

HAVA FOTOĞRAFLARININ SENSÖR VE GELENEKSEL YÖNELTME MODELLERİ İLE YÖNELTİLMESİ

A. Öztürk^{a,*}, F. Karşlı^b, M. Dihkan^b

^aKTU, Trabzon Meslek Yüksek Okulu, Harita ve Kadastro Programı, 61300 Akçaabat/Trabzon - (ozturk_ali0661@hotmail.com)

^bKTU, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 61080 Trabzon – (fkarsli, mdihkan)@ktu.edu.tr

ÖZET:

Fotogrametrik çalışmalarda sayısal değerlendirme için, resimlerin çekimden sonra yönlendirme işleminin yapılması gerekir. Yönlendirmelerin yapılması çeşitli dik koordinat sistemleri arasında transformasyonu gerektirir. Genel amacı resimler yardımı ile harita üretmek, bir başka deyişle resim koordinatlarından arazi koordinatlarına ulaşmak olan fotogrametride bu işlem iki yöntem ile gerçekleştirilebilir. Birinci yöntem olarak adlandırılan analog yöntemle stereo değerlendirme aletlerinde karşılıklı ve mutlak yönlendirme işlemleri ile arazi koordinatlarına ulaşılır. İkinci olarak analitik yöntemle doğruluk ve eş düzlemsellik koşulu ile sayısal olarak resim koordinatlarından arazi koordinatlarına geçiş sağlanır.

Bu çalışmada, uydu görüntülerinin geometrik olarak düzeltilmesi amacıyla uygulanan matematiksel modellerden birisi olan Rasyonel Fonksiyon Modeli (RFM)'nin hava fotoğraflarına uygulanabilirliği ve modelin diğer klasik (geleneksel) metotlarla mukayesesi hedeflenmiştir. Bu kapsamda çalışma için Kırşehir ili Kaman ilçesine ait, Zeiss RMK -Top15 analog hava kamerasıyla bindirmeli olarak çekilmiş siyah beyaz hava fotoğrafı çifti kullanılmıştır. Uygulamada, sözü geçen görüntü çifti için farklı Yer Kontrol Noktası (YKN)-Denetim Noktası (DN) kümeleriyle parametrik olmayan matematiksel modeller kullanılarak verinin analizi yapılmıştır. Yer kontrol noktaları, Kaman ilçesine ait 1:1000 ölçekli halihazır haritadan temin edilmiştir. Kontrol ve denetleme noktaları farklı sayı ve yönde değişik kombinasyonlar oluşturacak şekilde seçilmiştir. MATLAB yazılımı ile kullanılan her bir matematiksel model için kod yazılmıştır. Fotogrametrik işlem ve metotlar için alternatif bir model olarak kullanılan RFM'nin farklı YKN-DN kümeleri kullanılarak diğer matematiksel modellerle kıyası irdelenmiştir. Noktaların resim koordinatları ile dengeleme sonucu bulunan koordinatları arasındaki farkların iki boyutlu hata vektörleri çizdirilmiştir. Çalışmada elde edilen test sonuçları, yüksek mertebeden polinomial fonksiyonların oranını kullanan RFM'nin klasik metotlara nazaran daha hassas sonuçlar verdiğini göstermiştir.

ANAHTAR KELİMELER: RFM, Parametrik Olmayan Modeller, Hava Fotoğrafı.

ORIENTATION OF AERIAL PHOTOGRAPHS USING SENSOR AND CONVENTIONAL ORIENTATION METHODS

ABSTRACT:

For a numerical evaluation in photogrammetric works, some calculations must be done after taking images. Making these calculations consists of transformation between different cartesian coordinate systems. In photogrammetry which the overall aim is to produce map with the help of images, in other words to reach from image coordinates to ground coordinates, this process can be achieved by two methods. In the analog method that can be called as the first method it is possible to reach with relative and absolute orientation process in stereo evaluation tools. As secondary in analytical method with the conditions of collinearity and coplanarity the numerical transition is provided from image coordinates to ground coordinates.

In this study, it is aimed at applicability of Rational Function Model (RFM) in the aerial photographs which is one of the mathematical models applied to satellite images and the comparison of this model with the other traditional methods. In this content, for the work the pair of panchromatic aerial photographs taken as overlap with Zeiss RMK-Top 15 analog aerial camera was used that belongs to Kırşehir, Kaman district. In practice, analysis of data have been made using non-parametric mathematics models with different sets of ground control points (GCPs)-check points (CPs) for the mentioned image pair. GCPs are supplied from 1:1000 scaled maps that belong to Kaman district. Control and check points are selected in such a way to form various combinations at different numbers and directions. Using MATLAB software, the codes have been written separately for the used mathematical models. Using different sets of GCPs-CPs, the comparison of RFM that is used alternative method for photogrammetric procedures and methods with other mathematical models are discussed. Two dimensional error vectors are formed according to the differences between ground coordinates of points and the coordinates calculated as a result of adjustment. As a result, according to the test results, it can be said that the RFM model have been given more accuracy results than the conventional models.

KEY WORDS: RFM, Non-Parametric Models, Aerial Photograph.

1. GİRİŞ

Fotogrametri, resimler (genellikle fotoğraf, video, CCD kamera veya tarayıcı ile kaydedilmiş teyp ya da diske aktarılmış görüntüler) üzerinden objelerin konum, büyüklük ve biçimini belirleyen bir bilim dalıdır. Fotogrametrik ölçme ve değerlendirmenin sonucunda üç tip ürün elde edilmesi mümkündür. Bunlar;

- Objelerin 3B koordinatları (x,y,z) ,
- Topoğrafik harita ve planlar,
- Düşeylenmiş fotoğraflar veya bu fotoğraflardan elde edilen haritalar (ortofoto),

şeklinde sıralanabilir.

Her hangi bir fotogrametrik işlem, veri derleme ve veri işleme olmak üzere iki temel safhada incelenebilir. Veri derleme; uygun ve gerekli fotoğrafların elde edilmesiyle ilgilidir. Veri işleme; fotoğraflar üzerindeki geometrik bilgiyi arzu edilen kullanım için uygun bir gösterime dönüştürmektir. Fotogrametride değerlendirme, kullanılan fotoğraf ve yöneme bağlı olarak analog, analitik ve sayısal (dijital) olmak üzere üç temel grup içerisinde ele alınır. Analitik değerlendirmenin temeli, komparatorda ölçülen resimlerden elde edilen verilerin istenilen koordinat sistemine dönüştürülmesine dayanır (Ayhan ve Tüdeş, 1997). Bu bağlamda fotogrametrik işlemler için parametrik ve parametrik olmayan bir takım matematiksel modeller geliştirilmiştir (Topan, 2004).

