

DİJİTAL HAVA FOTOĞRAFLARINDAN BİLGİSAYARLA GÖRME VE UZAY ÖNDEN KESTİRME İLE 3B BİLGİ ÇIKARIMI

S. ÖZDEMİR¹, F. KARSLI², H. ACAR², M. DİHKAN²

¹ Gümüşhane Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, Gümüşhane
samedozdemirr@gmail.com

² Karadeniz Teknik Üniversitesi, Mühendislik Mimarlık Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü,
Trabzon, fkarsli@gmail.com

Özet

Fotogrametride resim çiftlerinden obje koordinatlarının elde edilmesi, uzay önden kestirme yöntemi ve epipolar geometri yöntemi olmak üzere iki şekilde gerçekleştirilmektedir. Uzay önden kestirme yönteminde bilinen iç ve dış yöneltme parametreleri kullanılarak obje koordinatları hesaplanmaktadır. Ancak uzay önden kestirme yönteminde yüksek doğruluk elde edilebilmesi resim çiftine ait iç ve dış yöneltme parametrelerinin hassas bir biçimde bilinmesini gerektirmektedir. Günümüzdeki gelişmiş GPS ve IMU sistemleri dış yöneltme parametrelerini hassas olarak ölçebilmektedir. Bu sistemlerin mevcut olmadığı durumlarda yer kontrol noktaları kullanılarak dış yöneltme parametreleri elde edilebilmektedir. İkinci yöntem olan epipolar geometride ise resim çiftlerinin iç yöneltme parametreleri ve resim çiftlerinin rölatif konumları sadece resim çifti arasındaki eşlenik noktalar ile hesaplanmaktadır. Epipolar geometri temelde iki resim düzlemi merkezinin kesişimi ve bu iki merkez arasındaki doğrultunun ana eksen kabul edilmesi ile oluşan geometridir. Epipolar geometri matematiksel olarak Fundamental Matris ile ifade edilir. Fundamental Matris kalibre edilmemiş iki resim düzlemine ait rölatif yöneltme parametrelerini içeren matristir. Bilgisayarla görme alanındaki gelişmeler sayesinde 3B modellemeye kadar pek çok alanda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bu çalışmada otomatik olarak eşleştirilmiş noktaların uzay önden kestirme ve epipolar geometri yöntemleri ile elde edilmiş koordinatları karşılaştırılmıştır. Ayrıca uzay önden kestirme ve epipolar geometri yöntemlerinin performansı, doğruluğu ve en iyi sonucu almak için en uygun kullanım koşulları da belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Bilgisayarla Görme, Doğruluk, Fotogrametri, Karşılaştırma, Uzay Önden Kestirme

3D INFORMATION EXTRACTION FROM DIGITAL AERIAL IMAGES WITH COMPUTER VISION AND PHOTOGRAMMETRIC SPACE INTERSECTION

Abstract

In photogrammetry, acquiring object coordinates from stereo pairs accomplished by two methods. First method is space intersection in which object coordinates calculated by known interior and exterior parameters. Second method to solve this problem is epipolar geometry. Essentially epipolar geometry is intersection of two image planes centers and having the baseline as axis between planes. Epipolar geometry can be algebraically explained by fundamental matrix. Fundamental matrix contains all available information regarding relative orientation of uncalibrated two image planes. Due to developments in computer vision epipolar geometry widely used in applications ranging from 3D modeling to robotics. In this study, automatically matched object points coordinates calculated with space intersection and epipolar geometry methods and results from these methods compared. The aim

of this study is to determine space intersection and epipolar geometric methods performance, accuracy and suitable conditions to acquire satisfactory results.

