

ALANA DAYALI GÖRÜNTÜ EŞLEME YÖNTEMLERİ İLE FOTOGRA METRİK NİRENGİ

Murat UYSAL, Abdullah VARLIK, Fikret KARALAR,
Fusun ÇETİNTAŞ

Afyon Kocatepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeodezi ve
Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Afyon

ÖZET

Son yıllarda teknolojiye yaşanan hızlı gelişmeler birçok alanda etkili olmuştur. Özellikle bilgisayar dünyası bu gelişmelerden etkilenmiştir. Artık günümüzde PC tabanlı sistemlerde daha önceden yapamadığımız veya zorlukla yapılan işlemler daha hızlı ve etkili bir şekilde yapılabilmektedir. Bu çalışmanın amacı da; fotogrametrik iş istasyonlarında yapılan çalışmaların PC ortamında yapılabilirliğini araştırmaktır.

Bu araştırmada, Windows tabanlı görsel bir yazılım geliştirilmiştir. Bu çalışmada anlatılan; geliştirilen yazılımın fotogrametrik nirengi kısmıdır. Yazılımda fotogrametrik nirengi çalışmaları için alana dayalı görüntü eşleme ve ışın demetleri ile dengeleme yöntemleri kullanılmıştır. Nokta konum ve yükseklik doğruluğunun araştırılmasında farklı dağılım ve sayıdaki bağlantı noktalarından gruplar oluşturularak araştırmalar yapılmıştır. Bu yapılan araştırmaların sonuçları incelenmiştir. Uygulamada sınırlı bir bölgedeki çalışmanın sonuçları alınmıştır.

Anahtar Kelimeler : Fotogrametrik Nirengi, Alana Dayalı Görüntü Eşleme, Işın Demetleri İle Dengeleme.

AERIAL TRIANGULATION WITH AREA BASED IMAGE MATCHING METHODS

ABSTRACT

Recent years, fast technocial effects was seen in many areas. Especially computer world was to effected mostly from these developments. Nowadays, we can do the processes, that we were

unable to do or made hardly before, more fast and effective. The target of this study is, to research the feasibility of studies at PC that made at digital photogrametric Workstation.

In this study, we developed a Windows based visual software. As explained in these pages that is the part of aerial triangulation in improved software. In software we used area based image matching and bundle block adjustment methods for aerial triangulation. To research the accuracy of plane and height of points, we made groups from different dispersion and number of tie points. We examined the results of this studies. In practice we handled the results of studies in limited area.

Key Words: Aerial Triangulation, Area based image matching, Bundle Block Adjustment.

1.GİRİŞ

Teknolojik gelişmeler sayısal ortamlarda daha büyük verileri depolama ve işleyebilme imkanlarını PC tabanlı bilgisayarlara kadar sunmuştur. Bu gelişmeler Sayısal Fotogrametride iş istasyonlarında (workstation) yapılan işlemleri PC tabanlı sistemlerde yapma imkanı vermiştir. Bu çalışmanın amacı PC tabanlı çalışan bir Sayısal Fotogrametri yazılımı yaparak sonuçların incelenmesini kapsamaktadır. Bu yazılım, örnek bir proje alanında test edilmiş ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Uygulamanın amacı, oluşturulan yazılımın demet dengelemesi kısmını test etmek ve bu dengeleme sonuçlarının, bağlantı noktalarının sayısı ve arazi koordinatı bilinen noktaların dağılımıyla ilişkisini araştırmaktır. Yani dengelenmiş fotogrametrik bloğun mutlak doğruluğunun yer kontrol noktalarının dağılımı, bağlantı noktalarının sayısı ve dağılımıyla olan ilişkisini araştırmaktır.

Sayısal Fotogrametride görüntü, film veya emisyonlu altlıklar yerine, elektronik aletler yardımı ile sayısal bir ortamda saklanır. Bu ortamda saklanan görüntü elemanları $f[u,v]$ olan iki boyutlu bir F matrisinden oluşur. Ve her bir elemanına piksel denir. Her piksel arazi yüzeyine ait bilgi taşıyıcı ve buna karşılık gelen radyometrik değerleri ile ifade edilir. Her bir piksele ait bu değerler, belirli renklerdeki gri değerlerdir.

Sayısal Fotogrametri'de, iç ve dış yöneltme Analitik Fotogrametri ilkelerine göre yapılır. Analog ve Analitik aletlerle yapılan, fotoğraf koordinatları ve fotoğraf orta noktası koordinatlarının ölçülmesi Sayısal Fotogrametri içinde

önemlidir. Dış yöneltmenin otomatik olarak yapılabilmesi için, bir stereo modelde aynı cisme karşılık gelen noktalar otomatik olarak bulunmalıdır. Bu işlem, bir fotoğraftaki görüntü parçasının diğer fotoğraftaki yerinin araştırılmasıdır. Yapılan bu araştırma işlemine Görüntü Eşleme (Image Matching) denir.

Görüntü eşleme yöntemleri aşağıdaki başlıklar altında toplanabilir.

1. Alana dayalı görüntü eşleme yöntemi
2. Şekle dayalı görüntü eşleme yöntemi
3. İlişkisel görüntü eşleme yöntemi

Yapılan çalışmada Alana Dayalı Görüntü Eşleme Yöntemleri kullanılmıştır. En küçük karesel eşleme ve karşılıklı ilişki görüntü eşleme yöntemleri Alana Dayalı Görüntü Eşleme Yöntemlerindedir. Eşleme yöntemlerinde ilk olarak, sol fotoğraftaki bir noktanın sağ fotoğraftaki yaklaşık konumunun bulunması gereklidir. Bunun için en iyi çözüm Affin Dönüşümüdür. İki fotoğraftaki ortak noktalar yardımı ile fotoğrafların birbirlerine göre durumu belirlenir. Böylece, sol fotoğrafta seçilen bir noktanın sağ fotoğrafta yaklaşık yeri Affin Dönüşüm parametreleri yardımı ile hesaplanabilir. Bu işlemden sonra, yaklaşık yeri belirlenen nokta görüntü eşleme algoritmaları yardımı ile piksel veya piksel altı hassasiyetle noktanın yeri belirlenir.