Parametrik matematiksel modeller, görüntü alım geometrisini dikkate alan modellerdir, bu modeller fotogrametrinin perspektif geometrisinin modellenmesi olan temel kolinearite eşitliğinin genişletilmiş yani değiştirilmiş şeklidir. Bu eşitliklerde sensör iç ve dış yönelme parametrelerine ek olarak yörünge bilgileri içerilmekte ve sensörün her bir doğrusal dizini için ayrı bir eşitlik yazılmaktadır. Kolinearite eşitlikleri esasında; birbirine paralel durumda olan resim koordinat düzlemi ile arazi koordinat düzlemi arasındaki geometrik dönüşümü ifade eder. Eşitlikler frame (çerçeve) ve pushbroom (doğrusal dizili) sensörleri için fiziksel (parametrik) modeller olarak kullanılabilir. Kolinearite eşitlikleri

$$x = x_p - c \frac{r_{11}(X - X_0) + r_{21}(Y - Y_0) + r_{31}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)} \quad (1)$$

$$y = y_p - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$

şeklinde yazılır. Burada X, Y, Z noktanın cisim uzayı koordinatlarını, x, y cisim noktasının görüntü koordinatlarını, x_p , y_p ve c kameranın iç yönelme elemanlarını, X_0 , Y_0 , Z_0 kamera izdüşüm merkezinin cisim uzayı koordinatlarını, r_{ij} ($i,j=1,2,3$) dönüklük matrisi elemanlarını göstermektedir.

Uzaktan algılama görüntülerinin geometrik düzeltilmesinde kullanılan parametrik olmayan modeller için görüntü koordinat sisteminde koordinatları ölçülen ve yer koordinat sisteminde koordinatları bilinen YKN (Yer Kontrol Noktası) verilerine gereksinim duyulmaktadır. YKN verileri aracılığıyla görüntü koordinat sistemi (x, y) ile yer koordinat sistemi (X, Y, Z) arasında matematiksel bir ilişki kurulabilir. Bu ilişki genel bir gösterimle, üç boyutlu uzayda:

$$x = \sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k \quad (2)$$

$$y = \sum_{i=0}^{n1} \sum_{j=0}^{n2} \sum_{k=0}^{n3} b_{ijk} X^i Y^j Z^k$$

veya iki boyutlu uzayda ise

$$x_i = \sum_{j=0}^N \sum_{k=0}^{N-j} a_{jk} X_i^j Y_i^k \quad (3)$$

$$y_i = \sum_{j=0}^N \sum_{k=0}^{N-j} b_{jk} X_i^j Y_i^k$$

şeklinde ifade edilir. Burada; N ve m=1.2.3, polinomun derecesini, a_{jk} , b_{jk} , a_{ijk} , b_{ijk} polinomyal katsayıları göstermektedir.

İki ve üç boyutlu parametrik olmayan matematiksel modeller, alım sisteminin parametreleri ve üç boyutlu (3D) fiziksel modeller olmadığında kullanılabilir (Toutin vd., 2002). Bu modeller görüntü alım geometrisini dikkate almadan geometrik düzeltme işlemi yapmakta ve bu nedenle genel bir yaklaşımı ifade etmektedirler. Görüntü alanı düz olduğunda, düşük dereceli polinomlar yeterli derecede iyi sonuçlar vermektedir. Bu durumda model; birinci dereceden iki boyutlu polinomlar (afin) olarak sunulmaktadır. Bu modelin Z değeri kullanılarak değiştirilmiş hali, afin dönüşümü gibi doğrusaldır ve sekiz parametrelidir ve yükseklik değerini kullanan afin dönüşüm olarak adlandırılabilir (Topan, 2004).

$$\begin{aligned} x &= a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4XZ + a_5YZ \\ y &= b_0 + b_1X + b_2Y + b_3Z + b_4XZ + b_5YZ \end{aligned} \quad (4)$$

(4) eşitliği matematiksel modeli matris gösterimi ile yazılırsa,

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & X_i & Y_i & Z_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & X_i & Y_i & Z_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ b_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \quad (5)$$

şeklinde olur. Burada x_i , y_i resim koordinatlarını, X_i , Y_i , Z_i arazi koordinatlarını, $a_0, a_1, \dots, a_3, b_0, b_1, \dots, b_3$ bilinmeyen model katsayılarını göstermektedir. (3) genel eşitliğinin açık halinin ilk dört terimi alınarak bi-linear dönüşüm eşitlikleri için,

$$\begin{aligned} x_i &= a_0 + a_1X + a_2Y + a_3XY \\ y_i &= b_0 + b_1X + b_2Y + b_3XY \end{aligned} \quad (6)$$

denklemleri yazılabilir. Bilinmeyen a_i , b_i parametreleri bulunarak dönüşüm yapılır. Pratikte, dönüşüm fonksiyonu olarak en sık kullanılan dönüşüm yöntemidir. Her iki görüntüdeki dört çift ortak nokta, dönüşümü belirlemek için yeterlidir (Zhang, 2001). Matematiksel model matris gösterimi ile yazılırsa,

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_i & Y_i & X_iY_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & X_i & Y_i & X_iY_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix} \quad (7)$$

şeklinde olur. Burada x_i , y_i resim koordinatlarını, X_i , Y_i , Z_i arazi koordinatlarını, $a_0, a_1, \dots, a_3, b_0, b_1, \dots, b_3$ bilinmeyen model katsayılarını göstermektedir.

Doğrusal dönüşümlerin en genel hali olan projektif dönüşüm, görüntülerdeki merkezi izdüşümden kaynaklanan perspektif etkinin giderilmesi amacıyla kullanılır. Görüntülerdeki perspektif etki giderilerek ortogonal bir görüntü elde

edilir. Yani görüntü paralel izdüşümle elde edilmiş gibi nesne düzlemine paralel bir hale getirilir (Temiz ve Doğan, 2005). Dönüşüm, iki düzlem arasındaki ilişkiyi tanımlar. İki görüntüdeki karşılıklı dört nesne noktasından elde edilen sekiz parametreyle tanımlanır. İç ve dış yöneltme elemanlarına gerek yoktur. Çünkü bu parametreler yöneltme elemanlarını içerir (Novak, 1992). Dönüşüm fonksiyonları;

$$x = \frac{a_1X + a_2Y + a_3}{c_1X + c_2Y + 1}$$

$$y = \frac{b_1X + b_2Y + b_3}{c_1X + c_2Y + 1}$$
(8)

biçimindedir. Fonksiyon dikkatlice incelenirse, kolinearite eşitliklerine benzemektedir. Buradaki a_i , b_i ve c_i parametreleri kolinearite denklemleri yardımıyla hesaplanır. Kolinearite denklemlerinde “Z=0” alınıp, $(-r_{33}.c)$ ile bölünürse, kolinearite eşitlikleri (8) deki şeklini alır. Burada r_{33} , dönüklük matrisinin elemanı ve c kameranın asal uzaklığıdır. Matematiksel model matris gösterimi ile yazılırsa,

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i & Y_i & 1 & -x_iX_i & -x_iY_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -y_iX_i & -y_iY_i & X_i & Y_i & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ c_1 \\ c_2 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$$
(9)

şeklinde olur. Burada x_i , y_i resim koordinatlarını, X_i , Y_i , Z_i arazi koordinatlarını, a_1 , a_2 , a_3 , b_1 , b_2 , b_3 , c_1 , c_2 bilinmeyen model katsayılarını göstermektedir.