Key words: *Computer Vision, Accuracy, Photogrammetry, Comparison, Space intersection*

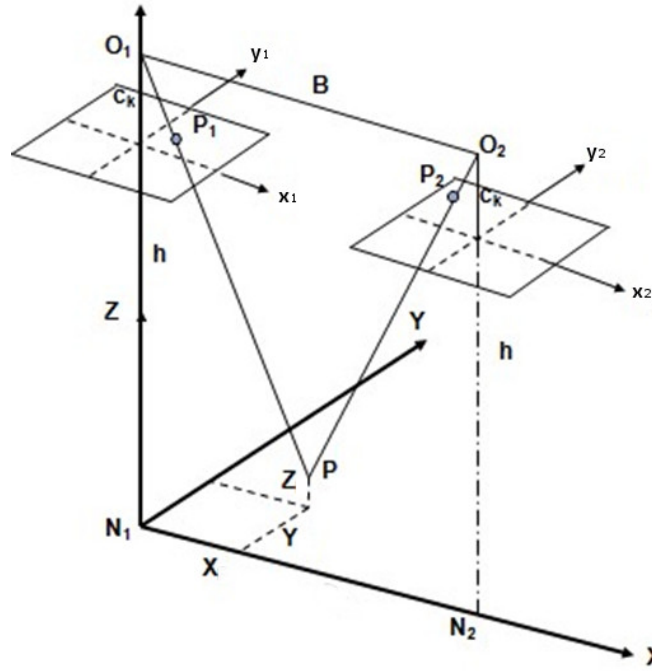
1. Giriş

Günümüzde Fotogrametri yaygın olarak 3B bilginin üretilmesinde kullanılmaktadır. Özellikle mühendislik uygulamalarından arkeolojik dokümantasyon çalışmalarına kadar pek çok alanda yaygınlaşan insansız hava araçları, gelişmiş DSLR kameralar 3B bilgi üretimi için gerekli olan veriye ulaşmayı kolaylaştırmış ve bu alanda pek çok ticari yazılım da üretilmiştir (Kolecka, 2011).

Objelerin 3B koordinatlarını hesaplayan bu yazılımlar yaygın olarak 2 yöntem kullanmaktadır. Bu yöntemlerden birincisi uzay önden kestirme ve ikincisi de epipolar geometridir. Uzay önden kestirme resimlerin iç ve dış yöneltme parametreleri ile objelerin 3B koordinatlarını hesaplayan ve fotogrametri alanında uzun yıllardan beri aktif olarak kullanılmakta olan bir yöntemdir. Epipolar geometri ise iç ve dış yöneltme parametrelerinin bilindiği ve ya bilinmediği durumda birinci resimdeki noktanın ikinci resimde takip edilerek objenin 3B koordinatını hesaplayan yöntemdir. Bu yöntem özellikle bilgisayarla görme alanında yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada uzay önden kestirme ve epipolar geometri teknikleri ile hesaplanan objelerin koordinatları karşılaştırılacaktır.

1.1. Uzay Önden Kestirme

Uzay önden kestirme yöntemi, bilinen iç ve dış yöneltme parametreleri ile fotoğrafların bindirmeli alanlarındaki noktaların X,Y ve Z koordinatlarının hesaplanmasında kullanılan yaygın bir tekniktir. Şekil 1'den görüldüğü üzere kamera merkezlerinden çıkan ışın sağ ve sol fotoğraflardaki p_1 ve p_2 noktalarından geçtikten sonra arazideki P noktasında birleşmelidir ve bu durumun gerçekleşmesi için her iki nokta için kollinearite şartı sağlanmalıdır.



Şekil 1. Uzak önden kestirme geometrisi (Tamas, 2010)

Kollinearite şartı (1) ve (2) denklemleri ile ifade edilir (Kraus, 2007). Burada x ve y resim koordinatlarını, x_0 ve y_0 asal nokta koordinatlarını, c asal uzaklığını (kamera sabiti), X , Y ve Z arazi koordinatlarını, X_0 , Y_0 ve Z_0 resim çekim merkezi koordinatlarını, M ise açılal yöneltme bilinmeyenlerini (ω , φ ve χ) içeren dönüklük matrisini ifade etmektedir.