Alana Dayalı görüntü eşleme yöntemlerinde piksellerin gri değerlerinden faydalanır. Örneğin, Karşılıklı ilişki yönteminde, operatör sol resmin üzerinden noktanın yerini belirler. Bu noktanın sağ fotoğraftaki yerinin bulunmasında, sol fotoğraftaki yaklaşık yerinin etrafındaki piksellerin gri değerleri arasındaki farklardan faydalanarak sağ fotoğraf üzerinde noktanın yeri bulunur. En Küçük Karesel Eşlemede ise, sol fotoğrafta işaretlenen noktanın etrafındaki piksellerle bu noktaya karşılık gelen sağ fotoğraftaki yaklaşık yerinin etrafındaki piksellerin gri değer farkları minimum olacak şekilde eşleme yapılır.[1]

2. FOTOGRAMETRİK NİRENGİ

Arazide yapılan çalışmalar, harita yapımında toplam maliyetin yarısına yakın kısmını oluşturur. Fotogrametrinin amaçlarından birisi de büro çalışmalarına göre pahalı olan arazi çalışmalarını azaltmaktır. Fotoğrafların veya modellerin değerlendirilmesi için gerekli olan noktaların koordinatlarının fotogrametrik olarak elde edilmesine "Havai Nirengi" veya genel olarak "Fotogrametrik Nirengi" denir. Bu yöntemle noktaların koordinatlarını elde edebilmek için fotoğrafları çekilen alanda jeodezik yöntemlerle koordinatı

elde edilmiş noktalara “Yer Kontrol Noktaları (Ground Control Points)” denir.[2]

Analitik fotogrametrik nirengide asıl gelişme, geçen 30 yılda hesaplama tekniklerinin gelişmesi ile fotogrametrik nirenginin demet dengelemesi bölümünde olmuştur. Şimdilerde yaşanan gelişme ise, sayısal hale getirilmiş görüntülerin ekrana aktarılması ve görüntü işleme algoritmaları ile nokta transferi (bindirmeli fotoğraflarda bir noktanın diğer fotoğraftaki yerinin bulunması) işlemlerinin otomatikleştirilmesidir. Sayısal Fotogrametrik Nirengiden beklenen, geleneksel fotogrametrik nirengiden daha düşük maliyetle, dengelenen blokların hassasiyetini ve dengeleme hızını artırmaktır.[3]

Sayısal Fotogrametrik Nirengide demet dengelemesi dahil bütün Fotogrametrik Nirengi işlemleri sayısal görüntüler (veya sayısal hale getirilmiş Analog görüntüler) kullanılarak yapılır. Görüntü Eşleme yöntemleriyle, bağlantı ve yer kontrol noktalarının fotoğraf koordinatlarının ölçümü ve transferi gerçekleştirilir. Belirlenen bağlantı ve yer kontrol noktalarının ışın demetleriyle dengelemesi yapılarak fotoğraf koordinatlarına gerekli düzeltmeler getirilir. Bunun sonucu olarak Sayısal Fotogrametrik Nirengi ile fotoğraf koordinatları bilinen noktaların doğrudanlık denklemleriyle yer koordinatları belirlenmiş olur. Bu sayede, bütün görüntülerin dış yöneltme parametreleri ve onların oluşturduğu bir blok sistemi üreterek, proje alanının Sayısal Yükseklik Modeli, yükseklik eğrisi, Sayısal Ortofoto ve perspektif görünüşü elde edilir.

Sayısal Fotogrametrik Nirengide noktaların fotoğraftan fotoğrafa transferi daha kolay yapıldığı için noktaların krokilerinin yapılması veya diyapozitifler üzerine işaretlerinin yapılması ortadan kalkmaktadır. Bundan dolayı Fotogrametrik Nirengide çok az bir hazırlık işlemi gerekmektedir. Sayısal Fotogrametrik Nirengide Demet Dengelemesinin yapılabilmesi için noktaların fotoğraf koordinatları gereklidir. Bundan dolayı Sayısal Fotogrametrik Nirengi işlemlerinde nokta transferi önemli bir konudur. Sol fotoğrafta, fotoğraf koordinatları ölçülen bir noktanın sağ fotoğraftaki yerinin bulunması ve fotoğraf koordinatının ölçülmesi gereklidir. Bir noktanın diğer fotoğraftaki koordinatlarını ölçmek için Görüntü Eşleme yöntemlerinden yararlanılır. Noktalarının transferi iki aşamada yapılır. İlk aşama bağlantı noktalarının 1.fotoğraftaki (sol fotoğraf) fotoğraf koordinatlarının ölçülmesini diğeri ise bu noktaların diğer görüntüye transferi işlemlerini içerir.[4] Analitik Fotogrametrik Nirengide bu işlemlerin her ikisi de operatör tarafından elle yapılır. Sayısal Fotogrametrik

Nirengide bağlantı noktalarının seçimi ve transferi analitik fotogrametrik nirengiye göre hız, hassasiyet ve kolaylık bakımından daha iyidir.