Fotogrametride sıkça kullanılan kolinearite bağıntılarının metrik olmayan fotogrametrik çalışmalar için yeniden parametrize edilmiş şekli ise Direct Linear Transformation (DLT) modelidir. Benzer olarak bu yöntem, uzaktan algılamada da bu amaçla kullanılabilir. Metrik uygulamalarda da kullanılabilen bu yöntem, bilgisayar programcılığı açısından kolaylıkla uygulanabilmektedir (Abdel-Aziz and Karara, 1971). a_1, a_2, \dots, a_{11} DLT parametreleridir. Parametrelerin hesaplanması için en az altı adet yer kontrol noktasına ihtiyaç vardır. DLT, birinci mertebeden polinomiyal fonksiyonlar ortak bir payda ile göz önünde tutulduğunda RFM'nin özel bir formudur. DLT yönteminin on bir parametreliliği genel eşitliği;

$$x_c = \frac{a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4}{a_9X + a_{10}Y + a_{11}Z + 1}$$

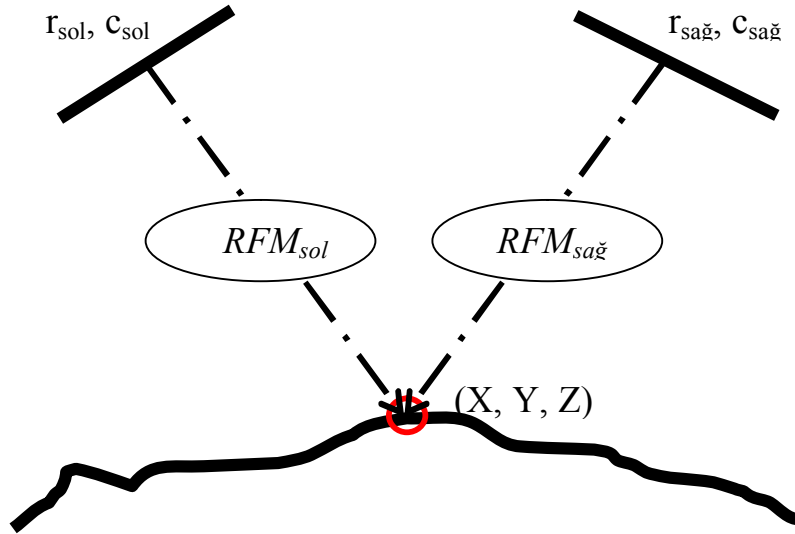
$$y_c = \frac{a_5X + a_6Y + a_7Z + a_8}{a_9X + a_{10}Y + a_{11}Z + 1}$$
(10)

şeklinde dir. Formülasyonda x_c , y_c görüntü koordinatlarını, X, Y, Z arazi koordinatlarını ifade eder. Matematiksel model matris gösterimi ile yazılırsa,

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i & Y_i & Z_i & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_iX_i & -x_iY_i & -x_iZ_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_i & Y_i & Z_i & 1 & -y_iX_i & -y_iY_i & -y_iZ_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \\ a_9 \\ a_{10} \\ a_{11} \end{bmatrix}$$
(11)

şeklinde olur. Burada x_i , y_i resim koordinatlarını, X_i , Y_i , Z_i arazi koordinatlarını, $a_1, a_2, a_3, \dots, a_{11}$ bilinmeyen model katsayılarını göstermektedir.

Sensör (alıcı) modelleri görüntü uzayı ve obje uzayı arasındaki geometrik ilişkiyi tanımlar. Fiziksel sensör modelinde parametreler, obje uzay koordinat sistemine göre sensörün konumunu ve oryantasyonunu (yöneltilme) tanımlar. Fiziksel sensör modellerinin gelişiminin, görüntü parametrelerine (iç ve dış yöneltilme parametreleri) ve fiziksel sensör bilgilerine ihtiyacı vardır (Tao ve Hu, 2001a). Genelleştirilmiş sensör modelleri ise, sensör tiplerinden ve sensör platformlarından bağımsızdır. Bu modeller görüntü uzayı ve obje uzayı arasındaki ilişkiyi rasyonel fonksiyonlarla sağlar (Hosseini, 2008). İki adet polinomial fonksiyonun oranını kullanan RFM (Rational Function Model) (OGC, 1999) genelleştirilmiş sensör modellerinden birisidir. Genel olarak, optik projeksiyonların sebebiyet verdiği distorsiyonlar birinci mertebeden polinomial katsayılar olarak ifade edilebilir. Yer yuvarı eğriliği, atmosferik refraksiyon, mercek distorsiyonunun sebebiyet verdiği hatalar ikinci mertebeden polinomial katsayılarla düzeltilebilir (Tao vd., 2000). Yüksek mertebeden bileşenli diğer bilinmeyen distorsiyonlar, RFM’de üçüncü mertebeden terimlerin kullanımı ile modellenilebilir. Yukarıda tanımlanan modellerle, eşitlik (12)’nin karşılaştırılmasında, RFM’nin genelleştirilmiş bir ifade olduğu söylenilebilir. Eşitlik (1), (2), (3), (4), (6), (8), (10) farklı katsayılar (RFCs) kullanılarak eşitlik (12)’den çıkarılabilir. Diğer bir deyişle RFM polinomların kapsamlı bir formudur. Kolinearite eşitlik modeli, Perspektif transformasyon model, DLT model matematiksel olarak esasen RFM’nin birinci mertebeden bir formudur. İki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) polinomial modeller, matematiksel ifadelerindeki paydalarının 1’e eşit olması durumunda, RFM’nin özel bir durumudur. Verilen n adet arazi koordinatı ve ilişkili olarak resim koordinatlarıyla, bilinmeyen rasyonel fonksiyon katsayıları RFM’nin lineerleştirilmiş formuyla çözülebilir. Direkt en küçük kareler ve iteratif en küçük kareler metodu katsayıları (RFCs) hesaplamada kullanılabilir (Tao ve Hu, 2000). Yüksek mertebeden polinomial fonksiyonların oranını kullanan RFM ile bindirmeli bölgedeki resim koordinatlarından arazi koordinatlarına geçiş sağlanır (Şekil 1). Son yıllarda bu konu ile ilgili yayımlanmış pek çok çalışma mevcuttur (Zhang, 2001; Tao ve Hu 2001b; Kim, E.M., Morgan, M., Kim, C.J., Kim, K.O., Jeong,S., ve Habib, A., 2005).



Şekil 1. Rasyonel fonksiyon modeli

RFM iki polinomial fonksiyonun oranını kullanır (Greve, 1992) ve

$$r_n = \frac{p1(X_n, Y_n, Z_n)}{p2(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{\sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} a_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^{n1} \sum_{j=0}^{n2} \sum_{k=0}^{n3} b_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k} \quad (12)$$

$$c_n = \frac{p3(X_n, Y_n, Z_n)}{p4(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{\sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} c_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^{n1} \sum_{j=0}^{n2} \sum_{k=0}^{n3} d_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}$$

olarak tanımlanır. Burada n nokta sayısı olmak üzere r_n ve c_n ayrı görüntülerdeki piksellerin satır ve sütun indekslerini (indis) göstermektedir. X_n, Y_n, Z_n obje noktalarının normlandırılmış koordinat değerlerini, (NIMA, 2000) $a_{ijk}, b_{ijk}, c_{ijk}, d_{ijk}$ polinomial katsayıları göstermektedir (OGC, 1999). Matematiksel model matris gösterimi ile yazılırsa,

