

HAVADAN ALINAN DİJİTAL GÖRÜNTÜLERİN DOĞRUDAN YÖNELTİLMESİ VE ORTOREKTİFİKASYONU

A.C. Kiracı^a, M.O.Karshoğlu^b

^a Harita Genel Komutanlığı, Fotogrametri Dairesi, Dikimevi Ankara, Türkiye, alicoskun.kiraci@hgk.mil.tr

^b Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Jeodezi ve Coğrafi Bilgi Teknolojileri Bölümü, mokarslioglu@metu.edu.tr

ANAHTAR KELİMELER: Doğrudan yöneltme, GPS/INS, orto-görüntü, ortorektifikasyon, rektifikasyon

ÖZET:

GPS/INS sistemlerinin fotogrametri ve uzaktan algılamada kullanımı hızla artmaktadır. GPS/INS, stereo model oluşturulmasında ve rektifikasyonda havai nirengi gereksinimi için esneklik getirmektedir. Resim orta noktasının koordinatları GPS ile belirlenmektedir. Dış yöneltme elemanları ($X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa$), blok köşelerinde 4 adet yer kontrol noktası ve bindirme alanlarında homojen dağılmış bağlama noktaları kullanılarak fotogrametrik nirengi işlemi ve ışın demetleri ile blok dengeleme yapılarak belirlenmektedir. Yer kontrol nokta sayısının azaltılması, fotogrametrik çalışmaların temel amaçları arasındadır. INS (Inertial Navigation System) ve DGPS (Differential Global Positioning System)'in birlikte kullanılmasıyla oluşturulan GPS/INS sistemi kullanılarak uçuş sırasında gerçekleştirilen ölçümler sonucunda dış yöneltme elemanları doğrudan hesaplanarak elde edilebilmektedir. Dolayısıyla; resimlerin yöneltilmesi için gerekli olan iç ve dış yöneltme bilinmeyenlerinin tamamı uçuş sırasında doğrudan elde edilebilmekte ve yer kontrol noktasına (YKN) teorik olarak ihtiyaç kalmamaktadır. Bu çalışmada, Karshoğlu ve Friedrich tarafından oluşturulan bir diferensiyel yataylama algoritması, UltracamX Vexcel sayısal hava kamerası görüntülerine uygulanmıştır. Diferensiyel yataylama (ortorektifikasyon), bir görüntünün piksel bazında ortogonal projeksiyona transformasyonudur. Bunun için doğrudan ve dolaylı olmak üzere iki çeşit yaklaşım bulunmaktadır. Dolaylı yaklaşımda elipsoid üzerine görüntü sınırları açılmakta ve referans elipsoid üzerindeki piksel konumunun kaynak görüntü üzerinde nereye karşılık geldiği hesaplanmaktadır. Bu çalışmada ise doğrudan yaklaşım kullanılmıştır. Diferensiyel yataylama metodu görüntü üzerindeki piksel konumu ve bunlara karşılık gelen yeryüzündeki konumları arasındaki kolinearite eşitliklerine dayanmaktadır. Bu algoritma ile her bir görüntü pikseli GPS/IMU değerleri kullanılarak doğrudan referans elipsoid üzerine izdüşürülmektedir. Daha sonra her piksel için elipsoid üzerinde azimut ve zenit açıları hesaplanmakta ve sayısal yükseklik modeli üzerinde karşılık gelen yükseklik değeri kullanılarak referans elipsoidi üzerindeki kayıklığı belirlenmektedir. Bu işlem önceden belirlenen eşik değeri göz önünde bulundurularak iteratif olarak tekrar edilir. Daha sonra bütün piksellere ait coğrafi koordinatlar, UTM koordinatlara dönüştürülür. Bu aşamadan sonra da görüntü haritası oluşturulmaktadır. Çünkü elde edilen UTM koordinatlar düzenli aralıklarda değildir. Bu kapsamda, diferensiyel yataylanmış görüntüyü elde edebilmek için yeniden örnekleme yapılır. Bunun için Matlab yazılımı ile havadan alınan çerçeve kamera görüntüleri için bu diferensiyel yataylama algoritması programlanmıştır. Bu program, GPS/INS entegrasyonu sonucunda elde edilen dış yöneltme parametreleri ile oluşturulmuş orto-görüntüler kullanılarak test edilmiştir. Orto-görüntüler üzerinde 24 adet Yer Kontrol Noktalarının yatay koordinatları ölçülmüş ve diğer rektifikasyon yöntemleri ile karesel ortalama hataları (KOH) ve ortalama hatalarına göre karşılaştırılmıştır. Ayrıca Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) nin orto - rektifikasyondaki etkisini belirlemek için farklı sayısal yükseklik modeli verileri kullanılarak ortofotolar oluşturulmuş ve bu ortofotolar üzerinde yer kontrol noktalarının yatay koordinatları ölçülüp ve karesel ortalama hataları hesaplanmıştır. Çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, kullanılan diferensiyel yataylama metodu klasik yataylama metodlarına göre daha doğru olduğu, çünkü yükseklik farkından kaynaklanan rölyef kaymanın giderildiği ve GPS/IMU sonuçlarının diferensiyel yataylama için kullanılacağı değerlendirilmektedir. Ayrıca yükseklik modelinin doğruluğunun diferensiyel yataylanmış görüntü üzerinde doğrudan etkisi olduğu vurgulanmıştır.

