

KİNEMATİK GPS DESTEKLİ FOTOGRAMETRİK NİRENGİ

Oktay AKSU

ÖZET

Fotogrametrik nirengi alanında son yıllarda ortaya çıkan iki önemli gelişme, rölatif kinematik GPS verileriyle kamera konumlama ve sayısal görüntüler ile otomatik fotogrametrik nirengi konusunda yapılan çalışmalardır.

Bu yazıda, fotogrametrik nirengi uygulamalarında kinematik GPS kullanımı ve bu amaçla Harita Genel Komutanlığı tarafından gerçekleştirilen test çalışmasına ilişkin bilgiler verilmektedir.

ABSTRACT

The most significant developments for applications of aerial triangulation are to use of kinematic GPS data in aerial triangulation and the improvements of automatic aerial triangulation using digital images in recent years.

in this paper, use of kinematic GPS in aerial triangulation and general information about a test project which was carried out by General Command of Mapping, are given.

1. GİRİŞ

Özellikle son beş yıl içerisinde, başta Avrupa ülkeleri olmak üzere bir çok ülkede, fotogrametrik nirengi yöntemiyle nokta belirleme çalışmalarında, kinematik GPS destekli uygulamalara yönelinmiştir. Bu amaçla hem teorik hem de deneysel test çalışmaları yapılarak, yöntemin fotogrametrik nirengide standart bir uygulama biçimi olabileceği ortaya konmuştur /6/.

Fotogrametrik alanda GPS kullanımı, üç alanda önemli etkiye sahiptir:

- a. GPS kontrollü uçuş navigasyonu,
- b. Yüksek incelikli kamera konumlama,
- c. Uçaklara takılı diğer algılayıcıların konumlanması.

Bu yazıda, yüksek incelikli rölatif kinematik kamera konumlama konusuna değinilmiştir.

2. KULLANIM KOŞULLARI

Rölatif kinematik kamera konumlama yönteminde en az iki GPS alıcısı kullanılır. Bunlardan birisi proje alanında veya 400-500 km kadar çevresinde, diğeri uçakta bulunur. Her iki alıcı da aynı anda GPS uydularından, 1 sn.den daha az bir aralıkta, taşıyıcı dalga faz ölçümleri (L1 ve L2) ile birlikte C/A kod ve/veya P kod uydu-alıcı uzaklıklarını (pseudorange) kaydederler.

Harita Genel Komutanlığında mevcut kinematik GPS veri işleme yazılımının (SKIP) Özellikleri de dikkate alındığında, uygulamada dikkat edilmesi gereken noktalar aşağıdaki biçimde özetlenebilir:

- a. Yerde ve uçakta kullanılan GPS alıcıları aynı tipte olmalıdır,
- b. Her iki alıcı da aynı zaman aralığında (örneğin, 0.5 sn. veya 1 sn. aralıkla) veri toplamalıdır,

c. Yerdeki alıcının proje alanı içerisinde ve koordinatı bilinen bir noktada olması gerekli değildir, ancak mümkün olduğunca yüksek gerilim hattından uzakta ve örtü yapacak detaylardan kaçınacak bir yerde olmalıdır.

d. Uçak ve yer istasyonları arasında veri toplama koordinasyonunu sağlamak için telsiz haberleşmesi sağlanmalıdır.

e. Uzun süreli uçuşlarda veri kaydının sürekliliğini sağlamak için uçakta dizüstü bilgisayar kullanımı sağlanmalıdır.

f. Resim alımı yapılmaksızın yalnızca deneme amaçlı olarak kameradan GPS alıcısına gönderilen sinyallerin sayısı ve resim alım anlarına göre sırası ayrıca kaydedilmelidir.

3. UYGULAMAYA YÖNELİK BAZI PROBLEMLER

a. Zaman Kayıklığı ve Uzaysal (Üç Boyutlu) Kayıklık

Rölatif kinematik GPS ile belirlenen uçaktaki GPS anteni konumları, GPS ölçüm anına ait olup, kamera pozlama anına enterpole edilmesi gerekir. Bu amaçla uygulanan yöntemlerden birisi, pozlama anında kameradan gönderilen sinyalin GPS alıcısı tarafından kaydedilmesi ve bu ana komşu iki konum (epok) arasında doğrusal enterpolasyon ile gerçek pozlama anının bulunmasıdır. SKIP yazılımı pozlama anını, komşu 4 epok ile yapılan polinomal enterpolasyonla belirlemektedir.

