

GEOSPOT: DOĞRUSAL DİZİ UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN UYDU YÖRÜNGE PARAMETRELERİ İLE DEMET DENGELENMESİ

H. Topan¹, D. Maktav²

¹Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Zonguldak. htopan@karaelmas.edu.tr

²İstanbul Teknik Üniversitesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü, 34469, Maslak, İstanbul. maktavd@itu.edu.tr

ÖZET

GeoSpot, doğrusal dizi düzey 1A stereo uydu görüntülerinin demet dengelenmesini gerçekleştiren Matlab ortamında yazılmış bir yazılımdır. Mevcut sürüm bir çift SPOT-5 HRG düzey 1A stereo görüntüsü için kullanılabilir durumdadır. Yazılım, görüntüleme metadatalarında verilen, iç yönelme (algılayıcının görüntüleme geometrisi) ve dış yönelme (uydunun konum, hızı ve durum açıları) parametrelerini kullanarak, yer kontrol noktaları yardımıyla yaklaşık ± 5.0 m (± 1.0 piksel) konum doğruluğu elde eder. Yazılım, farklı kontrol ve denetim noktası seçimine ve farklı dış yönelme parametrelerine göre doğruluk araştırmasına olanak tanır.

Anahtar Sözcükler: GeoSpot, Doğrusal Dizi, Uydu Görüntüsü, Demet Dengeleme, Parametrik Model

GEOSPOT: BUNDLE ADJUSTMENT OF LINEAR ARRAY SATELLITE IMAGES USING SATELLITE ORBITAL PARAMETERS

ABSTRACT

GeoSpot is a computation package which bundle-adjusts linear array level 1A stereo images, written in Matlab. Existing version compensates a couple of SPOT-5 HRG level 1A stereo images. GeoSpot reaches ± 5.0 m (± 1.0 pixel) accuracy using ground control points considering interior orientation parameters belonging imaging geometry of sensor, and exterior orientation parameters (position, velocity and attitude angles of satellite) received from metadata of images. Accuracy analysis depending on various point sets and exterior orientation parameters is available via the package.

Keywords: GeoSpot, Satellite Image, Block Adjustment, Parametric Model

1. GİRİŞ

Uydu görüntülerinden konum bilgisi elde edebilmek için, görüntü koordinat sistemi ile konum bilgisinin elde edileceği koordinat sistemi (nesne/yer koordinat sistemi) arasındaki geometrik ilişkinin sağlanması gerekmektedir. Bu ilişki genelde koordinat dönüşümü olarak adlandırılmaktadır ve uzaktan algılama veya fotogrametride algılayıcı yönelmesi adını da almaktadır. Bu ilişkinin sağlanmasında “parametrik” ve “parametrik olmayan” iki tür matematik model kullanılır. Parametrik modeller, görüntü ve yer koordinat sistemleri arasındaki gerçek geometrik ilişkiyi dikkate alırken parametrik olmayan modeller bu ilişkiyi dikkate almaz. Parametrik modeller temelde iç ve dış yönelme parametrelerine bağlıken, parametrik olmayan modeller ise temelde yer kontrol noktalarına (YKN) ihtiyaç duyar. Yapılan araştırmalar, parametrik modellerin daha yüksek doğruluk sağladığını göstermektedir. Ancak günümüzde parametrik olmayan modeller de sıklıkla kullanılmaktadır. Bunun ana nedeni, parametrik modellerin ihtiyaç duyduğu parametrelerin çoğunun görüntü satan/dağıtan şirketler tarafından kullanıcıya sunulmamasıdır.

