceği yönündedir. Her ne kadar bu yaklaşım burada da uygulanmaya çalışılsa da arzu edilen sonuçlara ulaşamamıştır. Ancak bu araştırma özelinde şunun da göz önünde bulundurulması gerekmektedir ki kullanılan noktaların yaklaşık olarak %25'i (15 adedi) Kapnias vd. (2008) tarafından önerilen nokta doğruluğunun ( $1/3 \sim 1/5$  piksel) altındadır. Bunun etkisi, Şekil 4'deki doğrudan yöneltme sonucu elde edilen konum doğruluğu sonuçlarında da görülmektedir. Topan (2022) tarafından yapılan benzer incelemedeki doğrudan yöneltme sonuçlarından farklı olarak eş yönlülüğün bozulduğu görülmektedir. Tüm noktaların görüntüde olabildiğince doğru konumunda toplandığı irdelendiğinden, arazi çalışması sonucunda elde edilen konum doğruluklarının sonuçları olumsuz etkilediği ve bu noktaların ayıklanarak çalışmanın yeniden ele alınması gerektiği düşünülmektedir.

### 3. SONUÇ

Bu bildiriye, Pléiades 1A pankromatik üçlü bindirmeli şerit görüntülerin 3B konum doğruluğunun algılayıcıya bağımlı yöneltme yöntemi ile değerlendirilmesi ele alınmıştır. Henüz bu yöntemin geçerli olduğu Pléiades 1A/1B/Neo, SPOT 6/7 ve Göktürk-1'e ait şerit görüntülerin değerlendirilmemiş olması hem yöntemin başarımı hem de uyduların konum doğruluklarının başarımının ortaya konulması açısından yüksek önem taşıdığı düşünülmektedir. BDN'lerdeki doğruluk yaklaşık olarak  $\pm 1-2$  piksel düzeyinde elde edildiyse de gerek BDN'lerin  $\psi_y$  bakış açısının uygun bir kestirim yöntemiyle kestirilmesi gerekse düşük doğruluğa sahip noktaların ayıklanarak çalışmanın yeniden ele alınmasıyla arzu edilen doğruluğa erişilebileceği düşünülmektedir. Bununla birlikte, sadece bakış açılarının ön dengeleme ile düzeltilmesinin temel gereksinim olduğu ve anlamlılık testi sonuçlarına göre DYÖ'lere getirilen düzeltmenin gereksiz olduğu sonucu da ortaya çıkmıştır. DYÖ'leri arası doğrusal ilişkilerin YKN sayısı arttıkça azaldığı; bu ilişkinin yüksek düzeylerde olmasının herhangi bir kötü şartlı matris sorununa yol açmadığı; bakış açıları ile DYÖ'ler arası doğrusal ilişkinin ise oldukça sınırlı düzeyde olduğu görülmektedir.

### 4. TEŞEKKÜR

Yazarlar, arazi çalışmalarındaki katkılarından dolayı Dr. Çağlar Bayık'a, Yük. Müh. Yunus Emre Elkar'a ve Müh. Furkan Çakır'a, görüntülerin temini için Airbus Savunma ve Uzay şirketine, proje desteği için Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi'ne (Proje no: 2014-47912266-01 ve 2015-47912266-03) ve TÜBİTAK'a (Proje no: 114Y380) teşekkür eder.