1. GİRİŞ

GPS/INS, stereo model oluşturulmasında ve rektifikasyonda havai nirengi gereksinimi için esneklik getirmekte ve fotogrametrik işlemlerin hızlı bir şekilde gerçekleştirilmesi mümkün olmaktadır. Hava fotoğrafları ve uydu görüntülerindeki detaylar kamera eğikliği ve yükseklik farkları nedeniyle doğru konumlarını göstermezler. Bunun için resim eğikliğinin ve yükseklik farklarından kaynaklanan hataların giderilmesi gerekmektedir. Bu çalışmada, görüntü yataylama teknikleri incelenmiş ve Matlab yazılımı ile havadan alınan çerçeve kamera görüntüleri için bir diferensiyel rektifikasyon algoritması programlanmıştır. Bu program, GPS/INS entegrasyonu ile elde edilen dış yöneltme

parametreleri kullanılarak orto-görüntüler oluşturulup test edilmiştir. Orto-görüntüler üzerinde Yer Kontrol Noktaları ölçülmüş ve diğer rektifikasyon yöntemleri ile karesel ortalama hataları (KOH) ve ortalama hatalarına göre karşılaştırılmıştır.

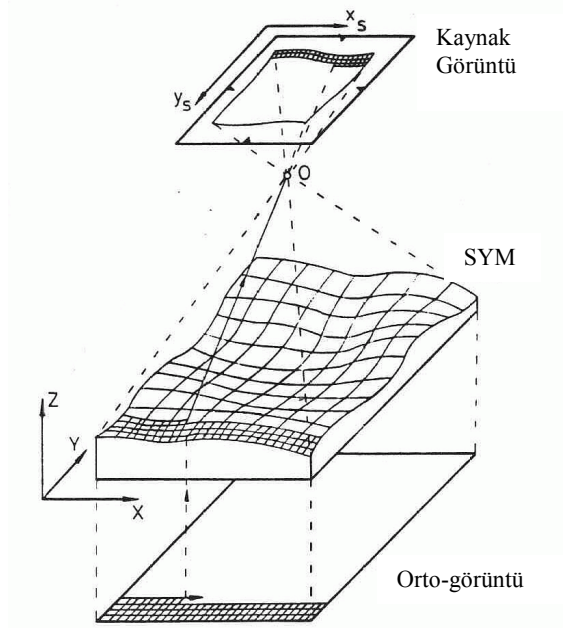
Bunun yanında, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) nin orto-rektifikasyondaki etkisini belirlemek için farklı SYM verileri kullanılmış ve sonuçlar karşılaştırılmıştır.