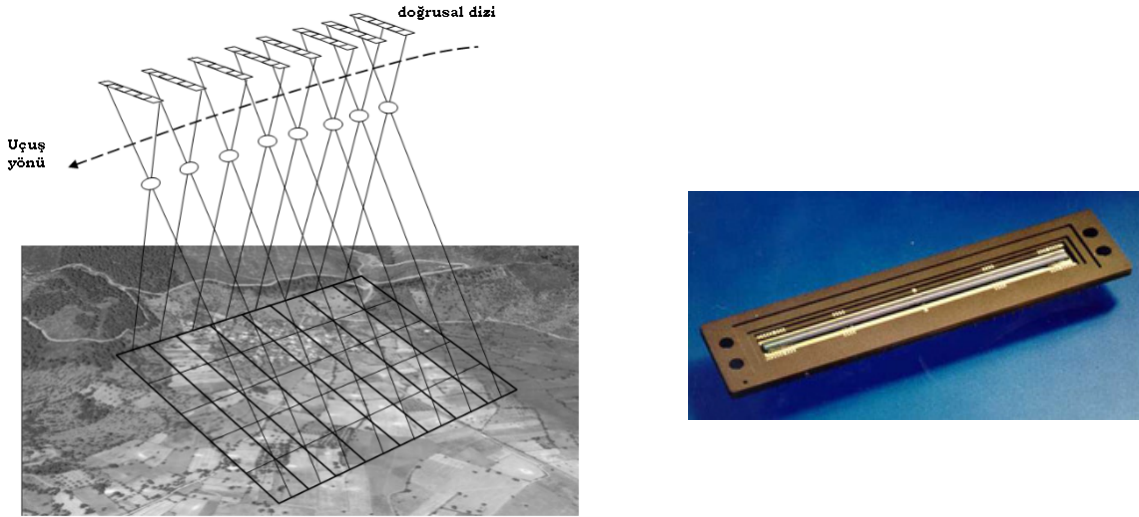
Ülkemizde, uydu görüntülerinden konum bilgisi elde etmeye yönelik bilimsel araştırma ve çalışmalarda sıklıkla ticari yazılımlar kullanılmaktadır. Ülkemizden sadece 1990 yılında Orun ve 1994 yılında Orun ve Natarajan tarafından parametrik bir model geliştirildiğini görmekteyiz (Orun, 1990; Orun ve Natarajan, 1994). Bazı çalışmalarda ise parametrik olmayan modelleri kullanan yazılımların geliştirildiği görülmektedir (Topan, 2004). Ülkemizde özellikle parametrik modellerle yapılan araştırmalarda mevcut ticari veya akademik yazılımların kullanıldığı; bu yazılımların yurtdışı kaynaklı olduğu ve araştırmacıların kendi yazılımlarını yazma eğiliminde olmadıkları görülmektedir. Oysa özellikle ticari yazılımların nasıl bir değerlendirme yaptığı ve elde edilen sonuçların hangi koşullara bağlı olduğu tam olarak bilinmemektedir. Ülkemizin bu konudaki eksikliğini gidermek amacıyla Topan tarafından 2009 yılında tamamlanan doktora tezinde parametrik modele dayanan bir yazılım geliştirilmesi amaçlanmış ve GeoSpot adı verilen yazılım ortaya çıkmıştır. B çalışmada, yazılımın tanıtımından önce, doğrusal dizi görüntülemenin temel geometrisi, kullanılan matematik model ve dengeleme yöntemi hakkında bilgi verilecek, yazılımın tanıtımı sonrasında örnek bir uygulamanın sonuçları sunulacaktır.

2. GÖRÜNTÜLEME GEOMETRİSİ, MATEMATİK MODEL VE DENGELEME YÖNTEMİ

Görüntülerden konum bilgisi elde etmede kullanılan matematik modeller, görüntüleme geometrisine göre farklılık gösterir. GeoSpot, doğrusal dizi görüntüler için tasarlandığından, önce doğrusal dizi görüntüleme, sonra da kullanılan matematik model ve dengeleme yöntemi hakkında bilgi verilecektir.

2.1. Doğrusal Dizi Görüntüleme

Günümüzde tüm uydu görüntüleri arasında optik görüntülemenin önemli bir payı vardır. Optik görüntülemeye çoğunlukla doğrusal dizi algılayıcılar kullanılmaktadır. Dijital çerçeve sistemlere göre daha kolay üretilebilen doğrusal dizi algılayıcılar bir dizi Yükten Bağlı Ayrık (CCD: Charge Coupled Device) veya Bütünleyici Metal-oksit Yarıiletken (CMOS: Complementary metal-oxide Semiconductor) elemanlardan oluşur (Şekil 1). CCD, CMOS'a göre daha çok tercih edilmektedir. Bu algılama yönteminde yeryüzü, genellikle uçuş yönüne dik olacak şekilde uyduya konumlandırılan bir CCD dizisi üzerine izdüşürülür ve nesneden gelen elektromanyetik enerjiye karşılık CCD elemanında bir elektrik yükü üretilerek görüntüleme işlemi gerçekleşmiş olur. Elde edilen görüntü, anlık olarak yan yana elde edilen dizi görüntülerin toplamıdır. Bu sistemde bir dizinin görüntülenmesi oldukça kısa sürmektedir. Örneğin bu süre SPOT-5 HRG görüntüleri için ~0.75210 ms'dir (Lafrey ve Rougé, 2003). Görüntünün netliğini arttırmak için bu süre çeşitli yollarla arttırılmıştır. Bunlardan üçü Zaman Geciktirme ve Birleştirme (TDI: Time Delay and Integration), yavaşlatma (slow-down) ve ötelenmiş satırlar (staggered lines) yöntemleridir (Topan, 2009). 5 m yer örnekleme aralıklı SPOT-5 HRG algılayıcısı ile 2.5 m yer örnekleme aralıklı Supermode görüntülerinin üretiminde ötelenmiş satırlar yöntemi kullanılmaktadır (Riazanoff, 2002).



Şekil 1. Doğrusal dizi görüntüleme (sol) ve SPOT-5 pankromatik algılayıcısına ait CCD dizini (sağ)

Doğrusal dizi algılayıcılarla elde edilen görüntülerin her bir satırı birbirinden farklı dış yöneltme parametrelerine sahiptir. Parametrik modellerde bu durumun dikkate alınması gerekmektedir.