## KAYNAKLAR

- Abduelmola, A.E.A.**, 2016. High Resolution Satellite Image Analysis and Rapid 3D Model Extraction for Urban Change Detection. University of Porto, Porto. 190 sayfa.
- Airbus Defence and Space**, 2012. *Pléiades Imagery User Guide*. V 2.0 basım.
- AIRBUS DEFENCE AND SPACE**, 2013. SPOT 6 & SPOT 7 Imagery User Guide. SI/DC/13034-v1.0 ed.
- AIRBUS DEFENCE AND SPACE**, 2022. Pléiades Neo User Guide. 3 ed.
- Aytekin, G. ve Topan, H.**, 2022a. Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Konum Doğruluğunun Algılayıcıya Bağımlı Yönelme Modeli ile Belirlenmesi. *XI. Türkiye Ulusal Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Birliği (TUFUAB) Teknik Sempozyumu*, Mersin, Türkiye, syf.
- Aytekin, G. ve Topan, H.**, 2022b. Üçlü Bindirmeli Göktürk-1 Uydu Görüntülerinin Konum Doğruluğunun Zonguldak Test Alanında Algılayıcıya Bağımlı Yönelme Modeli ile Belirlenmesi. *Harita Dergisi*, 168: 13-27.
- Bakioğlu, O.B., Topan, H., Oruç, M., Özendi, M., Bayık, Ç. ve Cam, A.**, 2016. Pléiades-1A Pankromatik Görüntüsünün Bilgi İçeriğinin Belirlenmesi ve Kentsel Değişim Belirlemede Kullanımı: Zonguldak Fener Bölgesi Örneği *VI. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Adana, syf: 541-547.
- Bernard, M., Decluseau, D., L.Gabet ve Nonin, P.**, 2012. 3D Capabilities of Pleiades Satellite. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Melbourne, Australia, XXXIX, syf: 553-557.
- Berthier, E., Vincent, C., Magnússon, E., Gunnlaugsson, Á.P., Pitte, P., Le Meur, E., Masiokas, M., Ruiz, L., Pálsson, F., Belart, J.M.C. ve Wagnon, P.**, 2014. Glacier topography and elevation changes derived from Pléiades sub-meter stereo images. *The Cryosphere*, 8(6): 2275-2291.
- Cam, A., Topan, H., Özendi, M. ve Oruç, M.**, 2014. Pléiades-1A Görüntülerinin Gerçek Geometrik Çözünürlüğünün ve Radyometrik Kalitesinin Belirlenmesi. *5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, İstanbul.
- de Franchis, C., Meinhardt-Llopis, E., Michel, J., Morel, J.M. ve Facciolo, G.**, 2014. Automatic sensor orientation refinement of Pléiades stereo images. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International*, syf: 1639-1642.
- deLussy, F., Greslou, D., Dechoz, C., Amberg, V., Delvit, J.M., Lebegue, L., Blanchet, G. ve Fourest, S.**, 2012. Pleiades HR In Flight Geometrical Calibration: Location and Mapping of the Focal Plane. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B1: 519-523.
- Delvit, J.M., Greslou, D., Amberg, V., Dechoz, C., deLussy, F., Lebegue, L., Latry, C., Artigues, S. ve Bernard, L.**, 2012. Attitude Assessment Using Pleiades-HR Capabilities. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXIX-B1: 525-530.
- Dukuzemariya, T.**, 2017. Quality analysis comparison of 3D products from satellites and aerial images: MICMAC Application in Hilly Zones (Liège). Université de Liège, Liège, Belgique. 164 sayfa.
- Durand, A., Michel, J., deFranchis, C., Allenbach, B. ve Giros, A.**, 2013. Qualitative assessment of three DSM generation approaches using Pleiades-HR data. *33rd EARSeL Symposium*, Matera, Italy, syf: 1-12.
- Eisank, C., Rieg, L., Klug, C., Kleindienst, H. ve Sailer, R.**, 2015. Semi-Global Matching of Pléiades tri-stereo imagery to generate detailed digital topography for high-alpine regions. *J. Geogr. Inf. Sci.*, 2015: 168-177.
- Ghilani, C.d. ve Wolf, P.R.**, 2006. *Adjustment Computations*. 4th basım, John Wiley & Sons, Inc.
- Ghuffar, S.**, 2016. Satellite Stereo Based Digital Surface Model Generation Using Semi Global Matching in Object and Image Space. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*: 63-68.
- Gim, J.H. ve Shin, S.H.**, 2016. Evaluating positional accuracy of Pleiades 1A satellite imagery in exploiting foreign natural resources. *Spatial Information Research*, 24(2): 85-92.
- Giraud, H., Durand, A., Caspard, M., Huber, C., Maxant, J., De Fraipont, P., Tinel, C. ve Michel, J.**, 2014. Applicative potential of digital surface models derived from Pleiades-HR tri-stereoscopic acquisitions and TerraSAR-X/TanDEM-X interferometric pairs in a range of thematic domain. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2014 IEEE International*, syf: 1761-1764.
- Greslou, D., deLussy, F., Delvit, J.M., Dechoz, C. ve Amberg, V.**, 2012. Pleiades-HR Innovative Techniques for Geometric Image Quality Commissioning. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Volume XXXIX-B1.
- Henrico, L., Combrinck, L. ve Eloff, C.**, 2016. Accuracy comparison of Pléiades satellite ortho-images using GPS device based GCPs against TerraSAR-X-based GCPs. *South African Journal of Geomatics*, 5(3): 358-372.
- Jacobsen, K.**, 2015. Geometric potential of Pleiades models with small base length. *35th EARSeL Symposium on European Remote Sensing - Progress, Challenges and Opportunities*, Stockholm, Sweden, syf: 1-8.
- Jacobsen, K. ve Topan, H.**, 2015. DEM Generation With Short Base Length Pléiades Triplet. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-3/W2, syf: 81-86.
- Jacobsen, K., Topan, H., Cam, A., Özendi, M. ve Oruc, M.**, 2014. Radiometric and geometric characteristics of Pleiades images. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XL-1, syf: 173-177.
- Jacobsen, K., Topan, H., Cam, A., Özendi, M. ve Oruc, M.**, 2016. Image Quality Assessment of Pléiades-1A Triplet Bundle and Pan-sharpened Images. *Photogrammetrie - Fernerkundung - Geoinformation*, 2016(3): 141-152.
- Jung, H.-S., Kim, S.-W., Won, J.-S. ve Lee, D.-C.**, 2007. Line-of-Sight Vector Adjustment Model for Geopositioning of SPOT-5 Stereo Images. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(11): 1267-1276.