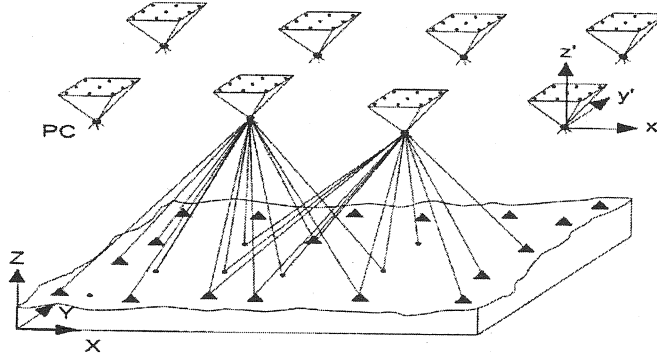
Kullanılan Görüntü Eşleme yöntemine göre nokta transfer işlemleri elle, yarı otomatik ve otomatik olarak yapılabilir.[4]

- Elle : Operatör, ekran üzerinde sol ve sağ fotoğraftaki noktaların koordinatlarını kendisi belirler.
- Yarı Otomatik : Operatör, ekran üzerinde transfer edilecek noktayı sol fotoğraf üzerinden seçer. Noktanın sağ fotoğraftaki karşılığının koordinatları Görüntü Eşlemesiyle bulunur.
- Otomatik : Görüntü alanının 9 standart parçası içinde otomatik olarak seçilen noktalar otomatik olarak diğer fotoğrafa transfer edilir ve fotoğraf koordinatları ölçülür.

Yapılan bu çalışmada, yarı otomatik yöntem esas alınmıştır. Yarı otomatik yöntemlerde kullanıcı işleme her zaman müdahale edebilme imkanı vardır. Örneğin operatör yanlış eşlenmiş bir noktayı tespit edip işlemi yeniden yapabilir veya kendisi noktanın yerini seçebilir. Ayrıca yarı otomatik sistemler otomatik sisteme geçiş için basamak oluşturur. Çift fotoğraf değerlendirmesinde, dış yöneltme fotoğraf çifti için ortak belirlenir. Bu işlem 12 bilinmeyen çözülmesi demektir. Bunlar iki fotoğrafa ait projeksiyon merkezinin koordinatları ve dönüklük elemanlarıdır. Dış yöneltme elemanlarının bilinmesi durumunda fotoğraf çiftinin oluşturduğu uzaysal model, konum ve yükseklik bakımından ölçülebilir durumdadır. Değerlendirme işlerinin yapılması için dış yöneltme elemanlarını hesaplamamız gereklidir. Dış yöneltme işlemi karşılıklı ve mutlak yöneltmeden oluşur. Karşılıklı yöneltme işleminde, her iki fotoğraftan elde edilen ışın demetleri fotoğrafları çekim anındaki konumlarına getirmek için kullanılırlar, yani birbirlerine karşı gelen ve aynı cisim noktasına ait olan ışınların kesişmeleri ile sağlanır. Sonuç olarak ölçeği, uzaydaki konumu ve yöneltmesi belirsiz bir uzay modeli ortaya çıkar. Bu model üzerinde ölçme yapılabilmesi için modelin belirli bir ölçeğe sahip olması, döndürülerek ve ötelenerek üç boyutlu koordinatlarının istenilen model ölçeğine indirgenmiş cisim koordinatları ile eşitlenmesi gerekir. Bu işlem ise, dış yöneltmenin ikinci adımı olan mutlak yöneltmedir.

2.1 Işın Demetleri İle Dengeleme

Blok veya kolonların, yer koordinatları ve görüntü koordinatları arasındaki



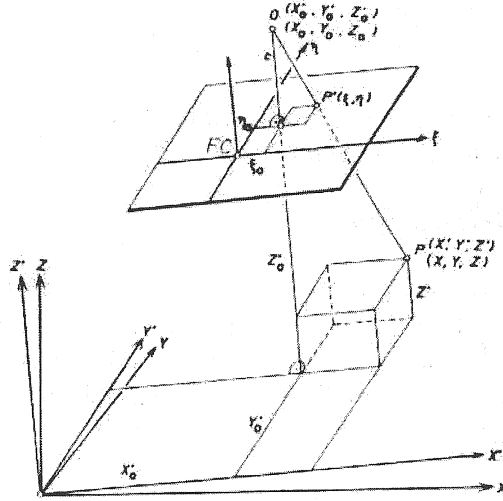
Şekil 1. Demet dengelemesinin temel prensibi[6]

ilişki model koordinatlarını ortaya çıkarmadan doğrudan hesaplanabilir. Bunun için fotoğraflar demet dengelemesi için başlangıç üniteleridir.

Demet dengelemesinin temel prensibi yansıtan geometrik yapısı Şekil 1 de gösterilmiştir. Görüntü koordinatları ve fotoğrafın projeksiyon merkezi, ışınların konumsal demetleriyle tanımlanır. Başlangıçta, blok içerisindeki demetlerin dış yöneltmesi bütün fotoğraflar için benzer şekilde hesaplanır. İlk veriler, kontrol noktalarının obje koordinatlarından, görüntü koordinatlarından ve bağlantı noktalarının görüntü koordinatlarından meydana gelir.[5] İlk önce dengelemeye çalıştığımız yer koordinatları ve görüntü koordinatları arasındaki matematiksel ilişkiyi göz önünde bulundurmanız gereklidir.

2.1.1 Görüntü Ve Yer Koordinatları Arasındaki Matematiksel İlişki

Fotoğrafın pozlanması anında P obje noktası, P' görüntü noktası ve O projeksiyon merkezi düz bir çizgi üzerindedir. Yani P, P' ve O noktaları aynı doğru üzerindedir. Fotogrametrik izdüşümün tanımı gereği P, P' ve O noktaları aynı doğru üzerinde olmalıdır. Objeye noktası, görüntü noktası ve projeksiyon merkezinin bir doğru üzerinde olma durumuna doğruduşluk (Kolinearite) şartı denir. Görüntü koordinat sistemiyle (ξ, η, ζ) paralel olan yer koordinat sisteminin (X, Y, Z) uzaydaki dönüklüğünden yararlanarak yer koordinat sistemindeki X', Y', Z' değerlerini buluruz. Doğruduşluk şartının genel prensibi Şekil 2 de gösterilmiştir.[5]