2. DİFERENSİYEL YATAYLAMA

Diferensiyel yataylama, kaynak görüntünün ortogonal bir projeksiyona piksel bazında transformasyonudur. Görüntüdeki pikseller ve yeryüzü üzerinde karşılık geldiği konumlar arasındaki ilişki iki yaklaşımla belirlenebilir:

- Doğrudan yaklaşım (kaynak görüntüden yataylanmış görüntüye)
- Dolaylı yaklaşım (yataylanmış görüntüden kaynak görüntüye)

Doğrudan yaklaşımda kaynak görüntüdeki piksel koordinatları kullanılarak izdüşüm denklemleri ile yeryüzünde karşılık geldiği koordinatlar hesaplanır ve yeniden örnekleme ile yataylanmış görüntü elde edilir. Dolaylı yaklaşımda ise yataylanmış görüntünün sınırları belirlenir ve bir grid ağı oluşturulur. Belirlenen grid ağındaki koordinatlara karşılık gelen kaynak görüntüdeki pikseller ters dönüşüm ile belirlenir. Bu çalışmada doğrudan yaklaşım kullanılarak bir diferensiyel yataylama metodu programlanmıştır.



Şekil 1. Diferensiyel Yataylama

2.1 Hava Kameraları İçin Diferensiyel Yataylama Algoritması

Diferensiyel yataylama algoritması piksel konumları ve bunlara ait yeryüzündeki konumlar arasındaki ilişkiyi belirleyen kolinearite eşitliklerine dayanmaktadır. Bu algoritmada iç yönelme elemanları ve her bir piksel için elde edilen üç boyutlu görüntü vektörü (yön vektörü) dış yönelme elemanları kullanılarak referans elipsoidi üzerine izdüşürülür, sayısal yükseklik modeli kullanılarak elipsoid üzerindeki yeni konumu hesaplanır ve yeniden örnekleme ile diferensiyel yataylanmış görüntü elde

edilir. Algoritmanın işlem adımları Şekil 2'de gösterilmiştir.

2.1.1 Görüntü Koordinatlarından Resim ve Kamera Koordinatlarına Transformasyon

Diferensiyel yataylama algoritması resim koordinatlarının görüntü koordinatlarına dönüştürülmesi ile başlamaktadır.

$$x'' = (x' - (w/2)) * c - \Delta x$$

$$y'' = (y' - (h/2)) * c - \Delta y$$

x'' ve y'' , dijital görüntü üzerindeki kartezyen koordinatlar (piksel),
 w ve h , görüntünün eni ve boyu (piksel),
 Δx , Δy , resim orta noktası koordinatları,
 c , resim ölçeği.

Elde edilen koordinatlar doğru konumlarında değildir. Bunun için lens distorsiyon hatalarının giderilmesi gerekmektedir. Bunun için polinomial bir denklem kullanılmaktadır.

$$x = x' * (1 - k_1 * r^2 - k_2 * r^4 - 2 * p_1 * x' - 2 * p_2 * y' - \frac{p_1 * r^2}{x'})$$

$$y = y' * (1 - k_1 * r^2 - k_2 * r^4 - 2 * p_2 * y' - 2 * p_1 * x' - \frac{p_2 * r^2}{y'})$$

$$z = -f$$

$$r = \sqrt{x'^2 + y'^2}$$

r , ilgili pikselin resim orta noktasından olan mesafesi (mm)