2.2. Matematik Model

Optik yolla elde edilen bir görüntü, üç boyutlu uzayın iki boyutlu görüntü düzlemine izdüşümüdür. Bu temele dayanan kolinearite (eşdoğrusallık) eşitlikleri, doğrusal dizi görüntüler için geliştirilen pekçok matematik modelin de temelini oluşturmaktadır. Matematik modelleri birbirinden ayıran özellik ise, eşdoğrusallık eşitliklerinin görüntüleme geometrisine ve dış yöneltme parametrelerine göre yeniden düzenlenmesindeki farklılıklardır. Doğrusal dizi bir görüntüleme sisteminde görüntü ve yer koordinat sistemleri arasındaki dönüşümü açıklayan en genel model Weser vb. (2007 ve 2008) tarafından tanımlanmıştır. GeoSpot tarafından kullanılan matematik model ise, SPOT görüntüleri için Riazanoff (2002) tarafından önerilen ve Fotev vb. (2005) tarafından basitleştirilen bir matematik modeldir. Bu

matematik modelin, sırasıyla görüntü koordinat sistemi → satır koordinat sistemi → kamera koordinat sistemi → uydu koordinat sistemi → yörünge koordinat sistemi → yer koordinat sistemi şeklinde gerçekleştirdiği dönüşüm aşağıdaki şekilde gösterilebilir:

$$\vec{P} = \vec{P}_S + R_{OG} \cdot R_{PO} \cdot [C_M + m \cdot R_{CP} \cdot (\vec{p}_s - \vec{c}_s + \delta\vec{x})] \quad (1)$$

Burada:

\vec{P} : yer koordinatlarına ait konum vektörü,

\vec{P}_S : uydunun yer koordinatlarına ait konum vektörü,

R_{OG} : yörünge koordinat sisteminden yer koordinat sistemine dönüşüm,

R_{PO} : uydu koordinat sisteminden yörünge koordinat sistemine dönüşüm,

C_M : kamera koordinat sisteminin uydudaki konumu ve dönüklüğü,

m : ölçek,

R_{CP} : kamera koordinat sisteminden uydu koordinat sistemine dönüşüm,

\vec{p}_s : satır koordinatlarına ait vektör,

\vec{c}_s : doğrusal dizinin kamera koordinat sistemindeki konumu ve dönüklüğü,

$\delta\vec{x}$: sistematik hata düzeltmelerine ait vektördür. Bu son vektör, SPOT-5 görüntüleri için gözardı edilebilir (Weser vb., 2008).

Bu genel model üzerinde Riazanoff (2002) tarafından aşağıdaki değişiklikler yapılmıştır.

- Doğrusal dizinin uydudaki konumu ve dönüklüğü bakış açıları (ψ_x ve ψ_y) yardımıyla tanımlanmıştır.
- Uydu koordinat sistemine benzer bir navigasyon koordinat sistemi tanımlanmıştır ve bu koordinat sisteminden yörünge koordinat sistemine dönüşüm (R_{PO}), uydu koordinat sistemininkinden farklıdır.
- Yörünge koordinat sisteminden yer koordinat sistemine dönüşüm (R_{OG}) de genel modeldekinden farklıdır.

Bakış açıları, doğrusal dizinin uydu koordinat sistemindeki konumunu ve dönüklüğünü, diğer bir deyimle iç yönelmeyi tanımlar ve aşağıdaki gibi gösterilebilir:

$$\vec{p}_p = \begin{bmatrix} -\tan(\psi_y) \\ \tan(\psi_x) \\ 1 \end{bmatrix} = C_M + m \cdot R_{CP} \cdot \vec{p}_C = s \cdot R_{CP} \cdot (\vec{p}_s - \vec{c}_s) \quad (2)$$

Burada $C_M = 0$ 'dır, yani uydu ve kamera koordinat sistemlerinin başlangıçları çakışiktır.

Riazanoff tarafından tanımlanan navigasyon koordinat sisteminden yörünge koordinat sistemine geçişte a_r ve a_p durum açıları -1 ile çarpılır ve dönme matrisi:

$$R_{PO} = R_X^{-1}(a_p) \cdot R_Y^{-1}(a_r) \cdot R_Z^{-1}(a_y) \quad (3)$$

şeklinde oluşturulur. Durum açıları çok küçük olduklarından R_{PO} dönüklüğü Fotev vb. (2005) tarafından sadeleştirilerek:

$$R_{PO} \cong \begin{bmatrix} 1 & -a_y & +a_r \\ +a_y & 1 & -a_p \\ -a_r & +a_p & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

şekline getirilmiştir. Bu son eşitlikte trigonometrik terimler olmadığından durum açılarına göre doğrusallaştırılmış model daha basittir.

Riazanoff (2002) tarafından önerilen son değişiklik ise yörünge koordinat sisteminden yer koordinat sistemine geçişi sağlayan dönme matrisidir ($R_{OG} = [R_{OG}^X \ R_{OG}^Y \ R_{OG}^Z]$). Bu matrisin elemanları, genel modeldekinden farklı olarak:

$$R_{OG}^Z = \frac{\vec{P}_S}{\|\vec{P}_S\|}, R_{OG}^X = \frac{\vec{V}_S \times R_{OG}^X}{\|\vec{V}_S \times R_{OG}^X\|}, R_{OG}^Y = \frac{R_{OG}^Z \times R_{OG}^X}{\|R_{OG}^Z \times R_{OG}^X\|} \quad (5)$$