$$\begin{bmatrix} B_1 v_{r1} \\ B_2 v_{r2} \\ \vdots \\ B_n v_{rn} \\ - \\ D_1 v_{e1} \\ D_2 v_{e2} \\ \vdots \\ D_n v_{en} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_1 & \dots & X_1^3 & | & -r_1 Z_1 & \dots & -r_1 X_1^3 & | & 0 & \dots & 0 & | & 0 & \dots & 0 \\ 1 & Z_2 & \dots & X_2^3 & | & -r_2 Z_2 & \dots & -r_2 X_2^3 & | & 0 & \dots & 0 & | & 0 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & | & \vdots & \dots & \vdots & | & \vdots & \dots & \vdots & | & \vdots & \dots & \vdots \\ 1 & Z_n & \dots & X_n^3 & | & -r_n Z_n & \dots & -r_n X_n^3 & | & 0 & \dots & 0 & | & 0 & \dots & 0 \\ - \\ 0 & \dots & 0 & | & 0 & \dots & 0 & | & 1 & Z_1 & \dots & X_1^3 & | & -c_1 Z_1 & \dots & -c_1 X_1^3 \\ 0 & \dots & 0 & | & 0 & \dots & 0 & | & 1 & Z_2 & \dots & X_2^3 & | & -c_2 Z_2 & \dots & -c_2 X_2^3 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & | & \vdots & \dots & \vdots & | & \vdots & \dots & \vdots & | & \vdots & \dots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 & | & 0 & \dots & 0 & | & 1 & Z_n & \dots & X_n^3 & | & -c_n Z_n & \dots & -c_n X_n^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_{19} \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_n \\ c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_{19} \\ d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_{19} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_n \\ c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix} \quad (13)$$

$\underline{L} = \underline{L} + \underline{v} = \underline{A} \underline{dx}$
 bağıntısı yazılabilir. Bağlıntıda;
 $\underline{\bar{L}}$: Dengeli görüntü koordinatları vektörü,
 \underline{L} : Ölçülen görüntü koordinatları vektörü,
 \underline{A} : Düzeltme denklemlerinin katsayıları vektörü,
 \underline{dx} : Dengeleme bilinmeyenleri vektörü,
 \underline{v} : Düzeltmeler vektörüdür.
 \underline{dx} bilinmeyenler vektörü ve
 \underline{v} düzeltmeler vektörünün çözümü aşağıdaki gibidir.
 $\underline{dx} = (\underline{A}^T \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{L}$
 $\underline{v} = \underline{A} \underline{dx} - \underline{L}$

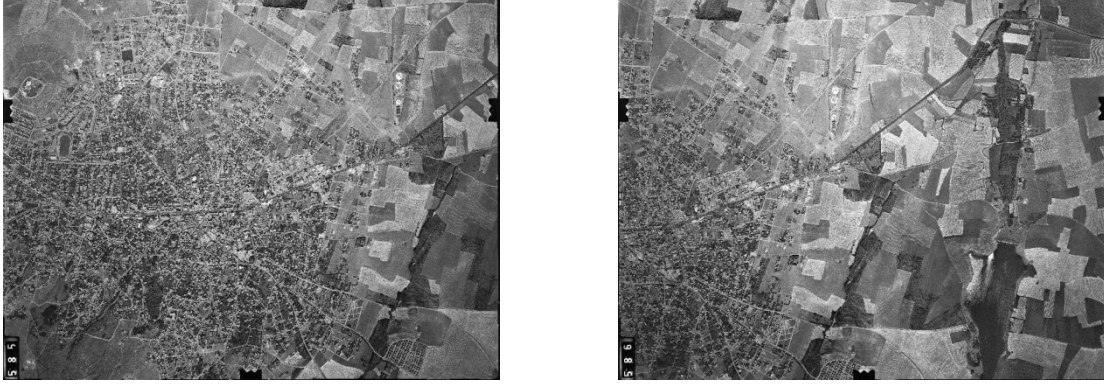
eşitliği elde edilir. Bu çalışma, genelleştirilmiş sensör modellerinden birisi olan RFM'nin hava fotoğraflarına uygulanabilirliğini ve diğer geleneksel yaklaşımlarla karşılaştırılmasını amaçlamaktadır.

2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

Uydu görüntülerinin geometrik olarak düzeltilmesi amacıyla uygulanan matematiksel modellerden birisi olan Rasyonel Fonksiyon Modeli (RFM)'nin hava fotoğraflarına uygulanabilirliği ve modelin diğer klasik (geleneksel) metotlarla karşılaştırılması için önce, seçilen çalışma bölgesi içinde Yer Kontrol Noktası (YKN) ve Denetleme Noktası (DN) kümeleri belirlenmiştir. Daha sonra RFM ve diğer modellerin matematiksel olarak çözümleri MATLAB programında ayrı ayrı geliştirilen değerlendirme yazılımları ile yapılmıştır. Geometrik dönüşüm sonuçlarına göre, matematiksel modeller birbirleri ile karşılaştırılmıştır. Ayrıca Yer Kontrol Noktası (YKN) ve Denetleme Noktası (DN) sayı ve dağılımlarına göre de bir karşılaştırma yapılmıştır.

2.1. Çalışma Alanı ve Kullanılan Veriler

Uygulama Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi İli olan Kırşehir'in Kaman ilçe sınırlarını kapsayan bir alanda yapılmıştır. Çalışma için kullanılan siyah beyaz hava fotoğrafı çifti Zeiss RMK -Top15 analog hava kamerasıyla çekilmiş olup kentsel ve kırsal alanları içermektedir (Şekil 2). Çalışma alanında düz bir yeryüzü topografyası hâkimdir. Uygulama için kullanılan diğer bir veri kaynağı olan 1/1000 ölçekli hali hazır harita ise kırsal alanları kısmen kapsamaktadır. Kırsal alanlara doğru ilerledikçe uygulama için çok önemli bir işlem basamağı olan Yer Kontrol Noktası (YKN) ve Denetleme Noktası (DN) seçimi detay azlığından ötürü güçleşmiştir. Bu alanlarda (kırsal) dağınık tarımsal araziler dikkat çekmektedir. Bu araziler üzerindeki Elektrik Nakil Hattı (ENH) direkleri ve az sayıda da olsa mevcut yapılaşmalar zor olan nokta seçiminde büyük kolaylık sağlamıştır. Kırsal alanlarda mevcut bir ormanlaşmanın olmayışı da nokta seçiminde yine büyük bir kolaylık sağlamıştır. Şehirleşme bölgeden geçen Ankara karayolunun iki yakası boyunca oluşmuştur ve batı ve güney yönlerine doğru hızlı bir gelişme göstermektedir.



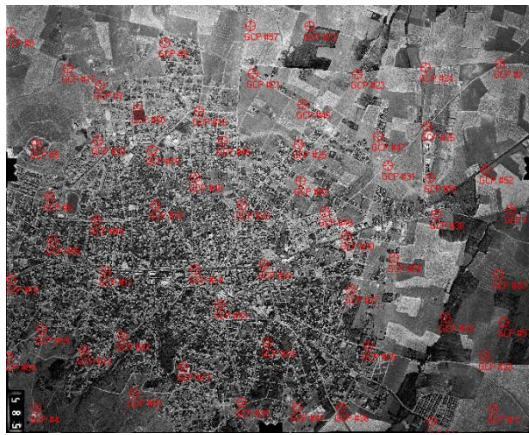
Şekil 2. Siyah beyaz hava fotoğrafı çifti (Kaman/Kırşehir)

1/1000 ölçekli halihazır haritaya göre güncel sayılabilecek bu fotoğraf 2007 yılına aittir. Fotoğraf çekiminde, hava fotogrametrisinde çok yaygın olan, maliyeti normal renkli filmlere nazaran daha ucuz olan siyah beyaz film kullanılmıştır. Analog kameralarla çekilen resimler fotogrametrik tarayıcılar kullanılarak dijital formata dönüştürülmüştür. Çalışmada kullanılan resimlerin tarama piksel boyutu ise 21 μm 'dir.