Diğer bir yaklaşımda da, GPS alıcısından kameraya pozlama anı sinyali gönderilmesi durumunda, pozlama anıyla GPS gözlem anını yaklaşık aynı tutacak şekilde uyumlandırmak söz konusudur. Bu yaklaşıklık 0.1m/sn. 'den daha iyi olduğu takdirde bir zaman enterpolasyonu gerekmebilir /2/.

Uçaktaki GPS anteni faz merkezini hedef alan konumların, antenden kameraya olan dışmerkezlik vektörü vasıtasıyla kamera izdüşüm merkezine indirgenmesi gerekir. Bizim çalışmamızda olduğu gibi pek çok durumda, bu vektör elemanları yerde jeodezik yöntemlerle ölçülüp, dengelemeye sabit düzeltmeler olarak sokulabilir.

b. Faz Belirsizliği (Phase Ambiguity)

Taşıyıcı dalga faz gözlemleri yalnızca bir devirdeki faz kayıklığını ölçer. Ölçüm başlangıcında, sinyalin uydudan herhangi bir yerdeki alıcıya kadar olan yol boyunca katettiği tam devir (cycle) sayısı bilinmeyendir.

Bu bilinmeyen çözüm için uygulanan yöntemlerden birisi, her iki GPS alıcısının da koordinatı bilinen noktalarda konuşlandırılmasıyla bir baz hattı oluşturması şeklindedir. Diğer bir yöntem de, bilinen bir istasyondaki alıcıdan, durağan haldeki uçağın bilinmeyen alıcı konumuna bir başlangıç bazı oluşturulmasıdır. Bu durağan kayıtların 10-15 dakika sürmesi yeterli görülmektedir /1/.

Başlangıç belirsizlik çözümünden sonra kinematik konumlama, uçuş hattı boyunca GPS anteninin bir kesinti ya da sinyal kaybı durumuna kadar, sinyalleri izlemesiyle devam eder. Bir kesinti olması halinde belirsizlik çözümü kaybolur ve yeniden oluşturulması gerekir. Bu amaçla kullanılan yöntemler, OTF (On The Fly) ve yaklaşık çözüm (approximate solution) olarak iki grupta ele alınmaktadır. Bunlardan OTF olarak adlandırılan yöntem, pseudorange çözümlere ve gerçek belirsizliğin sayısal olarak tespit edilmesine dayalı bir yöntemdir.

Kinematik GPS uygulamalarında günümüzde en çok tercih edilen yöntem, yaklaşık çözümdür. Bu yöntem, C/A kod pseudorange konumlamaya dayalı olup, içerdiği doğrusal sürüklenme hatalarının daha sonraki birleşik blok dengelemede düzeltilecek olması nedeniyle, geçici olarak kabul edilmesi biçiminde karakterize edilebilir. Yaklaşım, modellendirilmemiş diğer sistematik GPS hatalarının da düzeltileceğini hesaba kattığı için her hangi bir özel dikkat gerektirmez /1/.

Belirsizlik çözümü her bir kolon için, sinyal kesintisinin olup olmadığından bağımsız olarak, ayrı ayrı gerçekleştirilir. Bu durumda kolon dönüşlerindeki GPS kayıtlarının hem fotogrametrik nirengide hem de kamera konumlamada kullanılmasına ihtiyaç duyulmaz. Uygulamadaki kolon uçuşlarının çoğu 20 dakikayı geçmez. Bütün deneysel veriler, bu süre içerisindeki sürüklenme hatalarının genellikle doğrusal

olduğunu göstermektedir /2/, /4/,

Uygulamaya yönelik üstünlüklerinden birisi de, uçuştan önce hassas bir baz oluşturmaya gerek duyulmamasıdır. Proje alanına yaklaşırken GPS alıcısını açmak yeterlidir.