$$x - x_0 = -c \frac{m_{11}(X-X_0) + m_{12}(Y-Y_0) - m_{13}(Z-Z_0)}{m_{31}(X-X_0) + m_{32}(Y-Y_0) - m_{33}(Z-Z_0)} \quad (1)$$

$$y - y_0 = -c \frac{m_{21}(X-X_0) + m_{22}(Y-Y_0) - m_{23}(Z-Z_0)}{m_{31}(X-X_0) + m_{32}(Y-Y_0) - m_{33}(Z-Z_0)} \quad (2)$$

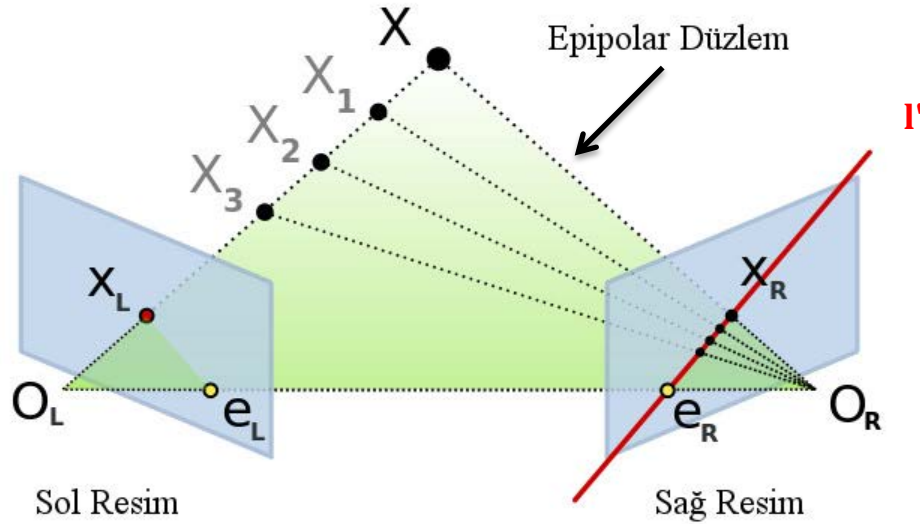
Bindirmeli alanda her iki fotoğraftan 3 kontrol noktası ve 6 bağlama noktası ölçüldüğü durumda 3 kontrol noktası için 12 ve 6 bağlama noktası için 24 kollinearite denklemi yazılacağından toplamda 36 adet denklem oluşturacaktır. Son olarak kollinearite şartı en küçük kareler dengelemesi ile çözülecektir (Kraus, 2007). En küçük kareler dengelemesi bilinmeyen parametrelere girilen ölçümlerin hatalarını minimize etme koşulunu kullanarak düzeltmeler getirir. Aşağıda en küçük kareler dengelemesinin denklemi verilmiştir (3). Burada X bilinmeyenler, A katsayılar matrisi (Dizayn matrisi) ve l ölçümlerdir.

$$X = (A^T A)^{-1} A^T l \quad (3)$$

En küçük kareler dengelemesi iteratif olarak çalıştırılarak hesaplanan koordinatlara düzeltme getirilir.

1.2. Epipolar Geometri

Şekil 2’de görüldüğü üzere epipolar geometri temelde iki resim düzlemi merkezinin kesişimi ve bu iki merkez arasındaki doğrultunun ana eksen kabul edilmesi ile oluşan geometridir. Bu durumda 3B X noktasının bir izdüşümü olan sol resimdeki bir x noktası varsa bu nokta diğer resimde de bulunabilir. Sol resimde kamera merkezinden, x ’ten geçerek ve X ’e uzanan ışının sağ resimdeki iz düşümü yani epipolar çizgidir. Sağ resimde X noktasının karşılığı l ’ çizgisi üzerinde olacaktır. Sağ resimde x ’ noktası l ’ üzerinde hareket ettirilerek en uygun korelasyon aranır. En yüksek korelasyona ulaşılan nokta yeni x ’ noktası olarak belirlenir (Şekil 2.) (Szeliski, 2011).