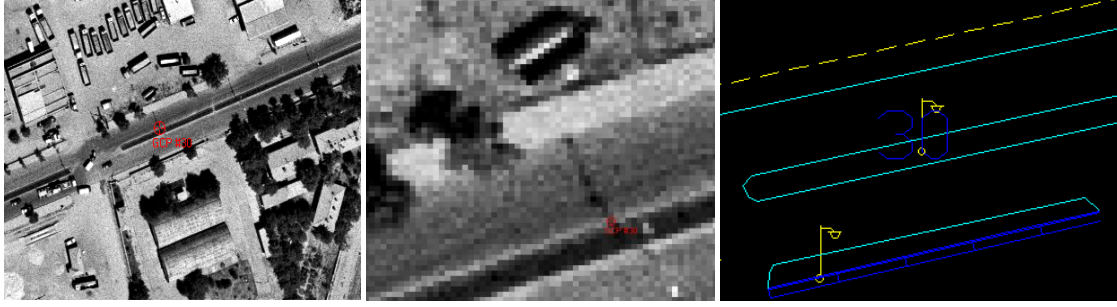
Bu çalışmada MATLAB R2007a yazılımında her bir matematiksel model için birer program yazılmıştır. Bu programlar, giriş dosyasında sırasıyla x , y , sağa, yukarı, yükseklik değerlerini okumakta, okunan değerleri $[-1,1]$ aralığına normlandırmakta ve her bir noktanın ilgili transformasyon sonuçlarını hesaplamaktadır. Ayrıca geliştirilen yazılım yardımı ile bu noktaların x , y , yönündeki hataları, noktaların karesel ortalama hataları (RMS), nokta grubundaki maksimum, minimum değerler hesaplatılmıştır.

2.2. Yer Kontrol Noktası (YKN)

Çalışmada kullanılan yer kontrol noktalarının arazideki değerleri, daha önceden temin edilen aynı bölgeye ait 1/1000 ölçekli halihazır haritadan alınmıştır. Noktalar mümkün olduğunca yeri belirli olan kavşak, kesişim yeri, elektrik direği, telefon direği, trafo gibi yerlerden seçilmiş, bina, bina köşesi vb yerler nokta olarak tercih edilmemiş ve ayrıca zemine yakın yerlerde nokta seçimine öncelik verilmiştir. İlk dört YKN noktasının görüntünün köşelerine yakın yerlerde seçilmesi uygundur. Noktaların görüntü üzerine homojen biçimde dağılmış olmasına dikkat edilmiştir (Şekil 3). Uygulamada kullanılan metotlar için, hem hâlihazırda hem de görüntüde seçilebilen yeterli sayıda YKN oluşturulmuştur (Şekil 4). Bu noktaların belirli bir kısmı denetleme noktası bir kısmı ise kontrol noktası olarak atanmıştır. Daha sonra denetleme noktaları belirli bir sayıda kademeli olarak artırılarak kontrol noktaları azaltılmıştır. Burada amaç kontrol nokta sayısının, geometrik düzeltme üzerindeki etkisini belirlemek ve irdeleyebilmektir. Benzer işlemler bir de noktaların homojen olmayan biçimde dağılımıyla ilgili olarak yapılmıştır.



Şekil 3. Yer Kontrol Noktalarının görüntü üzerinde dağılımı



Şekil 4. Hava fotoğrafı ve hâlihazır haritadan YKN seçimi

3. İRDELEME

3.1. Homojen Dağılımdaki YKN –DN Kümelerine Ait İrdelemeler

Her bir metot için Yer Kontrol Noktası (YKN) ve Denetleme Noktası (DN) kümeleri oluşturulmuştur. Kümeler oluşturulurken metotların çözümleri için gerekli minimum YKN belirlendikten sonra, belirli bir sayıda YKN'ler artırılıp DN'ler ise azaltılmıştır. Bu kümelerine ait, x , y , yönündeki hatalar, noktaların karesel ortalama hataları (RMS), nokta grubundaki maksimum, minimum ve ortanca değerler her bir metot ve nokta kümesi için mevcuttur. Homojen dağılımdaki bu kümelerde; x yönünde 0.016 mm, y yönünde 0.009 mm'lik hata ile en iyi test sonucunu polinomial iki rasyonel fonksiyonun oranı şeklinde ifade edilen Rasyonel Fonksiyon (Rational Function) modeli sağlamaktadır. En kötü test sonucu ise, x yönünde 1.445 mm, y yönünde 1.029 mm'lik hata ile yükseklik değerini kullanan Afin dönüşüm ile elde edilmiştir. İki boyutlu (2D) polinomial modellerin açık şeklinin ilk dört terimi alınarak elde edilen Bi-lineer dönüşüm ile elde edilen test sonuçları ve Afin dönüşümle elde edilen test sonuçları birbirine yakındır.

Matematiksel olarak RFM'nin özel bir durumu olan DLT ile Projektif dönüşüm, Afin ve Bi-lineer dönüşüm metodundan daha iyi test sonuçları ile RFM hassasiyetine yaklaşmaktadır. Diğer yandan paydadaki fonksiyonların birbirine eşit olmadığı durum için RFM çözümü en hassas test değerlerini verirken, paydaların bir (1) reel sayısına eşit olma durumundaki RFM çözümü ise DLT dönüşümüne yakın değerler vermektedir. Çünkü iki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) düşük mertebeden polinomial modeller, matematiksel ifadelerinde paydalarının 1'e eşit olması durumunda RFM'nin özel durumlu halleridir. Resim koordinatlarından arazi koordinatlarına geçiş için uygulanan RFM çözümü için en hassas; x yönünde 82.083 mm, y yönünde ise 19.262 mm hata ile arazi koordinatlarına geçiş sağlanmıştır. En kaba olarak da x yönünde 221.314 mm, y yönünde 98.421 mm hata ile arazi koordinatlarına geçiş sağlanmıştır. YKN denetimi için RFM hariç diğer dönüşüm modellerinde nokta sayısı arttıkça az da olsa x ve y yönünde hata miktarları azalmaktadır. Kümeler arasında DN doğruluğu içinde benzer bir eğilim görülmektedir. Kümelerde x doğrultusu ile y doğrultusu arasındaki maksimum fark Bi-lineer dönüşüm ile elde edilmiştir (Tablo 1, Şekil 5).