Şekil 2. Doğrudaşlık Şartı.[5]

Doğrudaşlık şartından faydalanarak X', Y', Z' sistemiyle ξ, η, ζ sistemi arasındaki ilişkiyi görüntü koordinatlarına göre 1 eşitliği ile ifade edebiliriz

$$\xi = \xi_0 - c \frac{X' - X'_0}{Z' - Z'_0} \quad \eta = \eta_0 - c \frac{Y' - Y'_0}{Z' - Z'_0} \quad (1)$$

Projeksiyon merkezinin X'_0 ve obje noktasının X' koordinatları orijinal yer koordinat sisteminin X_0 ve X'_i ile yer değiştirebilir. $X'Y'Z'$ sistemi XYZ sistemine bağlı olarak döndürüldüğünde (2) eşitliği ile ifade edilen R dönüklük matrisi elde edilir.[5]

$$R_{\omega\varphi\kappa} = \begin{bmatrix} \cos\varphi \cos\kappa & -\cos\varphi \sin\kappa & \sin\varphi \\ \cos\omega \sin\kappa + \sin\omega \sin\varphi \cos\kappa & \cos\omega \cos\kappa - \sin\omega \sin\varphi \sin\kappa & -\sin\omega \cos\varphi \\ \sin\omega \sin\kappa - \cos\omega \sin\varphi \cos\kappa & \sin\omega \cos\kappa + \cos\omega \sin\varphi \sin\kappa & \cos\omega \cos\varphi \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X' - X'_0 \\ Y' - Y'_0 \\ Z' - Z'_0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Eşitlik 1, Eşitlik 3'de yerine konursa Eşitlik 4'de ifade edilen, yer ve görüntü koordinatları arasındaki istenen ilişki elde edilir.

$$\xi = \xi_0 - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} = \xi_0 - c \frac{Z_x}{N}$$

$$\eta = \eta_0 - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} = \eta_0 - c \frac{Z_y}{N} \quad (4)$$

Diferansiyel ilişkilerde işlemleri basitleştirmek için pay için Z_x ve Z_y , payda için ise N kısaltmaları kullanılır.

2.2 Normal Denklemler

En Küçük Karesel çözüm için, lineer olmayan Eşitliğinin lineer hale getirilmesi gereklidir. Bunun için görüntü koordinatları ξ ve η yı ifade eden fonksiyonun Eşitlik (5) bilinmeyenlere göre kısmi türevleri alınır. R matrisinin elemanları Eşitlik (2) e uygun olarak ω , φ , κ açılarının bir fonksiyonudur.[5]

$$\xi_i = f(\xi_0, c, X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa, X_i, Y_i, Z_i) \quad (5)$$

Dolaylı gözlemlerle en küçük kareler dengelemesinin doğrusallaştırılmış gözlem denklemlerini yazmak için yukarıdaki ifadeleri kullanabiliriz. Aşağıda verilen diferansiyel formüllerde i indisi nokta, j indisi ise fotoğraf numarasını göstermektedir. Her ölçülen fotoğraf noktasının iki koordinatı iki gözlem denklemi (Eşitlik 6) yapılandırır.[5]

$$\begin{aligned} v_{\xi ij} &= \left(\frac{\partial \xi}{\partial X_{0j}} \right)^0 dX_{0j} + \left(\frac{\partial \xi}{\partial Y_{0j}} \right)^0 dY_{0j} + \left(\frac{\partial \xi}{\partial Z_{0j}} \right)^0 dZ_{0j} \\ &\quad + \left(\frac{\partial \xi}{\partial \omega_j} \right)^0 d\omega_j + \left(\frac{\partial \xi}{\partial \varphi_j} \right)^0 d\varphi_j + \left(\frac{\partial \xi}{\partial \kappa_j} \right)^0 d\kappa_j \\ &\quad + \left(\frac{\partial \xi}{\partial X_i} \right)^0 dX_i + \left(\frac{\partial \xi}{\partial Y_i} \right)^0 dY_i + \left(\frac{\partial \xi}{\partial Z_i} \right)^0 dZ_i - (\overline{\xi_{ij}} - \xi_{ij}^0) \\ v_{\eta ij} &= \left(\frac{\partial \eta}{\partial X_{0j}} \right)^0 dX_{0j} + \left(\frac{\partial \eta}{\partial Y_{0j}} \right)^0 dY_{0j} + \left(\frac{\partial \eta}{\partial Z_{0j}} \right)^0 dZ_{0j} \\ &\quad + \left(\frac{\partial \eta}{\partial \omega_j} \right)^0 d\omega_j + \left(\frac{\partial \eta}{\partial \varphi_j} \right)^0 d\varphi_j + \left(\frac{\partial \eta}{\partial \kappa_j} \right)^0 d\kappa_j \\ &\quad + \left(\frac{\partial \eta}{\partial X_i} \right)^0 dX_i + \left(\frac{\partial \eta}{\partial Y_i} \right)^0 dY_i + \left(\frac{\partial \eta}{\partial Z_i} \right)^0 dZ_i - (\overline{\eta_{ij}} - \eta_{ij}^0) \end{aligned} \quad (6)$$

Bu denklemlerde bilinmeyenler , P_i noktasının 3 yer koordinatı ve her fotoğrafın dış yöneltme parametrelerinin 6 elemanıdır. Gerekli eşitlikler yardımı ile bilinmeyenlerin yaklaşık değerleri hesaplanır. Ayrıca ξ_{ij}^0 ve η_{ij}^0 bilinmeyenlerinin yaklaşık değerleri (4) eşitliği ile hesaplanır. ξ_{ij} ve η_{ij} fotoğraf koordinatları ölçüldüğüne göre gerekli bilinmeyenlerin yaklaşık değerleri farklı yollardan hesaplanabilir. Bu hesaplanan değerler yardımı ile A matrisini oluşturulur. Dengeleme işlemlerinde gerekli elemanların hesaplanması Eşitlik (7) ve Eşitlik (8) yardımı ile yapılır. Bu işlemler bir blok için düşünülürse büyük boyutlarda matrislerle işlem yapılması zor olacaktır. Hesap külfetinden kurtulmak için çeşitli yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan birisi N matrisini parçalara ayırarak hesabın yapılmasıdır.