Şekil 2. Resim çiftinin Epipolar geometrisi (Moulon, 2015)

Epipolar geometri matematiksel olarak Fundamental Matris (Temel matris) ile ifade edilir. Fundamental Matris F (3×3) boyutlarında iki resim düzlemine ait iç ve dış yöneltme parametrelerini içeren matristir. İki noktanın birbiri ile olan ilişkisi Fundamental matris ile (4) formülü ile ifade edilir. Fundamental matris kamera matrislerinden (4) formülündeki gibi hesaplanır ki burada, x ve x' sırası ile sol ve sağ resimlerdeki X noktasının piksel koordinatları, K ve K' (3×4) sırası ile sol ve sağ kameraların iç yöneltme matrisleri, R (3×3) sağ kameranın rölatif dönüklük matrisi ve t (3×1) öteleme vektörü olarak ifade edilmiştir (Hartley, 2003).

$$x'^T F x = 0 \quad (4)$$

$$F = K'^{-T} R K^T [K R^T t]_x \quad (5)$$

Fundamental matris hesaplandıktan sonra, sol resimde belirlenen bir nokta için sağ resimde karşılık gelen bir epipolar çizgi hesaplanacaktır. Sağ resime izdüşürülen epipolar çizgi üzerinde en yüksek korelasyona sahip nokta bulunarak X noktasının sağ resimdeki konumu tespit edilir.