x' , y' kamera koordinatları

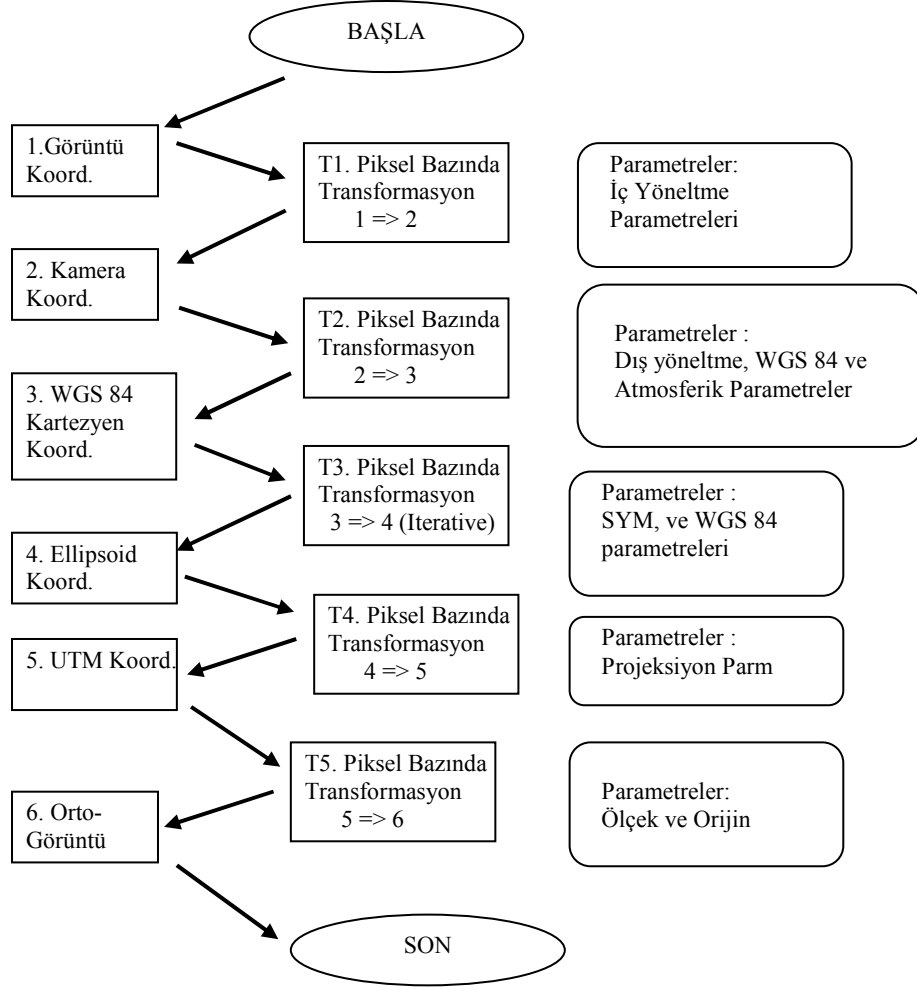
k_1 , k_2 , p_1 ve p_2 radyal lens distorsiyon parametreleri,

f odak uzaklığı.

Bu aşamadan sonra, her bir piksel için elde edilmiş resim koordinatları kullanılarak yön vektörü elde edilir.

$$\vec{D} = [x, y, z] / \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

\vec{D} kamera koordinat sisteminde elde edilen yön vektörü.



Şekil 2. Diferensiyel Yataylama Algoritması

2.1.2 Kamera Koordinat Sisteminden Yerel Koordinat Sistemine Transformasyon

Kamera Koordinat Sistemi IMU koordinat sistemine dönüştürülmelidir. Öncelikle kamera koordinat sistemi X ekseninde 180 derece, Z ekseninde 90 derece döndürülür.

$${}^B D = R_3(-90^\circ) R_1(180^\circ) {}^C D$$

R, rotasyon matrisi.