$$v = A x - l \quad (7)$$

$$A^T A x = A^T l \quad (8)$$

$A^T A$ yerine N ve $A^T l$ yerinde n koyarsak Eşitlik 9 elde edilir.

$$N x = n \quad (9)$$

2.3 Normal Denklemlerin Çözümü

N matrisi (Eşitlik 10) dört alt matristen oluşur. Sol üst matris N_{11} , $[6*j,6*j]$ elemandan oluşan (j fotoğraf sayısı olmak üzere) bir hiperdiagonal matristir. N_{11} matrisini oluşturan $[6,6]$ lık alt matrislerin her biri bir fotoğrafa ait dış yöneltme elemanlarının katsayılarından oluşur.

$$\begin{pmatrix} N_{11} & N_{12} \\ N_{12}^T & N_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} n_1 \\ n_2 \end{pmatrix} \quad (10)$$

Sağ alttaki N_{22} alt matrisi, toplam $[3*i,3*i]$ adet elemana sahip olmak üzere (i bağlantı noktalarının sayısıdır.) $[3,3]$ elemanlı alt matrislerden oluşur. $[3,3]$ elemanlı alt matrislerin her biri bağlantı noktalarının arazi koordinatlarının katsayılarından meydana gelir. N_{12} ve N_{12}^T dolu matrislerdir. N matrisinin parçalarına göre X bilinmeyenler vektörünü tanımlayacak olursak iki parçaya ayırmak mümkündür. X_1 alt vektörü her resme ait bilinmeyen dış yöneltme parametrelerini, X_2 alt vektörü ise yeni noktaların bilinmeyen arazi koordinatlarını içermektedir.[5]

Demet dengelemesi ile bağlantı noktalarının yaklaşık koordinatlarını ve her bir fotoğrafın dış yöneltme elemanlarının yaklaşık değerlerinin düzeltmeleri

elde edilir. Yaklaşımlar kaba ise, düzeltilmiş değerler yeni dengeleme için yeni yaklaşım gibi işleminden geçirilebilmelidir. Bu işlemler blok dengelemesinin bilinmeyenlerinde önemsiz değişimler bulununcaya kadar tekrarlanır.

Sayısal Fotogrametrik Nirengide sonucun incelenmesinde iki parametre kullanılır. Bunlardan birincisi, fotoğraf koordinatlarının yani ağırlığı bir olan ölçülerin dengeleme sonucunda bulunan ve (σ_0) ile gösterilen hassasiyetidir. İkincisi ise, dengelenmiş bir fotogrametrik bloğun mutlak doğruluğu (Eşitlik 11) olup, ölçülerin hassasiyeti (σ_0) ve bloğun geometrisine (yer kontrol noktalarının sayısı ve dağılımı, fotoğraf bindirme oranları, bağlantı noktalarının sayısı ve dağılımına) bağlıdır. Sayısal Fotogrametrik Nirenginin duyarlık düzeyi, uygulanan Görüntü Eşleme yöntemine ve sayısal ortama aktarılmış görüntülerin piksel boyutuna bağlıdır.[7]

$$\sigma_i = \sigma_0 \sqrt{Q_{ii}} \quad (Q_{ii} = N^{-1}) \quad (11)$$

3. UYGULAMA

Yapılan bu çalışmada Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğünün, odak uzaklığı 305 mm olan ZEİSS RMK A 30/23 hava kamerası 1/4000 ölçeğinde çekilen, Sivas iline ait 134, 135, 136 ve 137 numaralı hava fotoğrafları kullanıldı. Uygulamada kullanılan bu alan içinde arazi koordinatı bilinen 7 nokta mevcuttur. Her fotoğrafta arazi koordinatı bilinen en az 2 nokta bulunmaktadır. Çekilen hava fotoğraflarının sayısal ortama aktarılmasında ZEİSS SCAI tarayıcısı kullanıldı. Hava fotoğrafları film üzerinden taranarak 21µm piksel boyutunda sayısal ortama aktarıldı.[8]

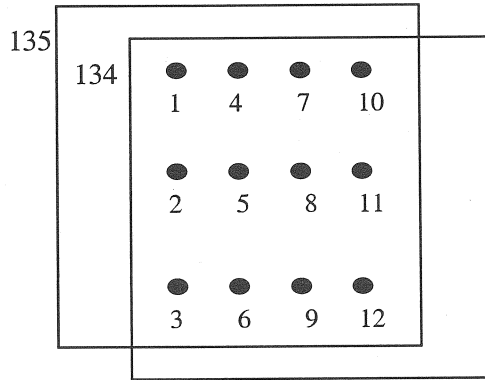
Koordinatları bilinen 7 noktanın 4 tanesi yer kontrol noktası, 3 tanesi karşılaştırma noktası olarak alınmıştır. Bunun için uygulamada farklı dağılımda koordinatı bilinen 4 nokta alındı. Bu şartlar altında farklı dağılıma sahip koordinatı bilinen noktalardan dört grup oluşturuldu ve Tablo 1'de görüldüğü gibi Bilinen A, B, C ve D grupları oluşturuldu. Bağlantı noktalarının sayısı ve dağılımının kısa boyutlu kolonun mutlak doğruluğuna etkisini incelemek için, ilk olarak her fotoğrafta 12 tane bağlantı noktası ölçüldü. Bağlantı noktalarının sayısının bloğun mutlak doğruluğuna etkisini tespit etmek amacı ile her fotoğraf için ölçülen 12 bağlantı noktasından 6 tanesi alınarak ayrı bir grup oluşturuldu. Dengeleme işlemleri 6 ve 12 tane bağlantı noktası için ayrı ayrı yapılmıştır. Ayrıca 6 ve 12 tane bağlantı

noktasının alınarak yapılan dengeleme işlemlerinde, koordinatı bilinen noktaların durumuna göre ayrıca dengeleme yapılmıştır.[8]