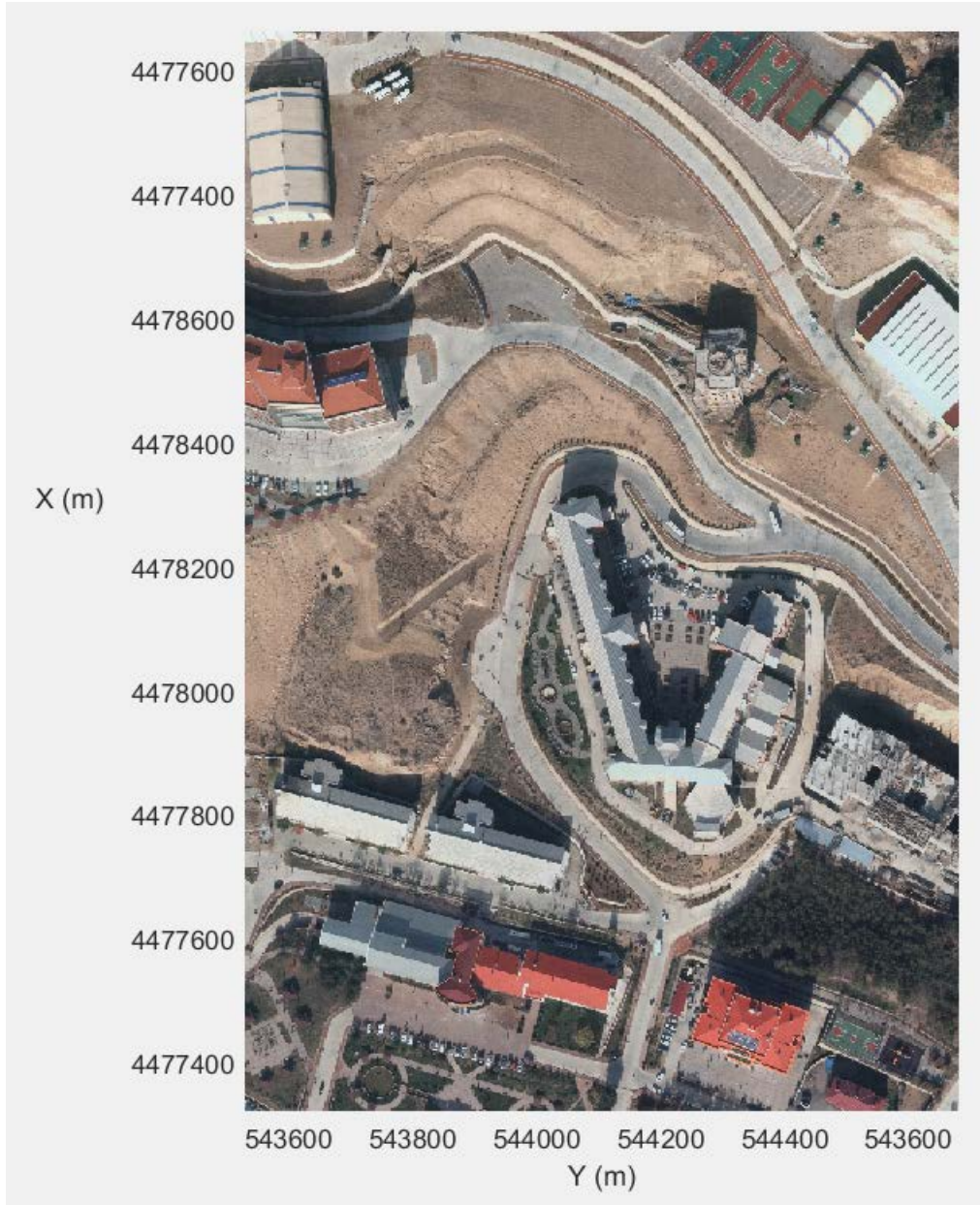
2. Uygulama

Uygulamada Gümüşhane Üniversitesi bölgesine ait dış yöneltme parametreleri bilinen 2 adet dijital hava fotoğrafı ve bu fotoğraflar içeriğinde mevcut 6 adet kontrol noktası kullanılmıştır (Şekil 3.). Fotoğrafların değerlendirilmesi, Matlab'da yazılan uzak önden kestirme ve Epipolar geometri fonksiyonları ile gerçekleştirilmiştir. Görüntülerin çekildiği kamera ve uçuş bilgileri Tablo 1'de sunulmaktadır.

Tablo 1. Kamera parametreleri ve uçuş yüksekliği

Görüntü boyutları (piksel)	9420×14430
Odak Uzaklığı	100.50 mm
Piksel Boyutları	7.2 x 7.2 μ
Asal Nokta Koordinatları	$x_0=0.1440$ mm $y_0=0.0000$ mm
Ortalama Uçuş Yüksekliği	1300 m

Uzak önden kestirme uygulamasında dış yöneltme parametreleri ve yer kontrol noktaları kullanılarak her iki resimde otomatik olarak üretilen 251 adet eşlenik noktanın koordinatları belirlenmiştir (Şekil 4). Epipolar geometri uygulamasında ise dış yöneltme bilgileri kullanılmadan nokta koordinatları lokal olarak hesaplanmış, ardından yer kontrol noktaları yardımı ile bu noktalar koordinat sistemi üzerine yerleştirilmiştir.



Şekil 3. Çalışma alanı (Gümüşhane Üniversitesi Kampüsü)