şeklinde tanımlanmıştır. Sonuç olarak nesneye ait yer koordinatları:

$$\vec{P} = \vec{P}_S + m \cdot \vec{u}_3 \quad (6)$$

eşitliği ile hesaplanabilir. Burada:

$$\vec{u}_3 = R_{OG} \cdot \vec{u}_2 \quad (7)$$

$$\vec{u}_2 = \frac{R_{PO} \cdot \vec{u}_1}{\|R_{PO} \cdot \vec{u}_1\|} \quad (8)$$

$$\vec{u}_1 = \frac{\begin{bmatrix} -\tan(\psi_y) \\ \tan(\psi_x) \\ 1 \end{bmatrix}}{\left\| \begin{bmatrix} -\tan(\psi_y) \\ \tan(\psi_x) \\ 1 \end{bmatrix} \right\|} \cong \begin{bmatrix} -\tan(\psi_y) \\ \tan(\psi_x) \\ 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

şeklindedir ve $\| \cdot \|$ vektör normunu ifade etmektedir. Bu modelin dengeleme işleminde kullanılabilmesi için aşağıdaki şekilde düzenlenmesi gerekir:

$$\vec{u}_1 = \frac{1}{m} R_{PO}^{-1} \cdot R_{OG}^{-1} (\vec{P} - \vec{P}_S) \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} -\tan(\psi_y) \\ \tan(\psi_x) \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \cdot R \cdot \begin{bmatrix} X - X_S \\ Y - Y_S \\ Z - Z_S \end{bmatrix} = \frac{1}{m} \cdot \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X - X_S \\ Y - Y_S \\ Z - Z_S \end{bmatrix} \quad (11)$$

Burada $R = R_{PO}^{-1} \cdot R_{OG}^{-1}$ 'dır. Bu son eşitliğin ilk ve ikinci terimleri üçüncüye bölünerek aşağıdaki yeni eşitlik elde edilir:

yeniden dengeleme işlemine tabi tutulur. GeoSpot'ta dengeleme işlemi ön ve demet dengeleme şeklinde iki aşamalı olarak gerçekleştirilmiştir.

Ön dengeleme

Bu dengeleme işlemi, demet dengeleme öncesinde özellikle bakış açılarının ön dengelenmesi zorunluluğundan doğmaktadır. Ön dengeleme iki çeşittir. İlkinde dış yöneltme parametreleri sabit (dengeli) kabul edilerek bakış açıları (ψ_x ve ψ_y) dengelenir. Bu durumda $\underline{dP} = \underline{0} \rightarrow \underline{A} \cdot \underline{dP} = \underline{0}$ olacağından fonksiyonel modele ve düzeltmelere ait eşitlikler:

$$\underline{B} \cdot \underline{v} + \underline{w} = \underline{0} \quad (19)$$

$$\underline{v} = -\underline{B}^T (\underline{B} \cdot \underline{B}^T)^{-1} \underline{w} \quad (20)$$

şeklinde yazılır. Düzeltilmiş bakış açıları ham kabul edilerek eşik değere ulaşıncaya kadar bu işlem devam ettirilir.

İkinci tür ön dengelemede ise önce bakış açıları yukarıda anlatıldığı şekilde düzeltilir, sonra bu düzeltilmiş bakış açıları sabit kabul edilerek dış yöneltme parametrelerinin düzeltilmesine geçilir. Bu durumda $\underline{v} = \underline{0} \rightarrow \underline{B} \cdot \underline{v} = \underline{0}$ olacağından fonksiyonel modele ve düzeltmelere ait eşitlikler:

$$\underline{A} \cdot \underline{dP} + \underline{w} = \underline{0} \quad (21)$$

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

şeklinde olacaktır. Düzeltilmiş bakış açıları ve dış yöneltme parametreleri demet dengelemede yeniden dengeleme işlemine tabi tutulur.

Demet dengeleme

Demet dengelemede amaç birden fazla görüntüye ait ölçümlerin ve parametrelerin birlikte dengelenmesidir. Ayrıca bağlama veya denetim noktalarının yaklaşık yer koordinatları da o noktalara ait parametreler olarak kabul edilir ve bu koordinatlara ait düzeltme değerleri de hesaplanır. Bu durumda (14) eşitliği

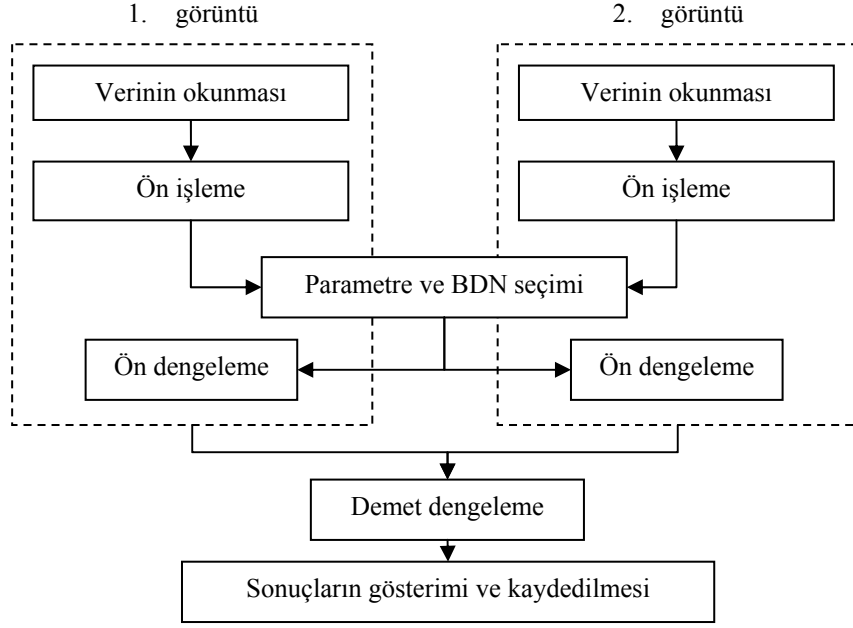
$$\begin{bmatrix} \underline{A}_1 & \cdots & \underline{0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{0} & \cdots & \underline{A}_m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{dP}_1 \\ \vdots \\ \underline{dP}_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{B}_1 & \cdots & \underline{0} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{0} & \cdots & \underline{B}_m \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \underline{v}_1 \\ \vdots \\ \underline{v}_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \underline{w}_1 \\ \vdots \\ \underline{w}_m \end{bmatrix} = \underline{0} \quad (23)$$