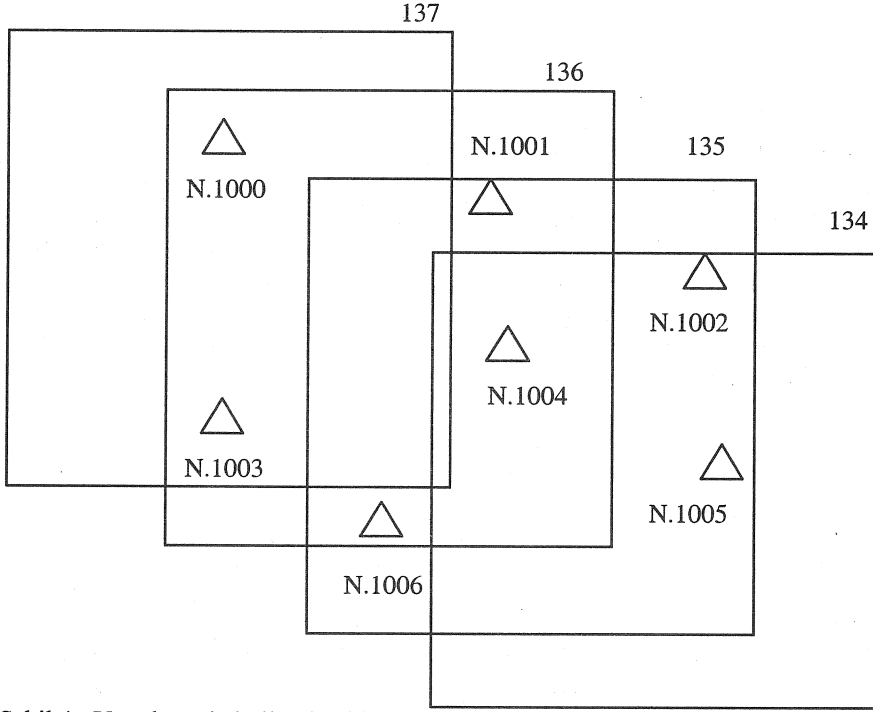
Bağlantı noktalarının yerlerinin seçiminde, mümkün olduğunca eşit aralıklarla, model alanını kapsayacak şekilde, iki fotoğrafta net görünen, sabit noktalar olmalarına dikkat edildi. Bağlantı noktalarının model alanı üzerindeki genel dağılımı Şekil 3 ve bilinen noktaların dağılımı ise Şekil 4 da görülmektedir. Bağlantı nokta sayısı 6 olan grup 1, 2, 3, 10, 11 ve 12 numaralı noktalardan oluşmaktadır. Bağlantı noktalarının ölçümünde, Alana Dayalı Görüntü Eşleme yöntemlerinden olan En Küçük Karesel Eşleme yöntemi kullanıldı.

Tablo 1. Bilinen nokta grupları

Bilinen A	Bilinen B	Bilinen C	Bilinen D
N.1000	N.1000	N.1000	N.1001
N.1002	N.1003	N.1001	N.1002
N.1003	N.1004	N.1003	N.1003
N.1005	N.1005	N.1005	N.1005



Şekil 3. Uygulamada kullanılan bağlantı noktalarının durumu



Şekil 4. Uygulamada kullanılan bilinen noktaların dağılımı

Yapılan uygulamaların sonuçlarının incelenmesini kolaylaştırmak amacıyla koordinatı bilinen noktaların durumuna göre 6 ve 12 bağlantı noktalı sonuçlar ayrı ayrı tablolar halinde verilmiştir.

Tablo 2' de verilen uygulama sonuçlarına göre, 6 bağlantı noktası ile 12 bağlantı noktası alınarak yapılan uygulamalarda kontrol noktalarının konum hatalarının mm seviyesinde değişim gösterdiği bilinen gruplarına ait tablolardaki değerlerden görülmektedir. Yapılan uygulamalarda kontrol noktalarının X ekseninde hata miktarları 3 cm ile 9 cm, Y ekseninde 3 cm ile 6 cm, Z ekseninde ise 16 cm ile 33 cm arasında değişmektedir. Düşey eksenindeki konum hatasının fazla olduğu görülmektedir. 6 bağlantı noktasının seçimi 12 bağlantı noktasının seçiminin yarısı kadarlık bir süre zarfında yapılmaktadır. İşlemler yarı otomatik yapıldığından dolayı operatörün deneyimi bu konuda önemlidir. 6 bağlantı noktası ile yapılan işlemlerde zamandan yarı yarıya tasarruf edilmiştir. Yapılan uygulamalarda zaman faktörünün maliyeti artırdığı göz önüne alınmalıdır. Bu sonuçlara göre, hassasiyetin mm düzeyinde değişimi dikkate alınarak standart noktalar civarında alınan 6 bağlantı noktası ile demet dengelemesinin yapılması yeterli olduğu görülmektedir.[8]

Tablo 2. Bilinen noktaların farklı dağılımlarına göre 6 ve 12 bağlantı noktası ile yapılan dengeleme sonuçları