IMU ile elde edilen açılar (roll, pitch, yaw), Yerel Coğrafi Koordinat Sistemindedir. Bu yüzden yön vektörü Yerel Coğrafi Koordinat Sistemine dönüştürülür.

$${}^L D = R_B {}^B D$$

$$R_B^L = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\Phi & \sin\Phi \\ 0 & -\sin\Phi & \cos\Phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\theta_y & 0 & -\sin\theta_y \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin\theta_y & 0 & \cos\theta_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\Psi & \sin\Psi & 0 \\ -\sin\Psi & \cos\Psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

2.1.3 Kesişim Noktasının Hesaplanması

Bu aşamada Yerel Koordinat Sisteminde olan yön vektörü referans elipsoidi üzerine izdüşürülür ve kesişim noktasının koordinatları kartezyen koordinat sisteminde hesaplanır.

Öncelikle yön vektörünün, yerel koordinat sisteminden ECEF (Earth Fixed Reference Frame) koordinat sistemine transformasyonu gerçekleştirilir.

$${}^E D = R_L {}^L D$$

$$R_L = R_3(-\lambda_A) R_2(\varphi_A - 90) R_3(-90)$$

$$R_L = \begin{bmatrix} -\sin\lambda_A & -\sin\varphi_A \cos\lambda_A & \cos\varphi_A \cos\lambda_A \\ \cos\lambda_A & -\sin\varphi_A \sin\lambda_A & \cos\varphi_A \sin\lambda_A \\ 0 & \cos\varphi_A & \sin\varphi_A \end{bmatrix}$$

${}^E D$ ECEF koordinat sisteminde yön vektörüdür.

Bu aşamada yön vektörü ECEF koordinat sisteminde elde edilmiştir. Bu haliyle yön vektörü, CCD dizisinden çıkıp kamera odak noktasından geçmekte ve referans elipsoidini (WGS84) kesmektedir. Bu kesişim noktasının hesaplanması gerekmektedir. Kamera odak noktasının koordinatları ECEF koordinat sisteminde bilinmektedir. Buradan kesişim noktasının koordinatları elde edilebilir (Bettemir H.,2006).

$$\begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{cam} \\ Y_{cam} \\ Z_{cam} \end{bmatrix} + s * \begin{bmatrix} D_x^E \\ D_y^E \\ D_z^E \end{bmatrix}$$

X_0, Y_0, Z_0 kesişim noktasının kartezyen koordinatları (ECEF).

$X_{cam}, Y_{cam}, Z_{cam}$ kamera koordinatları (ECEF),

s , kamera ve elipsoid üzerindeki kesişim noktası arasındaki mesafe,

D_x^E, D_y^E, D_z^E yön vektörünün bileşenleri (ECEF).

$$\left[\frac{D_x^E + D_y^E}{a^2} + \frac{D_z^E}{b^2} \right] * s^2 + 2 * \left[\frac{D_x^E * X_{cam} + D_y^E * Y_{cam} + D_z^E * Z_{cam}}{a^2} + \frac{D_z^E * Z_{cam}}{b^2} \right] * s + \frac{X_{cam}^2 + Y_{cam}^2}{a^2} + \frac{Z_{cam}^2}{b^2} - 1 = 0$$

$$s_{1,2} = \frac{-\beta \pm \sqrt{\beta^2 - 4\alpha\gamma}}{2\alpha}$$

$$\alpha = \frac{D_x^E + D_y^E}{a^2} + \frac{D_z^E}{b^2}$$

$$\beta = 2 * \left(\frac{D_x^E * X_{cam} + D_y^E * Y_{cam}}{a^2} + \frac{D_z^E * Z_{cam}}{b^2} \right)$$

$$\gamma = \frac{X_{cam}^2 + Y_{cam}^2}{a^2} + \frac{Z_{cam}^2}{b^2} - 1$$

2.1.4 Atmosferik Refraksiyon Düzeltmesi

Işık ışınları atmosferden geçiş esnasında düz bir yol izlemezler ve kırılmaya uğrarlar. Bunun için koordinatlara refraksiyon düzeltmesinin de getirilmesi gerekmektedir. Bu düzeltme, yön vektörünün zenit açısı ile gerçekleştirilir. Bu yüzden ECEF koordinat sisteminden, yerel koordinat sistemine dönüşüm gerekmektedir (Bettemir H.,2006).