- Jung, H.S. ve Won, J.S.**, 2008. Formulation of distortion error for the line-of-sight (LOS) vector adjustment model and its role in restitution of SPOT imagery. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 63(6): 610-620.
- Kapnias, D., Milenov, P. ve Kay, S.**, 2008. *Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for the Protection and Security of the Citizen.
- Kartal, H., Alganci, U. ve Sertel, E.**, 2018. Automated Orthorectification of VHR Satellite Images by SIFT-Based RPC Refinement. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 7(6): 229.
- Kornus, W., Alamús, R., Ruiz, A. ve Talaya, J.**, 2006. DEM generation from SPOT-5 3-fold along track stereoscopic imagery using autocalibration. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 60(3): 147-159.
- Loghini, A.-M., Otepka-Schremmer, J. ve Pfeifer, N.**, 2020. Potential of Pléiades and WorldView-3 Tri-Stereo DSMs to Represent Heights of Small Isolated Objects. *Sensors*, 20(9): 2695.
- Mertes, J.R., Gulley, J.D., Benn, D.I., Thompson, S.S. ve Nicholson, L.L.**, 2017. Using Structure from Motion to create Glacier DEMs and Orthoimagery from Historical Terrestrial and Oblique Aerial Imagery. *Earth Surface Processes and Landforms*, 42(14): 2350-2364.
- Michel, P., Jean-Philippe, C., Claire, T. ve Delphine, F.**, 2013. Potential of Pleiades VHR Data for Mapping applications. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2013 IEEE International*, syf: 4313-4316.
- Nasir, S., Iqbal, I.A., Ali, Z. ve Shahzad, A.**, 2015. Accuracy Assessment of Digital Elevation Model Generated from Pleiades Tri Stereo-Pair. *7th International Conference on Recent Advances in Space Technologies (RAST)*, syf: 193-197.
- Noh, M. ve Howat, I.M.**, 2019. Applications of High-Resolution, Cross-Track, Pushbroom Satellite Images With the SETSM Algorithm. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 12(10): 3885-3899.
- Ok, A.O., Ozdarici-Ok, A. ve Baseski, E.**, 2018. Accuracy Assessment of Pleiades-1 Stereo/Tri-stereo Digital Surface Models: A Case-Study for Citrus Trees. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 46(8): 1203-1212.
- Ok, A.Ö., Özdarcı Ok, A. ve Başeski, E.**, 2016. PLEIADES-1 TRI-Stereo Uydu Görüntülerinden Elde Edilen Sayısal Yüzey Modellerinin Narenciye Ağacı Tespiti Üzerindeki Etkisinin İrdelenmesi *VI. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, Adana, syf: 260-270.
- Özendi, M., Topan, H., Oruç, M. ve Cam, A.**, 2014. Pléiades-1A Görüntülerinin Pan-Sharpeneing Performansının İncelenmesi. *5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, İstanbul.
- Özendi, M., Topan, H., Oruç, M. ve Cam, A.**, 2016. Pan-sharpening Quality Investigation of PLÉIADES-1A Images. *Geocarto International*, 31(8): 881-890.
- Öztürk, E. ve Şerbetçi, M.**, 1992. *Dengeleme Hesabı Cilt III*. Karadeniz Teknik Üniversitesi.
- Peng, F., Gong, J., Wang, L., Wu, H. ve Liu, P.**, 2017. A New Stereo Pair Disparity Index (SPDI) for Detecting Built-Up Areas from High-Resolution Stereo Imagery. *Remote Sensing*, 9(6): 633.
- Perko, R., Raggam, H., Gutjahr, K. ve Schardt, M.**, 2014. Assessment of the mapping potential of Pléiades stereo and triplet data. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, II-3: 103-109.
- Perko, R., Raggam, H. ve Roth, P.M.**, 2019a. Mapping with Pléiades—End-to-End Workflow. *Remote Sensing*, 11(17): 2052.
- Perko, R., Raggam, H., Schardt, M. ve Michael Roth, P.**, 2018. Very High Resolution Mapping with the Pléiades Satellite Constellation. *American Journal of Remote Sensing*, 6(2): 89-99.
- Perko, R., Schardt, M., Piermattei, L., Auer, S. ve Roth, P.M.**, 2019b. Multiple View Geometry in Remote Sensing: An Empirical Study Based on Pléiades Satellite Images. *International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2019*, Yokohama, Japan, syf: 1-4.
- Piermattei, L., Marty, M., Karel, W., Ressler, C., Hollaus, M., Ginzler, C. ve Pfeifer, N.**, 2018. Impact of the Acquisition Geometry of Very High-Resolution Pléiades Imagery on the Accuracy of Canopy Height Models over Forested Alpine Regions. *Remote Sensing*, 10(10): 1542.
- Poli, D., Remondino, F., Angiuli, E. ve Agugiaro, G.**, 2013. Evaluation of Pleiades-1A Triplet on Trento Testfield. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, ISPRS Hannover Workshop 2013, Volume XL-1/W1*, Hannover, Germany, syf: 287-292.
- Postelniak, A.**, 2014. Geometric Potential of Pléiades 1A Satellite Imagery. *GeoScience Engineering*, 60(3).
- Qayyum, A., Malik, A.S., Nuafal, M., Iqbal, M. ve Abdullah, M.F.**, 2015. Design of digital elevation model based on orthorectified satellite stereo images. *Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS), 2015 9th International Conference on*, syf: 1-6.
- RIAZANOFF, S., 2004. SPOT 123-4-5 Geometry Handbook. in: Image, S. (Ed.). Spot Image, France.
- Sadeq, H., Drummond, J. ve Li, Z.**, 2016. Merging Digital Surface Models Implementing Bayesian Approaches. *ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*: 711-718.
- Sofia, G., Bailly, J.S., Chehata, N., Tarolli, P. ve Levavasseur, F.**, 2016. Comparison of Pleiades and LiDAR Digital Elevation Models for Terraces Detection in Farmlands. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 9(4): 1567-1576.
- Stumpf, A., Malet, J.-P., Allemand, P. ve Ulrich, P.**, 2014. Monitoring landslide deformation with Pleiades very-high resolution satellite images at decimeter accuracy. *EGU General Assembly Conference Abstracts*, 16 (syf: 7930).
- Terlemezoğlu, B. ve Topan, H.**, 2020. Eigenvalue-Based Approaches for Solving an Ill-Posed Problem Arising in Sensor Orientation. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(3): 1920-1930.