şeklini alır. Burada m toplam görüntü sayısını ifade etmektedir. Bağlama veya denetim noktalarının yer koordinatlarının yaklaşık değerleri en az iki görüntüye ait dış yöneltme parametreleri ve noktaların görüntü koordinatları yardımıyla hesaplanır.

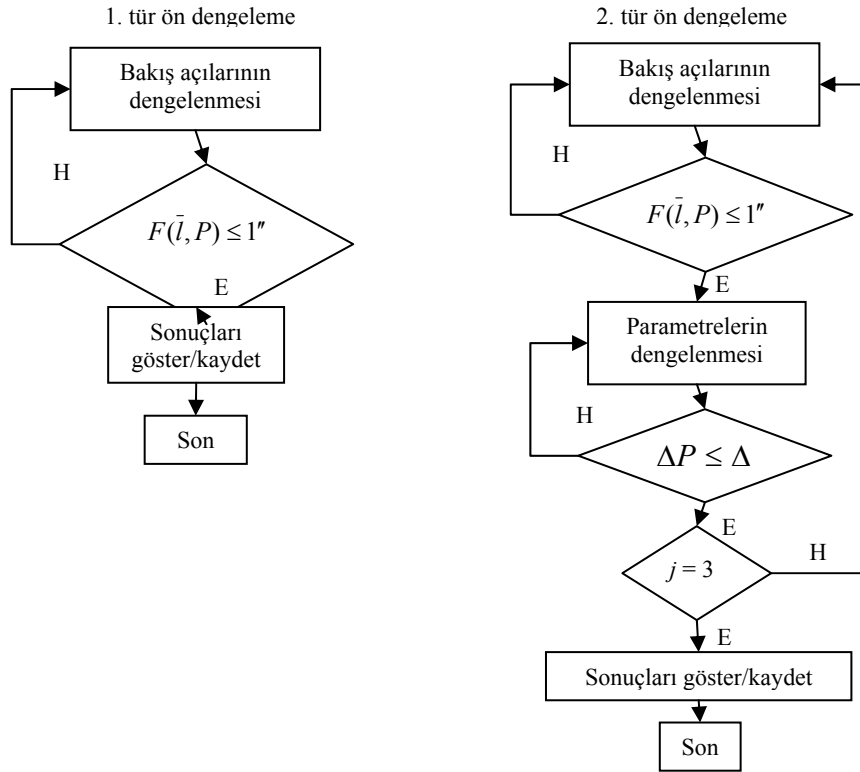
3. İŞLEM ADIMLARI

Yazılımın genel akış şeması Şekil 2'de gösterilmektedir. Öncelikle her iki görüntüye ait metadata dosyalardan alınan veriler okunmakta, veriler ön işlemeye tabi tutulmakta, her iki görüntü için ön dengeleme işlemi gerçekleştirilmektedir. Sonra ön dengelenmiş değerler yardımıyla demet dengeleme işlemi gerçekleştirilmektedir.

Yazılım, görüntülere ait verileri görüntülerin metadatalarından henüz doğrudan okuyamadığından, yazılımın okuyabileceği biçimde yeniden metadata dosyaları oluşturmak gerekmektedir. Ön işleme aşamasında yazılım, her bir noktanın satırına ait görüntüleme zamanını ve konum, hız ve durum açılarını ve bu değerlerden konum, hız ve durum açılarına ait 2° polinom katsayılarını hesaplar. Dengeleme işlemine tabi tutulacak parametreler ve hangi noktaların BDN olarak kullanılacağı tüm görüntüler için ortak olarak belirlenir. Kullanıcı, ön dengeleme türünü (birinci veya ikinci tür), döngü sayısını veya döngülerin sonlanması için gereken eşik değerleri belirleyebilir.



Şekil 2. Yazılımın genel akış şeması



Şekil 3. Ön dengelemenin akış şeması.