N yansıtma oranı,

$$\frac{\partial N}{\partial h} = -78 \frac{P}{T^2} \left(0.034 + \frac{\partial T}{\partial h} \right) - \frac{11}{T} \frac{\partial e}{\partial h}$$

h ortalama deniz seviyesinden olan yükseklik,

p atmosferik basınç (hPa),

T atmosfer sıcaklığı (Kelvin),

e su buharı basıncı (hPa).

2.1.5 ECEF – Yerel Koordinat Sistemi Dönüşümü

ECEF koordinat sisteminden yerel koordinat sistemine dönüşüm aşağıdaki formülle gerçekleştirilebilir (Bettemir H.,2006).

$$\begin{bmatrix} L \\ D \end{bmatrix} = \mathbf{R}_E \begin{bmatrix} E \\ D \end{bmatrix}$$

Matris formu:

$$\begin{bmatrix} D_x^L \\ D_y^L \\ D_z^L \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\sin \phi \cos \lambda & -\sin \phi \sin \lambda & \cos \phi \\ -\sin \lambda & \cos \lambda & 0 \\ \cos \phi \cos \lambda & \cos \phi \sin \lambda & \sin \phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} D_x^E \\ D_y^E \\ D_z^E \end{bmatrix}$$

Yerel koordinat sistemindeki yön vektörüne ait azimut ve zenit açısı aşağıdaki formülle hesaplanabilir:

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{D_y^L}{D_x^L} \right)$$

$$z = \tan^{-1} \left(\frac{\sqrt{D_x^L + D_y^L}}{D_z^L} \right)$$

α azimut açısı,

z , zenit açısı.

2.2 Rölyef Kayma Düzeltmesi

Kesişim noktası tam olarak WGS84 elipsoidi üzerindedir. Dolayısıyla elipsoid yüksekliği sıfırdır. Yükseklik farklarından kaynaklanan rölyef kayma görüntü üzerindeki piksellerin konumunu değiştirir. Rölyef kaymanın giderilebilmesi için arazi üzerindeki noktaların yüksekliklerinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun için sayısal yükseklik modeli kullanılabilir. Önce sayısal yükseklik modelinden, kesişim noktasına karşılık gelen yükseklik belirlenir. Elipsoid üzerindeki kayıklık miktarı, elde edilen yükseklik farkından hesaplanır ve yeni konuma karşılık gelen yükseklik tekrar belirlenir ve bir önceki yükseklik arasındaki fark belirlenen eşik değerinin altında kalana kadar bu işlem iteratif olarak tekrar edilir. Bu algoritma Şekil 3’de gösterilmiştir. Yön vektörünün elipsoid üzerindeki kesişim noktası P_0 olarak gösterilmiştir. Bu noktanın coğrafi koordinatları ile SYM üzerinden yüksekliği belirlenir. Azimut, zenit açıları ve elipsoid parametreleri kullanılarak kesişim noktasının koordinatları düzeltilir.

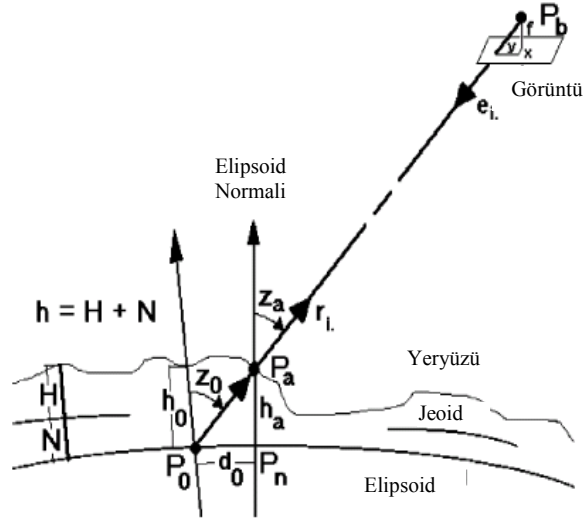
$$\Delta h_n = h_n(\lambda_{n-1}, \phi_{n-1}) - h_{n-1}(\lambda_{n-1}, \phi_{n-1})$$