Referans alıcının iş bölgesinde 500 km uzakta olması da alınacak sonuçlarda önemli bir etki yapmamaktadır /3/.

c. Datum Dönüşümü ve Yer Kontrolü

GPS ile konumlama WGS 84 koordinat sistemini referans alırken fotogrametrik nirengi sonuçları, normal olarak ulusal yatay ve düşey referans sistemde istenir. Buradaki yaklaşım, aşağı yukarı blok köşelerinde 4 yer kontrol noktası kullanımı şeklindedir. Bu noktalar ulusal yatay ve düşey datumda olmalı ve hava fotoğraflarında ölçülmelidir.

Uygulamamızda, önce veri işlem aşamasında, programa (SKIP) WGS84-ED50 dönüşüm parametreleri girilerek başlangıç dönüşümü yapılmış, daha sonra fotogrametrik blok dengeleme aşamasında kullanılan yer kontrol noktaları yardımıyla kesin dönüşüm sağlanmıştır.

4. BİRLEŞİK BLOK DENGELEME

GPS ile fotogrametrik nirenginin temel kavramına göre, uçaktaki GPS anteni konumları, kamera pozlama anlarına enterpole edilir. Enterpole edilmiş GPS anten koordinatları blok dengelemeye, izdüşüm merkezi bilinmeyenlerine ilave gözlemler olarak sokulur /4/.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{AC} = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{PC} + R(\omega, \phi, \kappa) \begin{bmatrix} x_{PC}^{AC} \\ y_{PC}^{AC} \\ z_{PC}^{AC} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} a_x \\ a_y \\ a_z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} b_x \\ b_y \\ b_z \end{bmatrix} * dt$$

$$\begin{bmatrix} X & Y & Z \end{bmatrix}_{AC}^T = \text{GPS anten koordinatları}$$

$$\begin{bmatrix} X & Y & Z \end{bmatrix}_{PC}^T = \text{İzdüşüm merkezi koordinatları}$$

$$\begin{bmatrix} x_{PC}^{AC} & y_{PC}^{AC} & z_{PC}^{AC} \end{bmatrix} = \text{Anten dışmerkezlik vektörü}$$

$$R(\omega, \phi, \kappa) = \text{Ortogonal dönüklük matrisi}$$

$$\begin{bmatrix} a_x & a_y & a_z \end{bmatrix} = \text{GPS sürüklenme parametreleri (sabit terimler)}$$

$$\begin{bmatrix} b_x & b_y & b_z \end{bmatrix} = \text{GPS sürüklenme parametreleri (doğrusal terimler)}$$

dt = Zaman aralığı (kolon başından sonuna kadar geçen süre)

Dengelemenin girdileri aşağıdaki biçimde özetlenebilir:

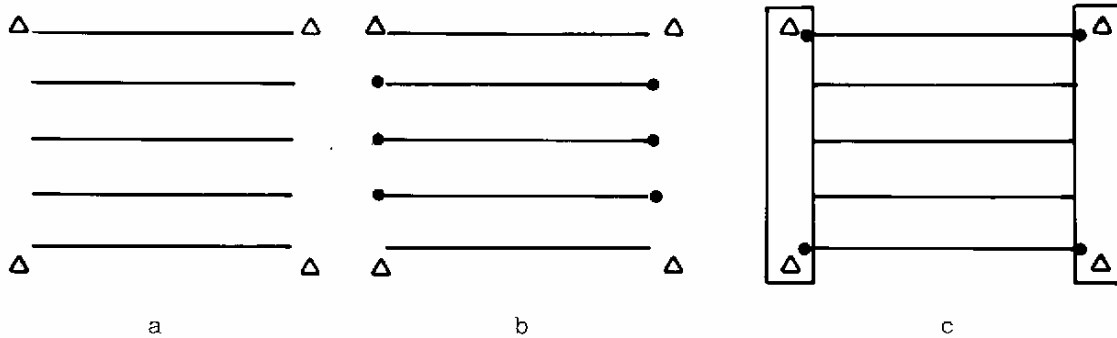
- Kinematik GPS gözlemleri değerlendirildikten sonra, öncelikle WGS 84 sisteminden yaklaşık ulusal referans sisteme dönüşmüş olarak kullanılır. GPS kamera konumları herbir uçuş kolonu için ayrı ayrı işleme alınır ve herbir kolon için ayrı bir yaklaşık belirsizlik çözümü yapılır.