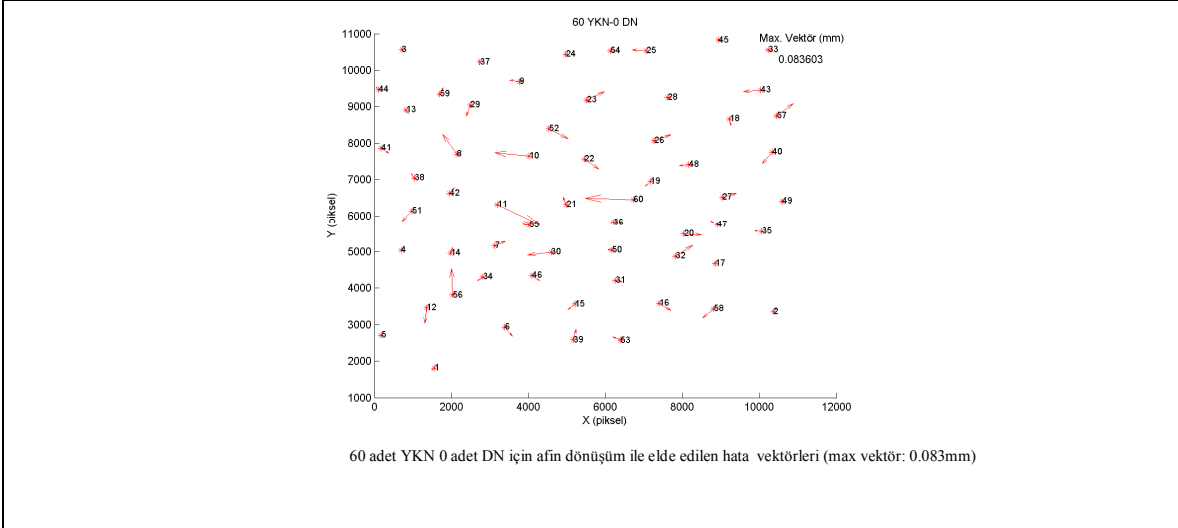
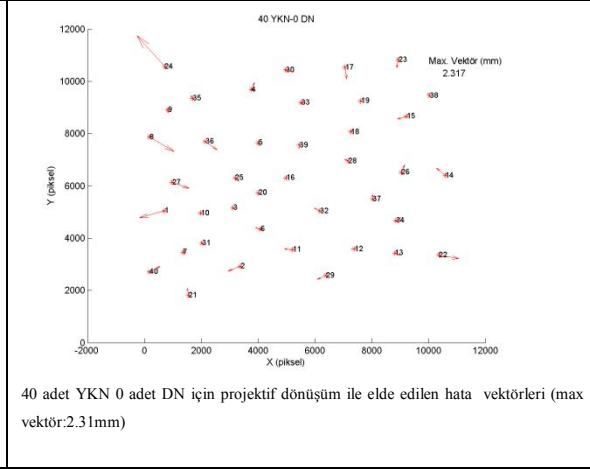
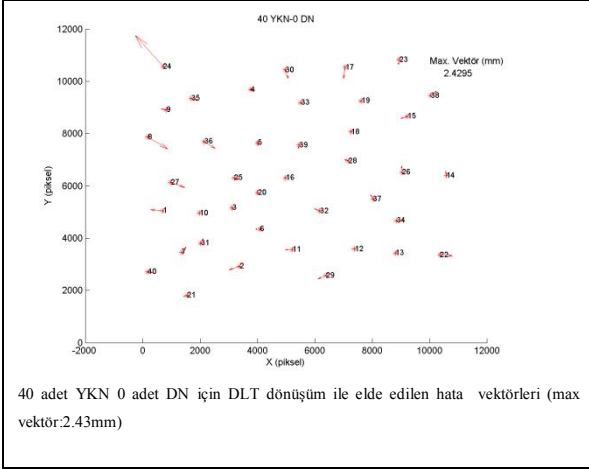
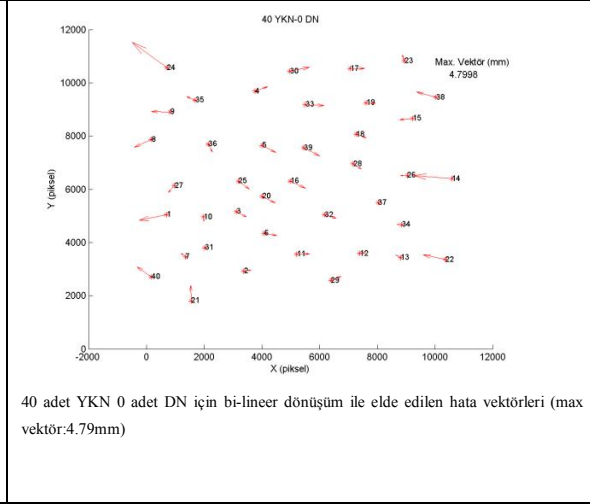
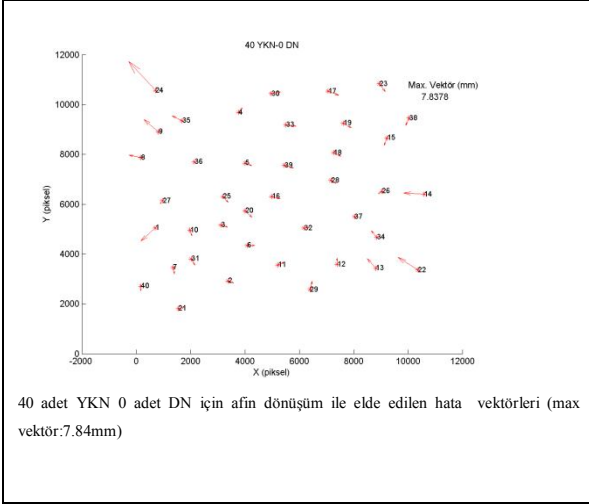
Tablo 1. Homojen ve heterojen dağılımdaki nokta kümeleri

Model	YKN	DN	YKN(mm)		DN(mm)	
			mx	my	mx	my
Afin	40	0	1,363	1,077	.....	.....
	20	20	1,309	1,108	1,445	1,029
	15	25	1,543	1,348	1,281	0,939
	10	30	1,712	1,636	1,283	0,920
	6	34	1,858	1,975	1,268	0,947
Bi-lineer	40	0	1,322	0,559	.....	.....
	20	20	1,231	0,721	1,430	0,403
	15	25	1,223	0,703	1,408	0,485
	10	30	1,378	0,876	1,309	0,464
	6	34	0,763	0,828	1,330	0,492
Projekti ve	40	0	0,339	0,266	.....	.....
	20	20	0,401	0,330	0,308	0,212
	15	25	0,417	0,345	0,307	0,233
	10	30	0,534	0,424	0,291	0,223
	6	34	0,178	0,370	0,345	0,242
DLT	40	0	0,298	0,226	.....	.....
	20	20	0,365	0,292	0,242	0,164
	15	25	0,346	0,290	0,263	0,186
	10	30	0,464	0,332	0,253	0,175
	6	34	0,187	0,136	0,299	0,192
RFM (Arazide Resme Geçiş)	60	0	0,016	0,010	.....	.....
	55	5	0,012	0,006	0,028	0,020
	50	10	0,008	0,004	0,024	0,015
	45	15	0,004	0,002	0,020	0,012
	40	20	0,000	0,000	0,016	0,009
RFM (Arazide Resme Geçiş B=D)	60	0	0,018	0,017	.....	.....
	55	5	0,013	0,012	0,044	0,032
	50	10	0,012	0,012	0,028	0,022
	45	15	0,008	0,009	0,024	0,017
	40	20	0,003	0,004	0,020	0,014
RFM (Arazide Resme Geçiş B=D=1)	60	0	0,112	0,114	.....	.....
	55	5	0,105	0,119	0,134	0,042
	50	10	0,084	0,113	0,159	0,109
	45	15	0,085	0,116	0,124	0,108
	40	20	0,069	0,107	0,118	0,109
RFM (Resimden Araziye Geçiş)	60	0	52,659	23,922	.....	.....
	55	5	343,809	210,267	82,083	19,262
	50	10	1,436	41,156	221,314	98,421
	45	15	37,773	14,639	147,878	79,740
	40	20	88,264	88,295	123,158	65,035