Ön dengeleme ile her görüntü için ayrı ayrı dengelenen bakış açıları ve dış yöneltme parametreleri demet dengelemeye tabi tutularak hem bunların demet dengelenmesi hem de noktaların (YKN ve BDN) yer koordinatlarının dengelenmiş değerlerinin hesaplanması sağlanır. Şekil 3'de iki tür ön dengelemeye ait akış şemaları gösterilmektedir. Döngünün ne zaman sonlandırılacağı bakış açıları ve parametreler için ayrı ayrı belirlenebilir. Eğer parametreler arası doğrusal bir bağımlılık varsa yazılım kullanıcıyı uyararak sonlanır. Noktaların, GPS gözlemleriyle ve demet dengelemeyle elde edilen koordinatları karşılaştırılır ve doğruluk değerleri metrik birimde hesaplanır. Bu karşılaştırma ile elde edilen yatay ve düşey koordinatlara ait hata vektörleri seçime bağlı olarak nokta türleri için farklı

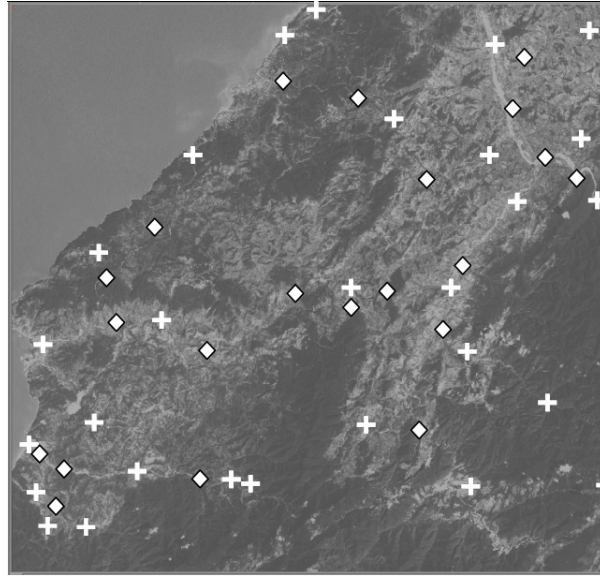
ölçeklerde çizdirilebilir. Böylece hata vektörlerinin sistematik bir yapıda olup olmadığı anlaşılabilir. Sonuçların istenen biçimde dosyaya yazdırılması da olasıdır. Ancak mevcut sürüm bu konuda henüz istenen düzeyde değildir.

4. ÖRNEK UYGULAMA

GeoSpot'un mevcut sürümü, sadece SPOT-5 HRG düzey 1A stereo görüntülerini değerlendirebilmektedir. Bu bölümde, SPOT-5 HRG görüntüleri için elde edilen değerlendirme sonuçlarından bazı örnekler sunulacaktır.

Görüntüler, çoğunluğu yüksek dağlarla kaplı Zonguldak ilinin büyük bir bölümünü ve Bartın, Bolu ve Karabük illeri ile Karadeniz'in bir bölümünü kapsamaktadır (Şekil 4). Görüntülerin koordinatlandırılmasında kullanılan pek çok matematik model düz alanlarda yüksek doğruluklu sonuçlar vermekteyken dağlık alanlarda durum farklıdır. Bu nedenle, yukarıda tanımlanan ve kısaca Zonguldak test alanı olarak adlandırılan alan, uydu görüntülerinin sağladığı konum bilgisinin belirlenmesinde büyük öneme sahiptir. Bu uygulamada noktalar arazide yatayda ve düşeyde uygun dağılacak şekilde seçilmişlerdir. Ancak bu seçimde noktalara ulaşım önemli bir etken olmuştur.

GeoSpot, görüntü üzerinde noktaların seçilmesine ve YKN veya BDN olarak kaydedilmesine henüz izin vermemektedir. Ancak şimdilik buna çok gereksinim de yoktur. Görüntünün uygun bir yazılımda açılarak noktaların görüntü koordinatlarının piksel biriminde kayıt edilmesi ve bir metin dosyasına noktayı tanıtan numarası ve yer koordinatları ile kaydı yeterlidir. Hangi noktanın YKN veya BDN olarak kabul edileceği bir metin dosyası ile yazılıma tanıtılır.



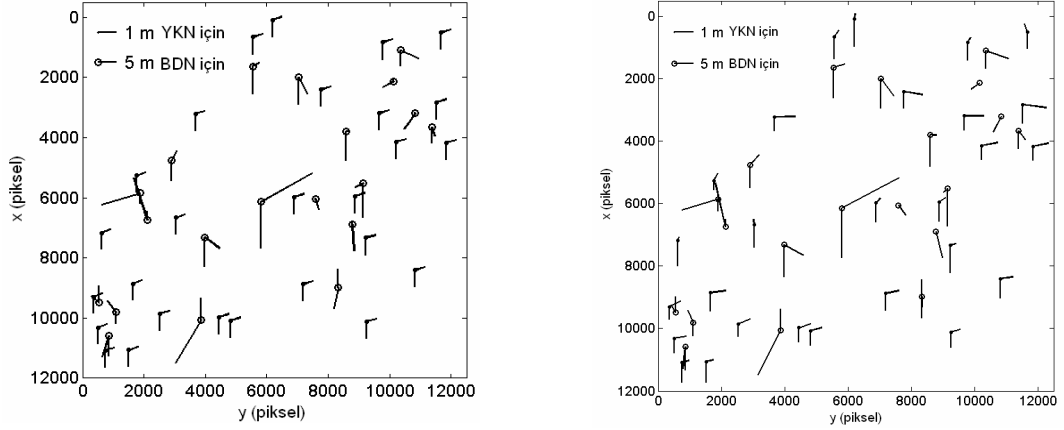
Şekil 4. Stereo görüntü çiftinin sol görüntüsü ve YKN/BDN dağılımına bir örnek (H-20)
(+: YKN, ◇ : BDN, #YKN: 27, #BDN: 20)