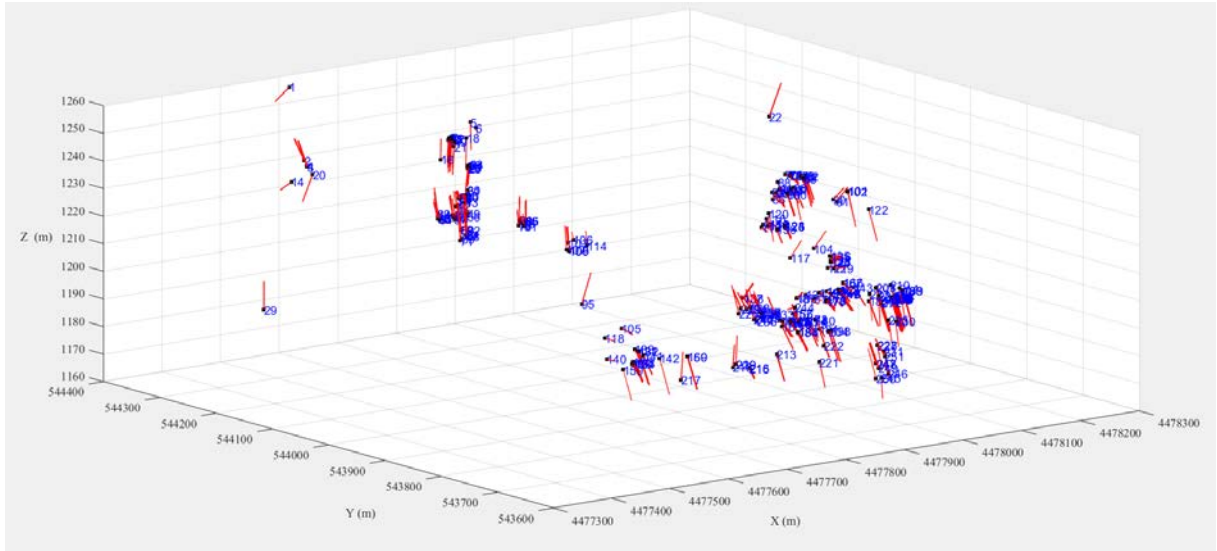


Şekil 4. Otomatik eşleştirme ile bulunan noktalar

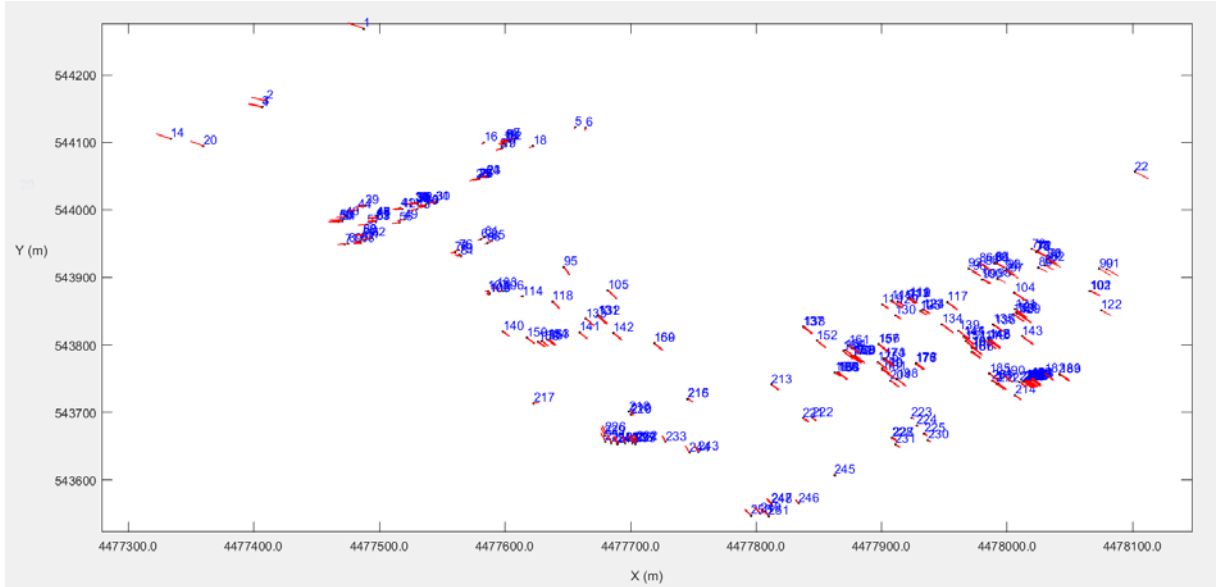
Her iki yöntem ile hesaplanan koordinatların karesel ortalama hatası Y yönünde 0.2908 m, X yönünde 0.2406 m ve Z yönünde 0.2968 m olarak hesaplanmıştır. Önden kestirme yöntemi referans alınarak hesaplanan hata vektörleri 3B olarak Şekil 6'da 2B ise Şekil 7'de gösterilmiştir. Tablo 2'de 251 nokta içerisinde seçilen 50 noktaya ilişkin epipolar geometri ve uzay önden kestirme yöntemleri ile hesaplanan koordinatlar ve hatalar görülmektedir. Y yönündeki maksimum hata 28 no'lu noktada, X yönündeki maksimum hata 1 no'lu noktada ve Z yönünde elde edilen maksimum hata 22 no'lu noktadadır.