Homojen dağılımdaki YKN-DN kümeleri

Model	YKN	DN	YKN(mm)		DN(mm)	
			mx	my	mx	my
Afin	40	0	1,363	1,077	...	...
	20	20	0,836	0,326	1,642	1,155
	15	25	0,506	0,236	1,498	0,999
	10	30	0,350	0,114	1,312	0,893
	6	34	0,280	0,076	1,191	0,803
Bi-lineer	40	0	1,322	0,559	...	...
	20	20	0,661	0,221	1,530	0,695
	15	25	0,438	0,123	1,396	0,599
	10	30	0,386	0,055	1,228	0,532
	6	34	0,086	0,007	1,134	0,474
Projekti ve	40	0	0,339	0,266	...	...
	20	20	0,190	0,082	0,365	0,320
	15	25	0,183	0,082	0,325	0,267
	10	30	0,157	0,057	0,299	0,253
	6	34	0,096	0,086	0,280	0,228
DLT	40	0	0,298	0,226	...	...
	20	20	0,121	0,067	0,328	0,293
	15	25	0,066	0,034	0,287	0,252
	10	30	0,074	0,037	0,246	0,215
	6	34	0,021	0,051	0,220	0,191
RFM (Arazide Resme Geçiş)	55	0	0,016	0,008	...	...
	50	5	0,010	0,004	0,011	0,007
	45	10	0,004	0,002	0,011	0,009
	40	15	0,001	0,000	0,008	0,006
	55	0	0,018	0,015	...	...
RFM (Arazide Resme Geçiş B=D)	50	5	0,012	0,011	0,011	0,006
	45	10	0,008	0,007	0,015	0,011
	40	15	0,010	0,007	0,012	0,009
	55	0	0,110	0,115	.....	.....
	50	5	0,115	0,110	0,053	0,133
RFM (Arazide Resme Geçiş B=D=1)	45	10	0,118	0,099	0,051	0,131
	40	15	0,091	0,102	0,067	0,107
	55	0	42,337	32,525	.....	.....
	50	5	325,911	76,359	9,518	7,447
	45	10	20,307	41,407	262,048	50,029
RFM (Resimden Araziye Geçiş)	40	15	793,106	98,296	177,646	46,905

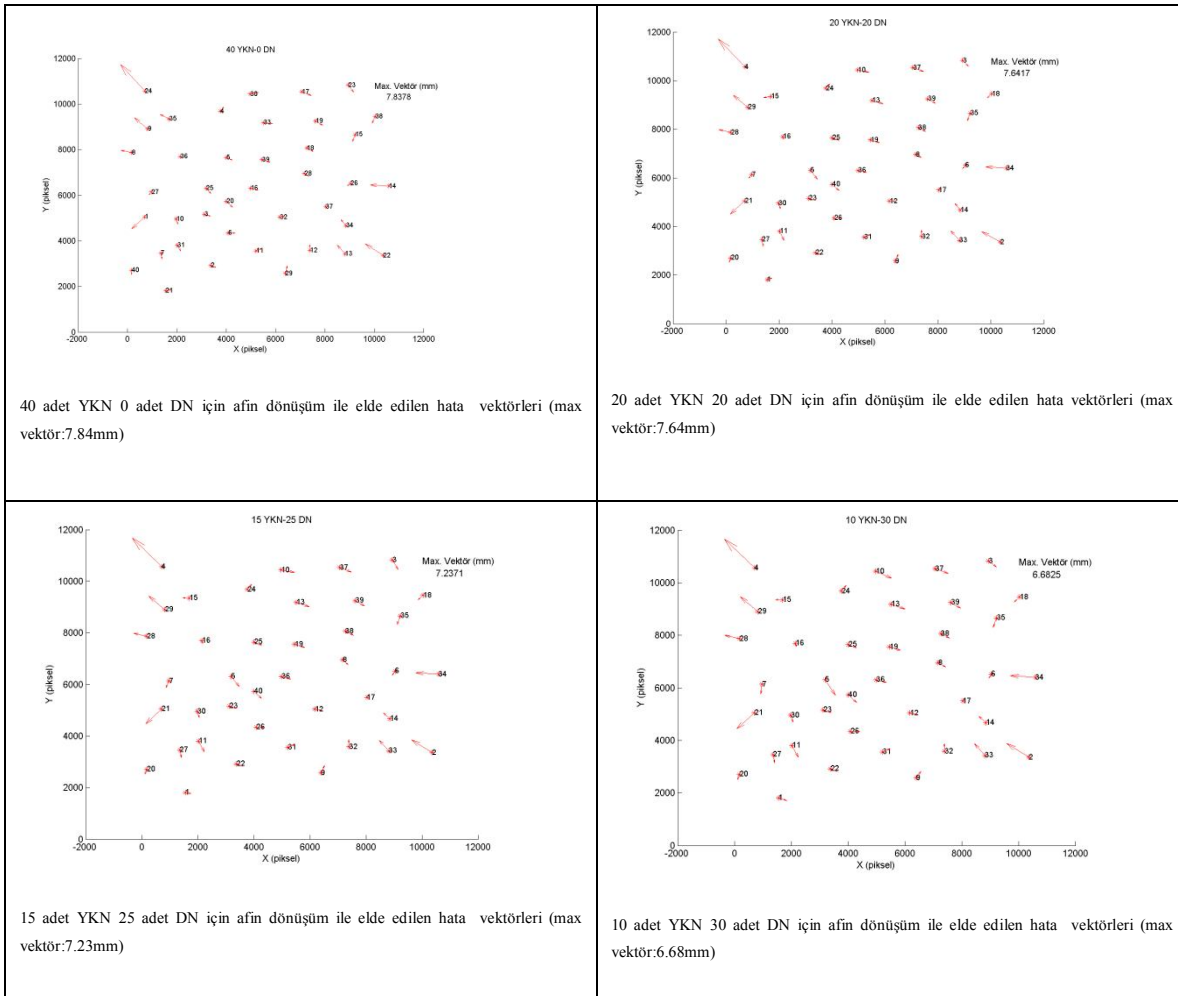
Heterojen dağılımdaki YKN-DN kümeleri



Şekil 5. Dönüşüm modelleri için çizdirilen hata vektörleri

3.2. Heterojen Dağılımdaki YKN –DN Kümelerine Ait İrdelemeler

Nokta dağılımlarının test sonuçlarına nasıl bir etki ettiğini görmek için heterojen olarak düzenlenen YKN-DN kümelerinde homojen dağılımlı kümelerle nazaran ilgili metotlara oranla daha kaba sonuçlar elde edilmiştir. Ancak RFM metodu homojen dağılımdaki kümelerle yakın test sonuçları vermiştir. Heterojen dağılımdaki bu kümelerde de, metotların hassasiyet sıralaması bakımından diğer dağılımdaki kümelerle benzer test sonuçları elde edilmiştir. En iyi doğruluk derecesi yine RFM metoduyla elde edilirken, en kötü doğruluk derecesi ise yükseklik değerini kullanan Afin dönüşüm metodundan sağlanmıştır. Bi-lineer dönüşüm Afin Dönüşüm ile kaba sonuçlar verirken, DLT ve Projektif dönüşüm daha iyi sonuçlarla RFM metoduna yaklaşmaktadır. Paydaların birbirinden farklı olma durumu RFM'nin kendi içinde en iyi kombinasyonu olup en hassas sonuçları vermiştir. Resim koordinatlarından arazi koordinatlarına geçişte DN doğruluğu için x ve y yönünde daha hassas değerler elde edilmiştir. Yer kontrol ve denetleme noktaları için Afin, Bi-lineer, Projektive ve DLT metotlarında nokta sayısı arttıkça heterojen dağılım sebebi ile x ve y yönünde hata miktarları az da olsa artmaktadır (Tablo1,Şekil 6).