Tablo 1'de birinci tür ön dengelemeye ve demet dengelemeye göre elde edilen doğruluk değerleri sunulmaktadır. Ham bakış açıları kullanıldığında doğruluk ± 1000 m iken, ön dengelenmiş bakış açıları ile YKN'lerinde $< \pm 1$ m ve BDN'lerinde $\sim \pm 5$ m düzeyindedir. Bu durum, farklı dağılımda noktalar için de hemen hemen aynıdır (Topan, 2009).

Tablo 1. Ham ve dengelenmiş bakış açılarına göre doğruluk değerleri.

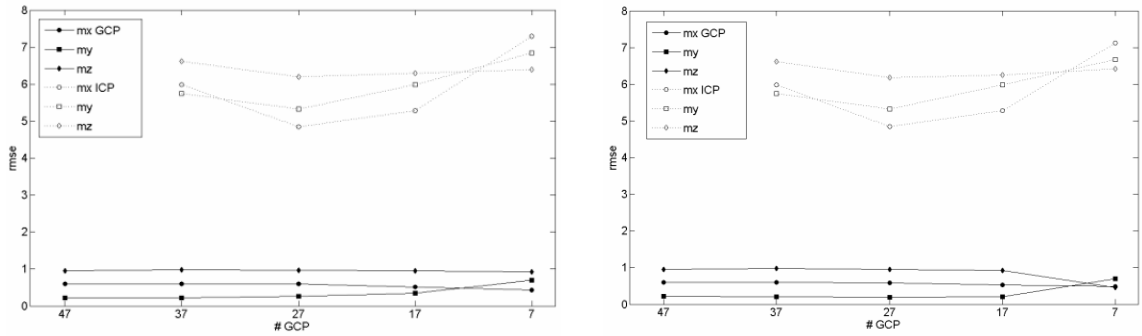
Nokta			L			\bar{L}			B		
Set	Tür	#	m_x	m_y	m_z	m_x	m_y	m_z	m_x	m_y	m_z
H-20	GCP	27	1230372.88	762579.15	1260424.05	0.515	0.169	0.928	0.620	0.220	0.970
	ICP	20	1229849.58	762525.70	1260857.50	4.782	5.335	5.943	4.827	5.310	6.174
L : ham bakış açısı, \bar{L} : ön dengelenmiş bakış açısı, B : demet dengeleme, koh (m) \pm m											

Ön ve demet dengelemeye göre elde edilen hata vektörleri grafik olarak gösterilebilir. Yazılım, YKN ve BDN'lerin farklı şekillerde ve hata vektörlerinin farklı ölçekte gösterimine olanak tanımaktadır. Şekil 5'de gösterilen H-20 nokta setine ait hata vektörleri incelendiğinde her iki dengeleme sonucuna göre elde edilen hata vektörlerinin büyüklüğünün ve yönünün hemen hemen aynı olduğu görülmektedir. Şekil 4'de köşegen doğrular yatay koordinatlardaki hatayı, yukarı-aşağı yöndeki doğrular ise dikey koordinatlardaki hatayı göstermektedir. Gösterimi yapılan hata vektörleri üç boyutlu olduğundan, arzu edilirse yazılım üç boyutlu bir koordinat sisteminde de hata vektörlerini gösterebilir. Ancak bu durumda vektörlerin görsel analizi zorlaşmaktadır. O nedenle yazılım grafik gösterimi Şekil 5'deki gibi iki boyutlu bir koordinat sisteminde yapmaktadır. Burada noktalar piksel koordinatlarıyla konumlandırılmış, metre biriminde olan hata vektörleri ise piksel birimine çevrilerek sunulmuştur.



Şekil 5. Ön dengeleme (sol) ve demet dengeleme (sağ) sonrası elde edilen hata vektörleri.

Dış yöneltme parametrelerinin doğrulukları üzerindeki etkisi incelendiğinde, doğruluğun bu parametrelere bağlı olmadığı görülmektedir. Örneğin Şekil 6'da uydu konumuna ait iki parametre setine göre doğruluğun değişimi gösterilmektedir. Bu değişimin parametreden bağımsız olduğu kolayca görülebilir.



Şekil 6. Uydu konumuna ait P_S ve P_{S_0} parametre setlerine göre doğruluk değerleri.