- GPS anteninden kameraya olan üç boyutlu vektör, blok dengelemenin ilk çalıştırılışından sonra elde edilebilir olmasına rağmen, normalde önceden bilindiği kabul edilir. Bu biçimde düzeltilmiş ve yaklaşık olarak dönüştürülmüş GPS kamera konum koordinatları dengelemenin girdisini oluşturur.

- Fotogrametrik açıdan dengelemenin girdileri, klâsik uygulamalarda olduğu gibi resim koordinatlarıdır. Fotogrametrik nirenginin tüm adımları (bağlama noktaları seçimi, dağılımı, sayısı vb.) burada da aynen geçerlidir. Yalnızca GPS bloklarında yer kontrol noktası sayısı normal bloklara göre oldukça azalmış (yaklaşık %90) durumdadır.

- Dengelemenin diğer bir girdisi de, ulusal yatay ve düşey referans sistemdeki yer kontrol noktalarıdır.

GPS bloklarında geometriyi sağlam tutmak ve sürüklenme parametreleri dahil tüm bilinmeyenleri çözebilmek için, önerilebilecek blok konfigürasyonları aşağıdaki gibi üç biçimdedir.



a: Dört yer kontrol noktası ve %60 yan bindirmeli kolonlar

b: Dört yer kontrol noktası ve standart (%60, %30) bindirmeli kolonlar ile bloğun baş ve sonunda yükseklik kontrol noktaları dizisi

c: Bloğun başına ve sonuna birer dik kolon ilavesi ile köşelerde birer kontrol noktası ve tercihen birer yükseklik kontrol noktası

Şekil-1: GPS destekli bloklarda uygulanabilecek blok konfigürasyonları

Sonuncu seçenek birçok bakımdan tercih edilerek genellikle GPS ile fotogrametrik nirenginin standart durumu haline gelmiştir. Bu durumda dört nirengi noktası yeterli olmasına rağmen, güvenilirlik ve bloğun geometrisini güçlendirmek açısından köşelerde ikişer ya da üçer nokta kullanılması tavsiye edilmektedir /2/.

Uygulamada bloklar çoğunlukla düzensiz şekillerdedir. Bu durumlarda ikiden fazla çapraz kolon ve dörtten fazla yerde nirengi noktası kullanımı gerekir. Yine de kullanılacak yer kontrol noktası sayısı, klasik yöntemle göre önemli ölçüde azalmaktadır.

5. GÖLBAŞI TEST ÇALIŞMASI

a. Çeşitli Uygulamalara İlişkin Sonuçlar

Kinematik GPS verilerinin fotogrametrik nirengide kullanımına ilişkin olarak, özellikle OEEPE (Avrupa DeneySEL Fotogrametri Araştırma Birliği) çatısı altında oluşturulan çalışma grubunun gerçekleştirdiği çok sayıdaki test çalışmasının sonuçları, konumda 0.8-2.6 (σ_0 xs) ve yükseklikte 1.2-3.0 (σ_0 xs) arasında değişmektedir (σ_0 : Birim ağırlıktaki ölçünün k.o.h. (μ) s: Hava fotoğrafı ölçek paydası) /6/.

Bu sonuçlar, konumda 1.5 (σ_0 xs) ve yükseklikte 2.0 (σ_0 xs) olarak beklenen kuramsal doğruluğa uyumlu görülmektedir /2/.

Bu testlerin çoğunda ışın demetleriyle blok dengeleme yöntemi kullanılmıştır. Pas noktası biçiminde arazide kireçli nokta tesisleriyle model ve kolon bağlama noktaları kullanılması durumunda $\sigma_0 = 4 \mu$, doğal detay ve delgi noktası kullanılması durumunda $\sigma_0 = 6-8 \mu$ değeri alınmıştır.

b. Gölbaşı Test Alanı ve Veri Toplama

Test alanı, dikdörtgen biçiminde ve 35 km x 15 km boyutlarında olup, Gölbaşı yakınlarında ve yoğun yerleşim alanının dışındadır. Bu alan içerisinde 180 dolayında nirengi noktası tesis edilmiştir. Ancak bunların yarısına yakın kısmı 2-3 yıl önce tesis edilmiş olup, yalnızca kireçleme yapılmıştır.

Test alanında farklı ölçeklerde birbiriyle iç içe üç ayrı blok oluşturulmuştur. Bu bloklara ilişkin bilgiler Tablo-1'de verilmiştir.