	Nokta No	6 bağlantı noktası için			12 bağlantı noktası için		
		σ_x (cm)	σ_y (cm)	σ_z (cm)	σ_x (cm)	σ_y (cm)	σ_z (cm)
Bilinen A	N.1001	6.7	5.4	32.4	6.6	5.5	32.9
	N.1004	4.3	3.9	20.8	3.7	4.0	20.7
	N.1006	9.1	5.1	32.5	9.0	5.3	32.7
Bilinen B	N.1001	7.0	5.2	31.0	7.0	5.2	30.7
	N.1002	5.2	4.3	30.7	5.2	4.3	30.6
	N.1006	7.8	4.3	27.2	7.9	4.5	27.6
Bilinen C	N.1002	4.2	4.3	29.6	4.2	4.5	30.0
	N.1004	3.5	3.3	17.9	3.6	3.5	18.2
	N.1006	8.0	4.4	28.0	8.1	4.6	28.7
Bilinen D	N.1000	5.7	4.8	29.5	6.3	5.3	33.0
	N.1004	2.8	2.6	13.9	3.1	3.1	15.8
	N.1006	6.4	3.6	22.6	7.3	4.2	26.4

Tablo 2 de görüldüğü gibi 6 ve 12 bağlantı noktasıyla yapılan demet dengelemenin hassasiyeti mm seviyesinde değişmektedir. Bu tablodaki diğer bir sonuç ise, yer kontrol noktalarının dağılımıdır. Bilinen nokta durumlarına göre Bilinen D grubundaki sonuçlar diğerlerine göre daha hassas bulunmuştur. Bu grupta bulunan bilinen noktaların değerlendirilen bölgede daha uygun dağılımda olduğu görülmektedir.

Tablo 2 deki verilere göre noktaların yatay konum hatalarının 10 cm nin altında kaldığı, düşey konum hatalarının ise koordinatı bilinen noktaların dağılımına göre 22 cm ile 30 cm arasında değişmektedir. Yapılan uygulamalarda koordinatı bilinen noktaların oluşturduğu gruplar arasında Bilinen C ve Bilinen D grubunda diğerlerine göre hassas sonuçlar elde edildi. En iyi sonuç Bilinen D grubu ile 6 bağlantı noktası alınarak yapılan dengelemede elde edildi.[8]

Tablo 3. Dış yöneltme parametrelerinin hassasiyeti

Foto No		Bilinen A		Bilinen B		Bilinen C		Bilinen D	
		6	12	6	12	6	12	6	12
Foto 134	X ₀ (m)	0.802	0.787	1.001	0.943	0.774	0.695	0.624	0.647
	Y ₀ (m)	0.558	0.541	0.524	0.505	0.516	0.497	0.405	0.444
	Z ₀ (m)	0.220	0.220	0.278	0.265	0.219	0.216	0.157	0.179
	ω ₁₃₄ (g)	0.02586	0.02515	0.02475	0.02388	0.02429	0.02339	0.01870	0.02054
	φ ₁₃₄ (g)	0.03550	0.03498	0.04417	0.04170	0.03393	0.03103	0.02768	0.02893
	κ ₁₃₄ (g)	0.00546	0.00479	0.00067	0.00563	0.00611	0.00517	0.00410	0.00414
Foto 135	X ₀ (m)	0.750	0.745	0.826	0.821	0.519	0.525	0.501	0.556
	Y ₀ (m)	0.459	0.454	0.500	0.483	0.361	0.358	0.299	0.334
	Z ₀ (m)	0.128	0.131	0.151	0.149	0.115	0.119	0.094	0.109
	ω ₁₃₅ (g)	0.02062	0.02039	0.02215	0.02148	0.01661	0.01648	0.01363	0.01524
	φ ₁₃₅ (g)	0.03356	0.03339	0.03680	0.03658	0.02363	0.02393	0.02287	0.02537
	κ ₁₃₅ (g)	0.00430	0.00375	0.00499	0.00424	0.00386	0.00354	0.00287	0.00310
Foto 136	X ₀ (m)	0.708	0.710	0.748	0.757	0.433	0.442	0.514	0.551
	Y ₀ (m)	0.465	0.456	0.472	0.466	0.364	0.353	0.311	0.344
	Z ₀ (m)	0.134	0.134	0.107	0.109	0.098	0.099	0.110	0.121
	ω ₁₃₆ (g)	0.02034	0.01990	0.02065	0.02039	0.01658	0.01609	0.01347	0.01524
	φ ₁₃₆ (g)	0.03181	0.03190	0.03354	0.03394	0.01972	0.02014	0.02335	0.02537
	κ ₁₃₆ (g)	0.00391	0.00366	0.00353	0.00347	0.00386	0.00364	0.00393	0.00310
Foto 137	X ₀ (m)	0.943	0.856	0.952	0.880	0.725	0.617	0.699	0.671
	Y ₀ (m)	0.616	0.537	0.600	0.524	0.573	0.492	0.499	0.493
	Z ₀ (m)	0.177	0.178	0.167	0.167	0.123	0.122	0.139	0.156
	ω ₁₃₇ (g)	0.02884	0.02521	0.02810	0.02462	0.02670	0.02300	0.02280	0.02242
	φ ₁₃₇ (g)	0.04220	0.03840	0.04260	0.03951	0.03241	0.02773	0.03119	0.03020
	κ ₁₃₇ (g)	0.00608	0.00535	0.00568	0.00504	0.00573	0.00513	0.00555	0.00528

Yapılan uygulamada fotoğrafların dış yöneltme parametrelerindeki hataların koordinatı bilinen noktaların dağılımı ve bağlantı noktalarının sayısı ile değişimi, Tablo 3 de gösterildi. Tablo 3 de projeksiyon merkezinin hataları metre (m), dönüklük elemanlarının hataları ise grad (g) biriminde verildi.