Tablo 2. Epipolar geometri ve uzak önden kestirme yöntemleri ile hesaplanan koordinatlar.

	Epipolar Geometri			Uzak Önden Kestirme			ΔY (m)	ΔX (m)	ΔZ (m)
1	544369.107	4477586.952	1258.231	544368.726	4477587.535	1258.437	-0.381	0.583	0.206
2	544261.896	4477509.496	1240.974	544261.699	4477509.955	1240.664	-0.197	0.459	-0.309
3	544221.366	4477764.308	1245.830	544221.507	4477764.331	1245.936	0.141	0.023	0.107
4	544202.030	4477702.258	1244.907	544202.075	4477702.380	1245.279	0.045	0.122	0.372
5	544199.771	4477683.394	1238.800	544199.875	4477683.473	1238.503	0.104	0.079	-0.297
6	544189.829	4477696.376	1242.976	544189.893	4477696.532	1243.259	0.064	0.156	0.282
7	544145.795	4477679.983	1238.496	544145.860	4477680.185	1238.751	0.065	0.202	0.255
8	544111.905	4477644.924	1233.476	544111.958	4477645.159	1233.527	0.053	0.235	0.051
9	544109.780	4477628.774	1231.655	544109.841	4477629.022	1231.552	0.061	0.248	-0.103
10	544102.787	4477616.920	1229.629	544102.854	4477617.170	1229.401	0.067	0.250	-0.228
11	544089.865	4477573.370	1227.774	544089.897	4477573.677	1227.491	0.032	0.307	-0.283
12	544083.897	4477597.355	1227.560	544083.941	4477597.617	1227.288	0.044	0.262	-0.271
13	544081.433	4477615.585	1227.331	544081.492	4477615.815	1227.052	0.059	0.230	-0.279
14	544059.969	4477683.987	1224.917	544060.076	4477684.094	1224.581	0.107	0.107	-0.335
15	544051.412	4477686.048	1224.879	544051.502	4477686.156	1224.595	0.090	0.108	-0.284
16	544049.378	4477572.399	1222.089	544049.406	4477572.635	1221.591	0.028	0.236	-0.498
17	544040.107	4477663.299	1224.794	544040.153	4477663.440	1224.567	0.046	0.141	-0.227
18	544031.901	4477665.107	1224.683	544031.931	4477665.247	1224.497	0.030	0.140	-0.186
19	544020.564	4478078.421	1220.600	544020.889	4478078.141	1220.416	0.325	-0.280	-0.185
20	544011.989	4478179.258	1216.864	544012.380	4478178.894	1216.658	0.391	-0.364	-0.205
21	544008.210	4478073.061	1223.553	544008.469	4478072.819	1223.740	0.259	-0.242	0.187
22	543979.276	4478167.033	1222.166	543979.527	4478166.758	1222.663	0.251	-0.275	0.497
23	543979.299	4477698.539	1221.569	543979.266	4477698.639	1221.458	-0.033	0.100	-0.111
24	543968.510	4478021.951	1215.871	543968.772	4478021.739	1215.858	0.262	-0.212	-0.013
25	543963.699	4478013.134	1218.739	543963.910	4478012.955	1218.936	0.211	-0.179	0.198
26	543952.454	4478106.745	1198.527	543952.938	4478106.387	1198.464	0.484	-0.358	-0.063
27	543947.679	4478107.862	1200.895	543948.125	4478107.525	1200.816	0.446	-0.337	-0.078
28	543930.268	4478048.478	1191.948	543930.763	4478048.138	1192.066	0.495	-0.340	0.118
29	543928.447	4478090.408	1204.632	543928.801	4478090.135	1204.629	0.354	-0.273	-0.003
30	543917.995	4477759.800	1180.510	543918.356	4477759.574	1180.760	0.361	-0.226	0.251
31	543907.859	4478086.460	1192.409	543908.320	4478086.136	1192.631	0.461	-0.324	0.222
32	543904.911	4478067.553	1192.951	543905.350	4478067.247	1193.118	0.439	-0.306	0.166
33	543900.584	4477998.151	1188.519	543901.032	4477997.848	1188.716	0.448	-0.303	0.197
34	543898.914	4477974.234	1187.047	543899.363	4477973.930	1187.265	0.449	-0.304	0.218
35	543889.198	4478072.504	1197.973	543889.547	4478072.251	1198.095	0.349	-0.253	0.122
36	543883.141	4477976.890	1187.563	543883.548	4477976.610	1187.750	0.407	-0.280	0.187
37	543872.768	4478027.686	1193.808	543873.106	4478027.448	1193.916	0.338	-0.238	0.107
38	543859.917	4478003.654	1184.882	543860.318	4478003.381	1185.269	0.401	-0.273	0.387
39	543858.810	4477964.924	1198.060	543859.018	4477964.765	1197.980	0.208	-0.159	-0.081
40	543850.428	4478120.074	1192.596	543850.794	4478119.809	1193.046	0.366	-0.265	0.450
41	543847.672	4478114.928	1192.637	543848.029	4478114.671	1193.077	0.357	-0.257	0.441
42	543847.032	4478088.765	1197.785	543847.308	4478088.560	1198.109	0.276	-0.205	0.324
43	543845.644	4478114.068	1193.118	543845.990	4478113.817	1193.553	0.346	-0.251	0.435
44	543842.551	4478091.772	1192.087	543842.889	4478091.533	1192.480	0.338	-0.239	0.393
45	543819.331	4477845.649	1178.713	543819.502	4477845.485	1178.861	0.171	-0.164	0.148
46	543790.878	4477937.832	1179.226	543791.084	4477937.671	1179.577	0.206	-0.161	0.351
47	543770.606	4477779.850	1204.266	543770.207	4477779.946	1203.887	-0.399	0.096	-0.379
48	543752.399	4478011.103	1182.837	543752.572	4478010.970	1183.233	0.173	-0.133	0.396
49	543755.010	4477795.807	1201.959	543754.611	4477795.913	1201.542	-0.399	0.106	-0.417
50	543753.847	4477789.818	1202.828	543753.425	4477789.935	1202.433	-0.422	0.117	-0.395