Blok I ve II için üç adet, blok III için dört adet TRIMBLE 4000 SSE GPS alıcısı (Geodetic Receiver) kullanılmıştır. Alıcılardan birisi Beachcraft B200 uçağına, diğerleri proje alanının 20-40 km uzağına ve üç blokta da birer alıcı koordinatı bilinen nokta üzerine konmuştur. Veri toplama aralığı blok I için 1 saniye, II ve III için 0.5 saniyedir.

Alıcıların bellekleri yetersiz kaldığı için, hem uçakta hem de referans istasyonlarda dizüstü bilgisayarları kullanılarak, veriler aynı anda (real-time) diske aktarılmıştır.

Tablo-1: Bloklara ilişkin bilgiler.

	BLOK I	BLOK II	BLOK III
Uçuş Yüksekliği	5600 m	2500 m	1300 m
Ölçek	1/36000	1/16000	1/4300
Blok Boyutu	35 km x 15 km	12 km x 15 km	5 km x 3 km
Resim Bindimleri	p=°60 , q=°30	p=°60 , q=°30	p=°60 , q=°30
Hava Kamerası	Zeiss RMK-TOP	Zeiss RMK-TOP	Zeiss RMK-TOP
Kamera Sabitesi	152..769 mm	152..769 mm	305.334 mm
Dengeleme Yöntemi	Bağımsız Modeller Işın Demetleri	Bağımsız Modeller Işın D.	Bağımsız Modeller Işın D.
Dengeleme Programı	PAT-MR, PATB-GPS	PAT-MR, PATB-GPS	PAT-MR, PATB-GPS
Bağlama Noktaları	Delgi	Delgi	Doğal Detay
Nirengi Noktaları	Kireçli (Daire)	Kireçli (Daire)	Kireçli(Y Biçimli)
Denetleme Noktaları	Kireçli (Daire)	Kireçli (Daire)	Kireçli(Y Biçimli)

c. Veri İşleme

Kinematik GPS verilerinin işlenmesinde SKIP (Inpho) yazılımı kullanılmıştır. Bu aşamada kullanılan gözlemler, L1 taşıyıcı faz ve C/A kod pseudorange gözlemleridir.

Yazılım, faz belirsizliği için yaklaşık çözümü kullanmaktadır. Belirlenen konumlar dışmerkezlik vektörü kadar düzeltilmiştir. Kamera kolonlar boyunca sabit olup, dışmerkezlik vektörünün yersel yöntemlerle belirlenen elemanları 14 cm, 3 cm ve 164 cm dir. Verilerde önemli bir problem ile karşılaşmamıştır. Uydu geometrisinin durumunu ve dolayısıyla anlık konum belirlemenin duyarlılığını veren PDOP (Position Dilution of Precision) değeri ortalama 3.0 dolayındadır.

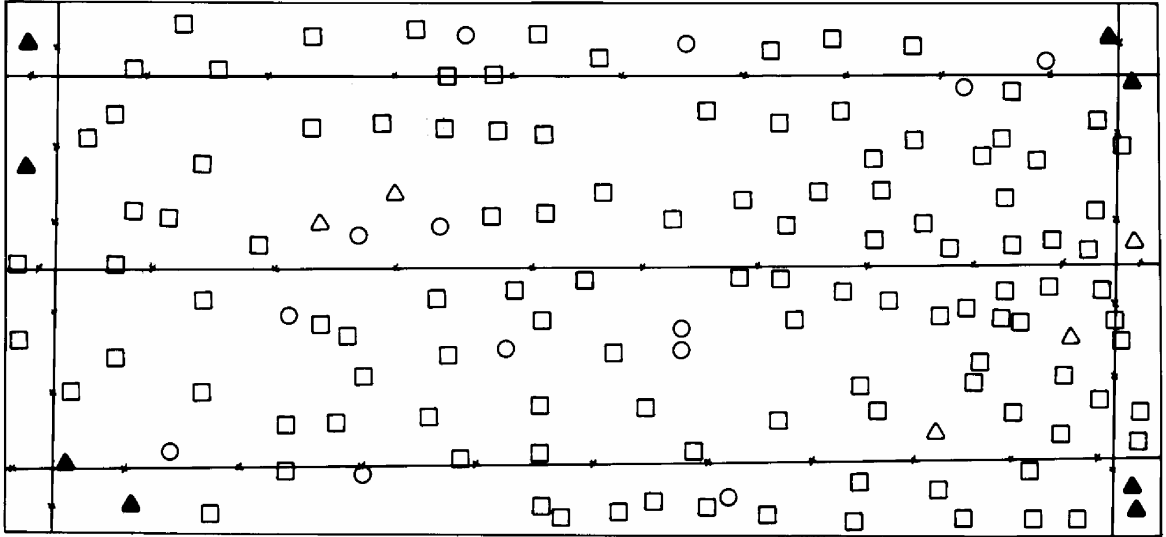
Kolonlar içerisinde dörtten az uydu gözlemi ve kayıp epok (missing epoch) çıkmamıştır. Meskun alanda yer alan alıcıda 20'den fazla faz kesintisi (cycle slip) saptanmıştır. Ancak bunların sonuçlara önemli bir etkisi olmadığı görülmüştür.