$$d_n = \Delta h_n \tan(z)$$

$$\lambda_n = \lambda_{n-1} + d_n \sin(\alpha) * \left(\frac{V}{c} \right)_{n-1} \left(\frac{1}{\cos(\phi_{n-1})} \right)$$

$$\phi_n = \phi_{n-1} + d_n \cos(\alpha_{n-1}) * \left(\frac{V^3}{c} \right)_{n-1}$$

$$c = \frac{a^2}{b}, \quad V_n = \sqrt{1 - \frac{a^2 - b^2}{b^2} \cos^2(\phi_0)_n}$$



Şekil 3. Rölyef Kayma Düzeltmesi (Karşılıklı M.O., Jurgén F.,2005)

2.3 Yeniden Örnekleme

Rölyef kaymanın düzeltilmesinden sonra kaynak görüntü piksellerinin coğrafi koordinatları elde edilmiştir. Bu aşamadan sonra UTM koordinatlara transformasyon yapılmalıdır. Elde edilen UTM koordinatları düzenli aralıklarda olmayacaktır. Orto görüntünün oluşturulması için, UTM koordinatları düzenli aralıklarla grid oluşturulmalı ve bu koordinatlarla karşılık gelen piksellerin renk değerlerinden yeniden örnekleme yapılmalıdır. Dijital görüntülerin yeniden örneklenmesi için birçok teknik bulunmaktadır. Ancak bu uygulamada bilineer enterpolasyon kullanılmıştır.

3. ALGORİTMA UYGULAMASI VE TEST SONUÇLARI

Söz konusu algoritmanın test edilmesi amacıyla Matlab yazılımı kullanılarak algoritma programlandı. Uygulamada dış yöneltme parametreleri doğrudan yöneltme olarak GPS/IMU değerleri kullanılmıştır. Yükseklik farklarının giderilmesi amacıyla 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritaların 10 metre aralıklı eş yükseklik eğrilerinden elde edilen YUKPAF dosyası kullanılmıştır. Elde edilen orto-görüntüler üzerinde 24 adet yer kontrol noktasının yatay koordinatları ölçülmüş, dengelenmiş koordinatlarla olan farkları alınmış ve Karesel Ortalama Hataları hesaplanmıştır. Ayrıca aynı veriler kullanılarak dolaylı metot ile diferensiyel yataylama yapan yazılımlar ile uygulama yapılmış ve karşılaştırılmıştır (Tablo 1.).

| METOD | KARESEL ORTALAMA HATA (KOH) | | ORTALAMA HATA | |
|----------|-----------------------------|--------|---------------|--------|
| | DX (m) | DY (m) | DX (m) | DY (m) |
| Doğrudan | 1,303 | 2,557 | 1,128 | 2,148 |
| Dolaylı | 0,981 | 0,980 | 0,812 | 0,734 |

Tablo 1. Dorudan ve Dolaylı metot sonuçları.

Diferensiyel yataylamanın diğer yataylama metotları ile olan farkının ortaya konması için 2nci ve 3ncü derece polinomial metot kullanılarak Erdas Imagine yazılımı ile görüntüler yataylanmıştır. Sonuçlar Tablo 2'de gösterilmiştir.

| Polinom Derecesi | KARESEL ORTALAMA HATA (KOH) | | ORTALAMA HATA | |
|------------------|-----------------------------|--------|---------------|--------|
| | DX (m) | DY (m) | DX (m) | DY (m) |
| 2nci | 4,763 | 19,671 | 3,129 | 9,812 |
| 3ncü | 4,622 | 13,960 | 3,631 | 8,427 |

Tablo 2. Polinom yöntemiyle yataylama sonuçları.