Şekil 6. 3B Hata vektörleri



Şekil 7. 2B Hata vektörleri

3. Sonuç ve Öneriler

Resim çifti üzerinden obje koordinatlarının uzay önden kestirme yöntemi belirlenebilmesi için dış yöneltme parametreleri hassas olarak bilinmelidir. Ancak epipolar geometri yöntemi dış yöneltme parametrelerine ihtiyaç duymadan kameraların rölatif konumlarını ardından obje koordinatlarını hesaplamaktadır. Özellikle günümüzde yaygınlaşan İHA araçları ile yapılan uygulamalarda yetersiz dış yöneltme parametreleri ile obje koordinatlarının hesaplanmasında epipolar geometri yöntemi kullanışlı olmaktadır. Diğer yandan dış yöneltme parametrelerinin bilindiği durumda uzay önden kestirme yöntemi özellikle Z yönünde çok daha başarılı sonuçlar üretmiştir.

Kaynaklar

Kolecka N., (2011). Photo-Based 3d Scanning vs. Laser Scanning – Competitive Data Acquisition Methods for Digital Terrain Modelling of Steep Mountain Slopes, *ISPRS Commission VI, WG I/4, III/4, IV/2, VII/2*.

Hartley R., (2003). *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press, Cambridge

Kraus K.,(2007). *Fotogrametri Cilt 1*, Nobel Yayın Evi, İstanbul

Szeliski R., (2011). *Computer Vision: Algorithms and Applications*, Springer, London

Moulon P., (2015), Fundamental Matrix, <http://imagine.enpc.fr/~moulonp/openMVG/coreFeatures.html>

Tamas J., (2010), Data Acquisition and Integration5., http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0027_DAI5/ch01s02.html