d. Dengeleme Sonuçları

Fotogrametrik nirengi ölçümleri Planicomp C100 analitik aleti kullanılarak yapılmış ve hem model hem de resim koordinatları kaydedilmiştir. Her Uç blok da önce GPS verileri olmaksızın, standart nokta dağılımı ($i=2b, 4b$) kullanılarak, bağımsız modeller ve ışın demetleri yöntemlerine göre (PATMR ve PATB ile) dengelenmiştir.

Blokların kinematik GPS verileriyle birlikte dengelenmesinde PATB-GPS yazılımı kullanılmıştır. Önce 12 parametrelili çözüm, daha sonra da normal denklemler matris inversi uygulanmıştır.

Blok konfigürasyonları Şekil-2,3 ve 4'de, dengeleme sonuçları Tablo-2'de görülmektedir.



▲ Kontrol noktaları X,Y,Z

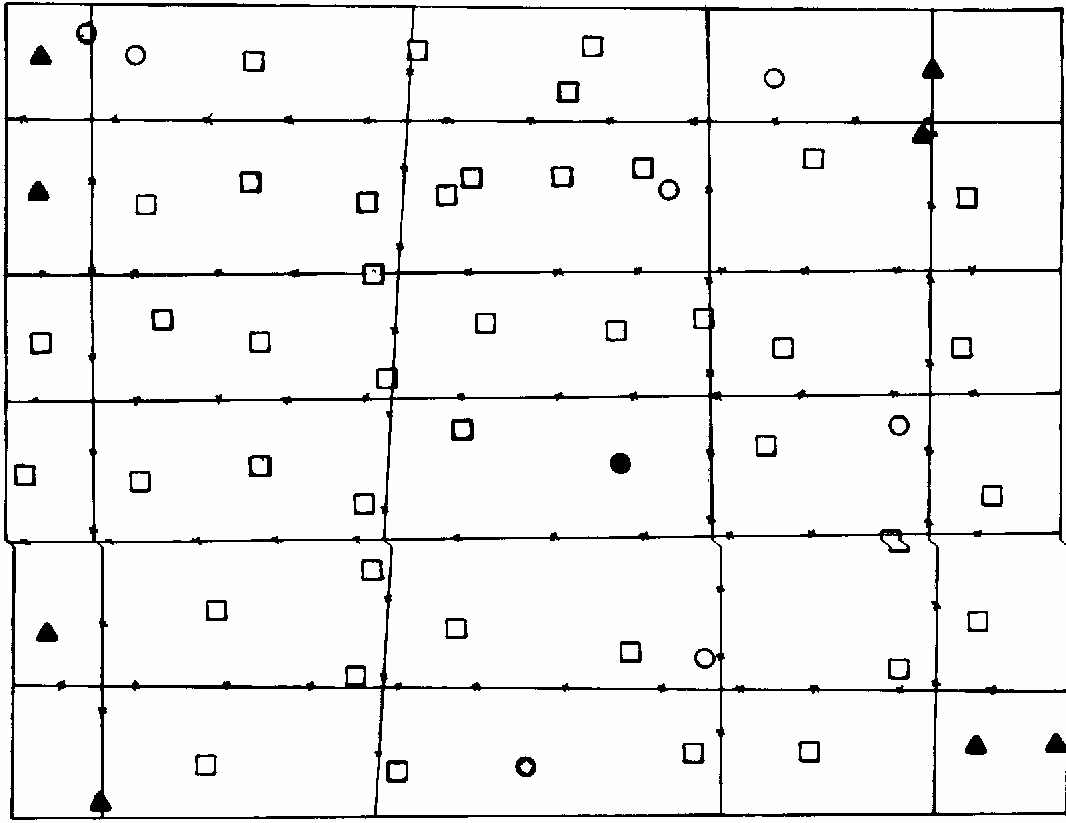
● Kontrol noktaları Z

□ Denetleme noktaları X,Y,Z

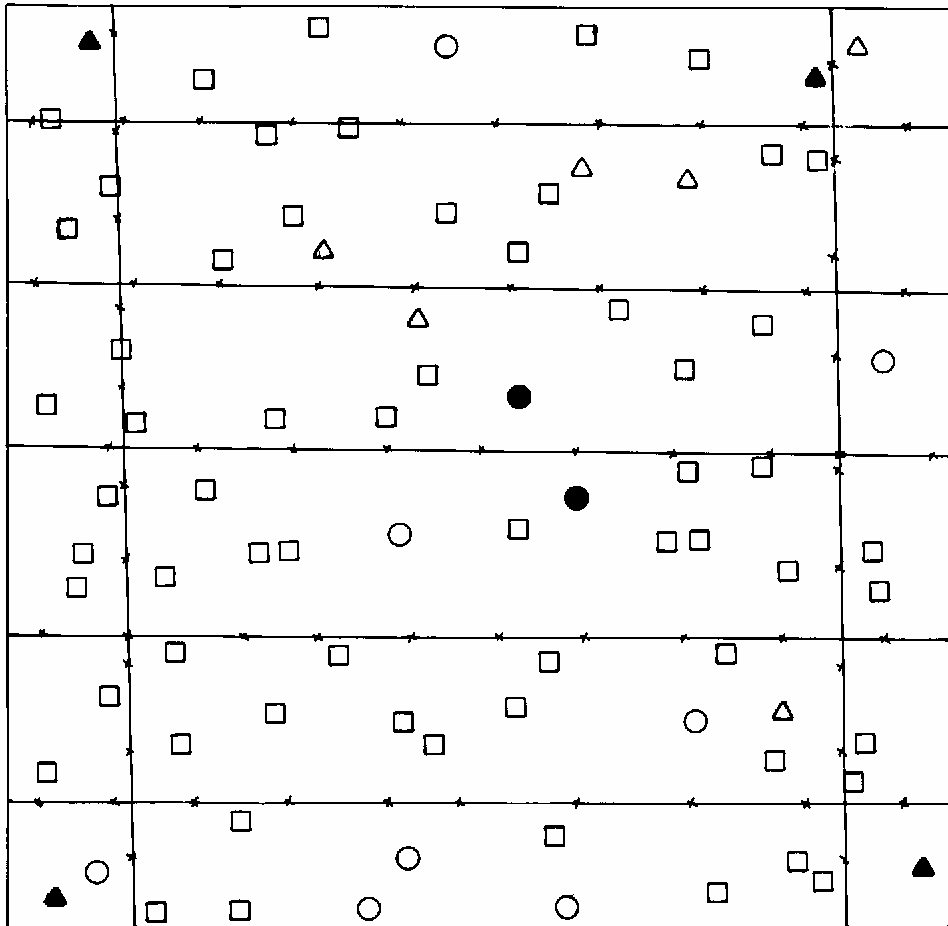
○ Denetleme noktaları X,Y

△ Denetleme noktaları Z

Şekil-2: Blok I (Resim Ölçeği = 1:36 000)



Şekil-3: Blok II (Resim Ölçeği = 1:16 000)



Şekil-4: Blok III (Resim Ölçeği = 1:4 300)