SYM hassasiyetinin diferensiyel yataylama üzerindeki etkisinin ortaya konması için Inpho OrthoMaster yazılımı ile 90 metre aralıklı SRTM, 10 metre aralıklı YUKPAF verileri ve dengelenmiş dış yöneltme parametreleri kullanılarak diferensiyel yataylama yapılmıştır ve sonuçlar Tablo 3'de gösterilmiştir.

| SYM | KARESEL ORTALAMA HATA (KOH) | | ORTALAMA HATA | |
|--------|-----------------------------|--------|---------------|--------|
| | DX (m) | DY (m) | DX (m) | DY (m) |
| YUKPAF | 0,436 | 0,823 | 0,320 | 0,514 |
| SRTM | 1,401 | 1,913 | 1,052 | 1,173 |

Tablo 3. Farklı SYM ile elde edilen sonuçlar.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, bir diferensiyel yataylama algoritması programlandı. Elde edilen yataylanmış görüntüler üzerinde yer kontrol noktaları ölçüldü ve hataları belirlendi. Diğer yataylama metotları ile karşılaştırma yapabilmek için Erdas Imagine ve OrthoMaster yazılımları ile aynı görüntüler yataylandı. Yapılan uygulama sonuçlarının karşılaştırmaları Tablo 4'de gösterilmiştir.

| UYGULAMA | KARESEL ORTALAMA HATA (KOH) | | ORTALAMA HATA | |
|------------------------------|-----------------------------|--------|---------------|--------|
| | DX (m) | DY (m) | DX (m) | DY (m) |
| Diferensiyel.Rek. (Doğrudan) | 1,303 | 2,557 | 1,128 | 2,148 |
| Diferensiyel.Rek. (Dolaylı) | 0,981 | 0,980 | 0,812 | 0,734 |
| Polinom, 2nci derece | 4,763 | 19,671 | 3,129 | 9,800 |
| Polinom, 3ncü derece | 4,622 | 13,960 | 3,631 | 8,427 |
| YUKPAF | 0,436 | 0,823 | 0,320 | 0,514 |
| SRTM | 1,401 | 1,913 | 1,052 | 1,173 |

Tablo 4. Karşılaştırma tablosu.

Doğrudan yöneltme ve diferensiyel yataylama sonuçlarının polinom yöntemi ile yataylama sonuçlarına göre daha doğru olduğu tespit edilmiştir. Polinom yönteminde özellikle yükseklik farklarının fazla olduğu yerlerde doğruluğunun oldukça azaldığı görülmüştür. Ayrıca yükseklik modelinin diferensiyel yataylama için oldukça önemli olduğu ve yükseklik doğruluğu ile diferensiyel yataylama doğruluğu arasında doğrusal bir ilişki olduğu vurgulanmıştır. Sonuç olarak uygulanan diferensiyel yataylama metodunun doğruluğunun oldukça yüksek olduğu ve kullanılabilir olduğu, bu uygulamaya boresight kalibrasyonunun da eklenmesinin uygun olacağı değerlendirilmektedir.

Kaynakça:

Kıracı A.C., “*Direct Georeferencing and Orthorectification of Airborne Digital Images*”, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Eylül 2008.

Karşlıoğlu M.O., Jürgen F. “*A New Differential Geometric Method to Rectify Digital Images of the Earth’s Surface Using Isothermal Coordinates*”, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. 43, No. 3, Mart 2005.

Bettemir Ö.H. “*Sensitivity And Error Analysis of A Differential Rectification Method For CCD Frame Cameras and Pushbroom Scanners*”, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Eylül 2006.

Manual of Photogrammetry Fifth Edition, (2004), American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Erdoğan M. “*Investigating The Effect Of Digital Elevation Model Accuracy On The Planimetric Accuracy Of Orthorectified Spot Imagery*”, Yüksek Lisans Tezi, ODTÜ, Eylül 2000.