5. SONUÇ

Uzaktan algılama, teknolojik gelişmelere koşut olarak hızlı bir şekilde gelişen ve değişen veri olanakları ile pek çok uygulamaya hizmet etmektedir. Yer örnekleme aralığının küçülmesi ile görüntülerin konuma bağlı uygulamalarda daha çok kullanım olanağı bulunduğu görülmektedir. Bu uygulamalarda, genellikle ticari yazılımlar kullanılmaktadır. Düşündürücü olan ise bilimsel araştırmalarda da yazılımların kullanılmasındaki yaygınlıktır. Oysa bu yazılımların hangi matematik temele dayandığı gibi pek çok bilgidan yoksun olunması, elde edilen sonuçlara nelerin etki ettiğinin de

bilinmemesine neden olmaktadır. Bu durum, sadece ülkemiz için değil, diğer ülkeler için de geçerlidir. Dowman bu durumu şöyle ifade etmektedir: Şöyle bir tehlike var: insanlar, kurumlar ve organizasyonlar, nasıl elde edildiklerini anlamadan veya yanlış açıklayarak veri kullanıyorlar... ..ve en azından Birleşik Krallık perspektifinden bakıldığında şunu düşünmeye başladım: üniversiteye daha fazla genç gidiyor, fakat matematik ve bilim içeren çalışmaları tercih etmiyorlar (GIM, 2010).

GeoSpot, yukarıda özetlenen bu duruma bir çözüm olarak ortaya çıkmış olup şu özetlenen olanakları sunmaktadır:

- Doğrusal dizi görüntülerin parametrik bir model kullanılarak demet dengeleme ile görüntülerden konum bilgisi elde edilmesini sağlayabilen bir yazılımdır.
- Mevcut sürümü bir çift stereo SPOT-5 HRG düzey 1A görüntüsünü değerlendirmektedir.
- Matlab ortamında derlenmiştir.
- Matlab'ın sunduğu alt programlar dışında hesaplamada herhangi bir ek program kullanılmamaktadır.

Yazılımın eksikleri ise aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Sadece bir çift stereo SPOT-5 HRG düzey 1A görüntüsü için uygulanabilir.
- Kullanımı için Matlab yazılımına ihtiyaç duyulmaktadır.
- Grafik bir arayüzle kullanıcı dostu haline getirilmelidir.
- Sadece bir çift stereo görüntü kullanılmaktadır.
- Görüntülerin metadatasını doğrudan okumamaktadır.

İlerleyen süreçte bu eksiklerin ivedilikle giderilmesi amaçlanmaktadır. Tüm bu eksik yönlerine rağmen GeoSpot, ülkemizde geliştirilmiş alanında ilk ve tek yazılım olma özelliğindedir. Yurtiçi ve dışı araştırmacılar, GeoSpot ile uygulama ve yazılıma katkı yapmaya davetlidirler. Ümit edilmektedir ki bu yazılım, ülkemizde benzer yazılımların yazılmasına öncülük edecektir.

TEŞEKKÜR

Yazarlar, GeoSpot'un geliştirilmesindeki değerli katkılarından dolayı Dr. Orhan Kurt'a ve Prof.Dr. Filiz Sunar'a, arazi çalışmalarındaki yardımlarından dolayı Dr. M. Güven Koçak'a ve Murat Oruç'a, görüntülerin teminindeki katkılarından dolayı TÜBİTAK ve JULICH'e (Almanya) teşekkür eder.

KAYNAKLAR

- Fotev, S., Georgiev, and Nedkov, N.R.,** 2005, Viewing geometry model evaluation for spaceborne pushbroom imagery, *Proceedings of 2nd International Conference on Recent Advances in Space Technologies*, 9-11 June, Istanbul. pp. 540-544.
- GIM,** 2010, Prof. Ian DOWMAN ile röportaj: Need to Reach Out to Other Sciences, *GIM International*, 24(7).
- Kornus, W., Alamús, R., Ruiz, A., Talaya, J.,** 2006, DEM generation from SPOT-5 3-fold along track stereoscopic imagery using autocalibration, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* (60), 147-159.
- Latry, C., Rougé, B.,** 2003, Super resolution: quincunx sampling and fusion processing, *Proceedings of IEEE IGARSS*, 21-25 July, Toulouse, France.
- Orun, A. B.,** 1990, SPOT satellite imagery for topographic mapping, *Yüksek lisans tezi*, Department of Civil Engineering, Oxford Polytechnic, United Kingdom.
- Orun, A. B., Natarajan, K.,** 1994, A modified bundle adjustment software for SPOT imagery and photography: Tradeoff, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 60(12), 1431-1437.
- Riazanoff,** 2002, SPOT satellite geometry handbook, Reference S-NT-73-12-SI, Edition 1, Date 2002-01-15.
- Topan, H.,** 2004. Yörünge düzeltmeli IRS-1C/1D pankromatik mono görüntüsünün geometrik doğruluk ve bilgi içeriği açısından incelenmesi, *Yüksek lisans tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.
- Topan, H.,** 2009, Geometric analysis of high resolution space images using parametric approaches considering satellite orbital models, *Doktora tezi*, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Weser, T., Rottensteiner, F., Willneff, J., Fraser, C. S.,** 2007, A generic pushbroom sensor model for high-resolution satellite imagery applied to SPOT 5, QuickBird and ALOS data, *Proceedings of ISPRS Workshop "High Resolution Earth Imaging for Geospatial Information"*, 29 May-1 June, Hannover, Germany.
- Weser, T., Rottensteiner, F., Willneff, J., Poon, J., Fraser, C.,** 2008, Development and testing of a generic sensor model for pushbroom satellite imagery, *The Photogrammetric Record*, 23(123), 255-274.