Projeksiyon merkezinin koordinatlarındaki hataların test noktalarının hatalarına göre daha büyük olduğu görülmektedir. X eksenindeki hata miktarı 0.43 m ile 1 m, Y ekseninde 0.30 m ile 0.62 m, Z ekseninde ise 0.09 m ile 0.28 m arasındadır. [8]

3. SONUÇ VE ÖNERİLER

Sayısal Fotogrametri teknolojide yaşanan gelişmelerden etkilenmektedir. Sayısal Fotogrametrik Nirengide ise gelişen bilgisayar teknolojisine bağlı

olarak yüksek çözünürlükteki fotoğrafları işleyebilme imkanı doğmuştur. Demet dengelemesi kısmında ise hesaplama külfeti azaltılmıştır.

Sayısal Fotogrametrik Nirengide bağlantı ve yer kontrol noktalarının fotoğraf koordinatlarının ölçülmesi ve diğer fotoğraftaki karşılığının bulunması önemlidir. Test kapsamında geliştirilen yazılımda bu işlemlerin yarı otomatik olarak yapılmıştır. Bu işlemlerin otomatik olarak yapılması fotogrametri uygulamalarında büyük kolaylık sağlayacaktır. Bu konuda çeşitli çalışmalar yapılmaktadır. İşlemlerin otomatik olarak yapılması Görüntü Eşleme algoritmalarının geliştirilmesi ile mümkündür.

Otomatik sistemlerde kullanıcının işleme müdahalesi yoktur. İşlemler tamamen yazılım tarafından yapılır. Fotoğraf başına 200 veya 300 kadar bağlantı noktası otomatik olarak seçilip diğer fotoğraftaki karşılıklar bulunur. Bu noktaların fotoğraf koordinatları dengeleme sonunda uyumsuz ölçüler testine tabi tutularak hatalı olan noktalar ayıklanır. Otomatik sistemlerde, yer kontrol noktaları zeminde bulunan işaretleri yardımı ile otomatik olarak tespit edilebilmektedir.

Test kapsamında geliştirilen yazılımda yapılan uygulamalarda elde edilen bazı pratik sonuçlar şunlardır ;

- a) Bağlantı noktalarının seçiminde ilk olarak sol ve sağ fotoğrafta bu noktanın bindirmeli bölgede bulunup bulunmadığı tespit edilmelidir.
- b) Bağlantı noktaları standart noktaların civarında seçilmelidir.
- c) Sol fotoğrafta seçilen bir nokta sağ fotoğrafta net olarak görülebilmelidir.
- d) Arazide bulunan bir objenin (ağaç, bina, kaya vb.) oluşturduğu gölge içinde nokta seçilmemelidir.
- e) Sol fotoğrafta seçilen noktanın etrafına çizilen dörtgen içinde gri değer değişimleri olmalıdır. Yani dörtgen içi tam siyah veya beyaz bir bölge olmamalıdır.
- f) Arazide bulunan hareketli objeler (insan, araç, hayvan vb.) bağlantı noktası olarak seçilmemelerine dikkat edilmelidir. Böyle bir noktanın seçilmesi durumunda sol fotoğrafta seçilen noktanın sağ fotoğraftaki konumu farklı olacaktır.
- g) Fotoğraf üzerinde belirgin, sabit , doğal veya yapay tesisler seçilmelidir.
- h) Noktaların fotoğraf koordinatlarının ölçümü hassas olarak yapılmalıdır.

Bu sonuçların dışında, yer kontrol noktalarının işaretleri zeminde düzgün yapılmalı ve fotoğraf çekim anına kadar bozulmamasına dikkat edilmelidir.

Çekilen fotoğrafların yüksek ayırma gücüne sahip olması değerlendirme işlemlerinin daha hassas yapılmasını sağlar. [8]

Çoklu nokta eşleme işlemleri sayısal fotogrametrik nirengi içinde yapılabilir. Seçilen bir nokta birden fazla fotoğrafta bulunabilir. Sayısal Fotogrametride GPS kullanılması ile projeksiyon merkezinin koordinatları bulunmaktadır.[9] Böylece dış yöneltme parametrelerinde sadece dönüklük elemanları bilinmeyen olarak kalmaktadır.

Geliştirilen yazılım daha büyük bir alanda test edilerek kontrol yapılmalıdır. Ayrıca yazılımda çoklu nokta eşlemesinin ve GPS ölçülerinin kullanımı bu hedefler arasında yer almaktadır.

Bu gelişmeler dikkate alındığında Sayısal Fotogrametrinin önümüzdeki yıllarda daha iyi bir seviyede olacağı görülmektedir. Sayısal Fotogrametrinin sağladığı bu imkanlar çerçevesinde fotogrametrik değerlendirme işlemleri daha hızlı ve hassas olarak yapılabilecektir.

KAYNAKLAR

1. Varlık A., Dijital Fotogrametride Alana Dayalı Görüntü Eşleme Yöntemleri, Yüksek Lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, (1999).
2. Yaşayan A., Fotogrametri Ders Notları, Karadeniz Teknik Üniversitesi Trabzon (1974).
3. Ackerman F., Tsingas V., Automatic Digital Aerial Triangulation, University of Stuttgart, Stuttgart, Photogrammetric Record, 15(89), 645 (1997).
4. Fritsch D., Digital Aerial Triangulation, Symposium on Digital Photogrammetry, İstanbul, 1, (1998).
5. Kraus K., Photogrammetry, 1, 276-282, Bonn, (1992).
6. Haala N., GPS/INS Integration, Tutorial Phowo, Stuttgart, 18, (1997).
7. Ackerman F., Krzystek P., Complete Automation of Digital Aerial Triangulation, Photometric Record, 15(89), 652, (1997).

8. Uysal M., Dijital Fotogrametride Alana Dayalı Görüntü Eşleme metotlarıyla Yarı Otomatik Havai Nirengi, Yüksek Lisans tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, (1999).
9. Çorumluoğlu Ö., GPS-Aerotriangulation In Observation Space, Ph.D Thesis, University of Newcastle, Newcastle, U.K. (1998).