Şekil 6. Dönüşüm modelleri için heterojen dağılımda çizdirilen hata vektörleri

4.SONUÇLAR

Görüntünün büyük bir alanı kapsamasına rağmen mevcut hali hazırın daha kısıtlı bir alanı kapsamasından ötürü çalışma alanı sınırlanmıştır. Bu kısıtlı alan, bize nokta sayısı ve yerinin tercihinde sınırlamalar getirmiştir. Kırsal kesimlere doğru ilerledikçe, belirgin olarak detay sayısı azalmakta, bu durum seçilebilecek noktaların sayısını ve hassasiyetini düşürmektedir. İstenilen her yerde nokta seçilemediğinden dolayı, nokta dağılımı istenilen derecede homojen olamamıştır. Yer kontrol noktalarının, jeodezik ölçüm yerine hâlihazır haritadan seçiminin çalışmada bize hassasiyet

konusunda önemli bir dezavantaj sağlamış olduğu açıktır. Yine hâlihazırın ve görüntünün eş zamanlı olmayışı nokta seçiminde problem teşkil etmiştir.

Elde edilen test sonuçlarına göre, RFM'nin hava fotoğraflarının geometrik olarak düzeltilmesi için uygulanabilirliği hususunda makul sonuçlar elde edilmiştir. Her iki dağılımdaki YKN-DN kümelerinde, x ve y doğrultusunda daha düşük hata oranı ile RFM' diğer klasik metotlara nazaran üstün bir performans sağlamıştır. İki polinomyal fonksiyonun oranını kullanan RFM'nin paydalarının çeşitli kombinasyonlarla oluşturduğu diğer metotlar da klasik metotlardan daha başarılı sonuçlar vermiştir. Çalışmada yükseklik değerini kullanan Afin dönüşümü ile hata oranı en yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Homojen dağılımdaki kümelerde, klasik metotlar için YKN sayısı arttıkça her iki doğrultudaki hata miktarları azalmaktadır. YKN ve DN doğrulukları için YKN sayısı azaldıkça ve DN sayısı arttıkça, genelde dikkate değer bir düşüş veya yükseliş olmadığı söylenebilir. Bunun nedeni, YKN-BDN testi sırasında nokta dağılımının uygun seçilmiş olmasıdır. Heterojen dağılımdaki kümelerde ise yine klasik metotlar için nokta sayısına paralel olarak hata miktarı artmaktadır. Noktaların düzensiz bir biçimde yığın halinde dağılmasının test sonuçlarına etkisi klasik modellerde rahatlıkla görülebilmektedir. RFM'de ise her iki dağılımda da birbirine yakın sonuçlar elde edilmiştir. Bu sonuç üzerinde modelin yüksek mertebeden polinomyal fonksiyonları kullanan hassas bir çözüm algoritmasına sahip oluşu kuşkusuz önemli bir etkiye sahiptir. RFM'de resim koordinatlarından arazi koordinatlarına geçişte her iki dağılımdaki kümelerde de birbirine yakın ve hassas sonuçlar elde edilmiştir.

Literatürde yöneltme işleminde kullanılacak matematiksel metodun, hava fotoğrafının yeryüzünü en iyi şekilde temsilini sağlayacak dönüşümü yapması istenir. Yeryüzüne görüntüyü uyduracak dönüşümün yüksek dereceli polinom fonksiyonlarını içeren hesap özelliğine sahip olması gerekir. Bu sebeple yüksek dereceli polinomyal fonksiyonların oranını kullanan RFM metodu en uygun metottur. Polinomyal metodun derecesi artırıldığında yeryüzü topografyasının temsil edilebilirliği artar. Değişken topografik yapıdaki bölgelerde yüksek dereceli polinomyal metodun kullanılması daha güvenilir sonuçlar verecektir. Esasına bakıldığında klasik metotların kullandığı polinomyal ifadelerin dereceleri düşüktür. Bu da test sonuçlarında daha düşük hassasiyet elde edilmesine yol açmıştır.

KAYNAKLAR

Ayhan, E. ve Tüdeş, T., 1997. Yakın Resim Fotogrametrisi Yöntemleriyle Koordinat Belirleme, http://www.hgk.mil.tr/dergi/Dergi_Makaleler.asp/ Temmuz 1997, Sayı 118.

Greve, C. W., 1992. Image Processing on Open Systems. PE&RS, 85-9.

Hosseini, M., 2008. Analysis of Rational Function Dependency to the Height Distribution of Ground Control Points in Geometric Correction of Aerial and Satellite Images, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol.37.Part B1. Beijing 2008.

Kim, E.M., Morgan, M., Kim, C.J., Kim, K.O., Jeong,S. ve Habib, A., 2005. Comprehensive Comparisons Among Alternative Sensor Models for High Resolution Satellite Imagery.

McGlone, C., 1996. Sensor Modelling in Image Registration. In Greve C.W. (Ed), Digital Photogrammetry: an addendum, ASPRS, 115-123.

NIMA (National Imaging and Mapping Agency), 7-10 March 2000. The Compendium of Controlled Extensions (CE) For The National Imagery Transmission Format (NITF), Version 2.1, <http://www.ismc.nima.mil/ntb/superseded/STDI-0002 v2.1.pdf>.

Novak, K., 1992. Remote Sensing of Digital Imagery, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.58, No.3, 339-344.

Open GIS Consortium, 9 February 1999. The OpenGIS Abstract Specification, Topic:7, The Earth Imagery Case, <http://www.opengis.org/public/abstract/99-107.pdf>.

Tao,V. ve Hu,Y., 2001. Use of Rational Function Model for Image Rectification Canadian Journal of Remote Sensing, December 2001, Vol. 27, No.6.

Tao,V. ve Hu,Y., 2001b, A Comprehensive Study of Rational Function Model and for Photogrammetric Processing, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. 67, No. 12, December 2001, 1347-1357.

Temiz, M. ve Doğan, S., 2005. Dijital Görüntülerin Rektifikasyonu: Sensör Modelleri, Geometrik Görüntü Dönüşümleri ve Yeniden Örnekleme, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 28 Mart- 1 Nisan, Ankara.

Topan, H., 2004. Yörünge Düzeltmeli IRS - 1C / 1D Pankromatik Mono Görüntüsünün Geometrik Doğruluk ve Bilgi İçeriği Açısından İncelenmesi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Mühendislik Tezi, Zonguldak. 2004.

Zhang, X., 2001. Image Correction Using Geometric Transformation, Iowa State University. [http://www.eng.iastate.edu/ee528/Projects/Project1-s2001/results/geometric %20 transxiangwei.doc](http://www.eng.iastate.edu/ee528/Projects/Project1-s2001/results/geometric%20transxiangwei.doc).