- Topan, H.**, 2014. Dönüşüm Katsayılarının ve Sayısal Yükseklik Modelinin Konum Doğruluğunun Ortogörüntülerin Konum Doğruluğu Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi: Ikonos, QuickBird, OrbView-3 ve Pléiades-1A Görüntüleri ile Örnek Uygulama. *5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, İstanbul.
- Topan, H.**, 2022. Geo3o1: A Tool for 3D Georeferencing Accuracy Assessment of Tri-Stereo Images by New Generation Sensor Dependent Orientation Model. *Journal of Applied Remote Sensing*, Accepted to publication.
- Topan, H., Cam, A., Özendi, M., Oruç, M., Jacobsen, K. ve Taşkanat, T.**, 2016a. Pléiades Project: Assessment of Georeferencing Accuracy, Image Quality, Pansharpening Performance and DSM/DTM Quality. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Prague (Czech Republic), XLI-B1, syf: 503-510.
- Topan, H., Cam, A., Özendi, M., Oruç, M. ve Taşkanat, T.**, 2016b. Pléiades Projesi: Pléiades-1A Pankromatik ve Çok Bantlı Görüntülerinin Konum Doğruluğunun, Görüntü Kalitesinin, Pan-Keskinleştirme Başarımının ve Sayısal Yükseklik Modeli Kalitesinin Belirlenmesi. *VI. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (VI. UZAL-CBS 2016)*, Adana, syf: 712-722.
- Topan, H., Jacobsen, K., Cam, A., Özendi, M., Oruç, M., Bakioglu, O.B., Bayık, Ç. ve Taşkanat, T.**, 2019. Comprehensive Evaluation of Pléiades-1A Bundle Images for Geospatial Applications. *Arabian Journal of Geosciences*, 12(7:223): 1-16.
- Topan, H. ve Maktav, D.**, 2014. Efficiency of Orientation Parameters on Georeferencing Accuracy of SPOT-5 HRG Level-1A Stereoimages. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52(6): 3683-3694.
- Topan, H., Oruç, M., Taşkanat, T. ve Cam, A.**, 2014. Combined Efficiency of RPC and DEM Accuracy on Georeferencing Accuracy of Orthoimage: Case Study With Pléiades Panchromatic Mono Image. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11(6): 1148-1152.
- Topan, H., Taşkanat, T. ve Cam, A.**, 2013. Georeferencing Accuracy Assessment of Pléiades 1A Images Using Rational Function Model. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-7/W2, syf: 251-256.
- Weser, T., Rottensteiner, F., Willneff, J., Poon, J. ve Fraser, C.S.**, 2008. Development and Testing of a Generic Sensor Model for Pushbroom Satellite Imagery. *The Photogrammetric Record*, 23(123): 255-274.