Tablo-2: Dengeleme sonuçları

	Blok I (5 Kolon)		Blok II (7 Kolon)		Blok III (9 Kolon)	
	a. Standart	b. GPS ile	a. Standart	b. GPS ile	a. Standart	b. GPS ile
Dengeleme Öncesi Standart Sapmalar	X/Y Z (cm)	X/Y Z (cm)	X/Y Z (cm)	X/Y Z (cm)	X/Y Z (cm)	X/Y Z (cm)
Kontrol Noktaları	25 37	25 37	10 15	10 15	3 5	3 5
Denetleme Noktaları	25 37	25 37	10 15	10 15	3 5	3 5
GPS Ölçmeleri	-	10 10	-	10 10	-	10 10
Fotogrametrik Ölçümler	7 μ	7 μ	6 μ	6 μ	6 μ	6 μ
Resim Sayısı	46	46	70	70	90	90
Resim Noktası Sayısı	919	928	1602	1602	2093	2093
Mevcut Kontrol Noktası Sayısı - Yer Kontrol Noktaları (Y.K.N.) - Denetleme Noktaları (D.N.)	27 26 90 81	8 8 107 98	33 32 45 42	4 6 66 62	37 36 20 19	8 9 47 41
Dengeleme Sonrası K.O.H. - Fotogrametri - Y.K.N. - Fotogrametri - D.N.	18/19 31 26/25 57	18/17 18 31/44 61	7/7 12 11/14 19	3/4 4 19/16 20	3/4 3 5/6 6	2/3 6 6/5 9
Dengeleme Sonrası σ_o	6.93 μ	7.81 μ	6.14 μ	6.22 μ	5.17 μ	4.88 μ

6. SONUÇ

GPS destekli bloklarla alınan sonuçlar incelendiğinde, blok I ve II'de denetleme noktalarında bulunan konum ve yükseklik doğrulukları sırası ile

$$m_x^I = 1,1 \cdot \sigma_o \cdot S,$$

$$m_y^I = 1,5 \cdot \sigma_o \cdot S,$$

$$m_z^I = 2,4 \cdot \sigma_o \cdot S$$

ve

$$m_x^{II} = 1,8 \cdot \sigma_o \cdot S,$$

$$m_y^{II} = 1,5 \cdot \sigma_o \cdot S,$$

$$m_z^{II} = 1,8 \cdot \sigma_o \cdot S$$

olduğu görülmektedir. Yani, daha önce verilen kuramsal doğruluk beklentilerini karşılar niteliktedir.

Büyük ölçekli uygulamada (blok III) bulunan konum ve yükseklik doğrulukları ise,

$$m_x^{III} = 2,5 \cdot \sigma_o \cdot S,$$

$$m_y^{III} = 2,4 \cdot \sigma_o \cdot S$$

$$\text{ve } m_z^{III} = 4,1 \cdot \sigma_o \cdot S \text{ 'dir.}$$

İlk bakışta yükseklik doğruluğunun beklenenin üzerinde olduğu düşünülse de, uçuş yüksekliği biriminden ele alındığında 0.00007.h (h=uçuş yüksekliği) değerine eşit olduğu görülür.

GPS verileri kullanılmaksızın, bağımsız modeller yöntemi ve standart nokta dağılımıyla bulunan sonuçların da bu düzeyde olduğu bilinen bir gerçektir. Büyük ölçekli harita yapım yönetmeliğinde yapılması düşünülen değişiklikler ile bütün uygulayıcıların karşılaştığı bu problemin de giderileceği sanılmaktadır.

Sonuç olarak, arazide ölçümü ve tesisi gerekli nirengi noktası sayısında %90 düzeyinde bir tasarruf sağlayan kinematik GPS destekli fotogrametrik nirengi yönteminin büyük ölçekli uygulamalar da dahil olmak

üzere başarıyla kullanılabileceği değerlendirilmektedir.

K A Y N A K L A R

- /1/ Ackerman F. : Operational Rules and Accuracy Models For GPS-Aerotriangulation ISPRS Commission III (B3,691-700), 1992.
- /2/ Ackerman F. : Application of GPS for Aerial Triangulation.
Schade H.
- /3/ Ackerman F. : Practical Experience With GPS Supported Aerial Triangulation Photogrammetric Record pp.861-874, October, 1994.
- /4/ Friess P., : Experience With GPS-Supported Aerial.Triangulation,
Heuchel T. ISPRS Congress, Commission I, Washington, 1992.
- /5/ Blankenberg L.E.: GPS-Supported Aerial Triangulation-State of the art.
- /6/ Burman H., : Empirical Results of GPS - Supported. Block
Torlegard K. Triangulation (OEEPE Official Publication No.:29), 1994.