

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAVA FOTOĞRAFLARININ SENSÖR YÖNELTME MODELLERİ VE  
GELENEKSEL MODELLER KULLANILARAK YÖNELTİLMESİ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**Harita Müh. Ali ÖZTÜRK**

**HAZİRAN 2010  
TRABZON**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**HARİTA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**HAVA FOTOĞRAFLARININ SENSÖR YÖNELTME MODELLERİ VE  
GELENEKSEL MODELLER KULLANILARAK YÖNELTİLMESİ**

**Harita Müh. Ali ÖZTÜRK**

**Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsünde  
“Harita Yüksek Mühendisi”  
Unvanı Verilmesi İçin Kabul Edilen Tezdir.**

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07.06.2010  
Tezin Savunma Tarihi : 25.06.2010**

**Tez Danışmanı : Yrd. Doç. Dr. Fevzi KARSLI  
Jüri Üyesi : Prof. Dr. Aslan DİLAVER  
Jüri Üyesi : Yrd. Doç. Dr. Zafer ÇAKIR**

**Enstitü Müdürü : Prof. Dr. Salih TERZİOĞLU**

**Trabzon 2010**

## ÖNSÖZ

“Hava Fotoğraflarının Sensör Yönelme Modelleri ve Geleneksel Modeller Kullanılarak Yöneltilmesi” konulu bu çalışma, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak hazırlanmıştır.

Yapmış olduğum çalışma süresince benden desteğini hiç esirgemeyen bilgi, görüş ve önerilerinden faydalandığım kıymetli hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Fevzi KARSLI'ya şükranlarımı sunarım.

Çalışmamın çoğu safhasında özellikle matematiksel modellerin programlama dilinde yazılması aşamasında değerli yardımlarını esirgemeyen sayın Arş. Gör. Mustafa DİHKAN'a teşekkür ederim. Ayrıca değerli yardımlarını benden esirgemeyen Serdar KORKMAZ, İbrahim AKKUŞ ve özellikle yılgınlık hissettiğim dönemlerde söylevleri ile beni cesaretlendiren Emre İNCE'ye teşekkür ederim. Son olarak hayatımın her aşamasında benden desteklerini esirgemeyen ve bugünlere gelmemde hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan sevgili aileme sonsuz sevgi, saygı ve hürmetlerimi sunarım.

Ali ÖZTÜRK  
Trabzon 2010

## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ.....	II
İÇİNDEKİLER.....	III
ÖZET.....	V
SUMMARY.....	VI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	VII
TABLolar DİZİNİ.....	IX
SEMBOLLER DİZİNİ.....	X
1. GENEL BİLGİLER.....	1
1.1. Giriş.....	1
1.2. Fotogrametri.....	2
1.2.1. Fotogrametrinin Tarihsel Gelişimi.....	3
1.2.2. Dijital Görüntü.....	4
1.2.3. Dijital Görüntünün Kalitesi.....	5
1.2.4. Kameralar.....	7
1.2.4.1. Analog Fotoğrafik Kameralar.....	7
1.2.4.2. Dijital Kameralar.....	8
1.2.5. Analog ve Dijital Fotogrametrik Kameraların Karşılaştırılması.....	9
1.2.6. Hava Fotoğrafları.....	10
1.2.6.1. Hava Fotogrametrisinde Kullanılan Filmler.....	11
1.2.6.1.1. Siyah Beyaz Filmler.....	11
1.2.6.1.2. Normal Renkli Filmler.....	11
1.2.6.1.3. Infrared Renkli Filmler.....	12
1.2.7. Hava Fotoğraflarının Tipleri.....	12
1.2.7.1. Düşey Fotoğraflar.....	12
1.2.7.2. Eğik Fotoğraflar.....	13
1.2.8. Fotogrametrinin Optik ve Mekanik Temelleri.....	13
1.2.9. Fotogrametrinin Uygulama Alanları.....	14
1.3. Arazi ve Resim Koordinatları Arasındaki Bağlıntılar.....	15
1.3.1. İç Yönelme (Interior Orientation).....	15

1.3.2.	Dış Yöneltilme (Exterior Orientation) .....	16
1.4.	Geometrik Düzeltme .....	16
1.4.1.	Geometrik Düzeltme Yöntemleri .....	18
1.4.1.1.	Görüntü Gridleme (Image gridding) .....	18
1.4.1.2.	Görüntü Düzenleme( Image registration) .....	19
1.4.1.3.	Görüntü Haritalama (Image mapping) .....	19
1.4.2.	Ortoyaytlama ( Orthorectification ) .....	20
1.4.3.	Parametrik Matematiksel Modeller .....	20
1.4.3.1.	Kolinearite Eşitlikleri (Merkezsel İzdüşüm) .....	20
1.4.4.	Parametrik Olmayan Matematiksel Modeller .....	24
1.4.4.1.	İki (2D) ve Üç Boyutlu (3D) Polinomial Modeller .....	24
1.4.4.2.	Benzerlik Dönüşümü .....	28
1.4.4.3.	Projektive Transformation Modeli .....	30
1.4.4.4.	Direkt Linear Transformation (DLT) Modeli .....	32
1.4.4.5.	Rasyonel Fonksiyon (Rational Function) Modeli .....	34
1.4.4.5.1.	RFM (Arazi Koordinatlarından Resim Koordinatlarına Geçiş) .....	38
1.4.4.5.2.	RFM (Resim Koordinatlarından Arazi Koordinatlarına Geçiş) .....	42
2.	YAPILAN ÇALIŞMALAR .....	49
2.1.	Çalışma Bölgesi .....	49
2.2.	Kullanılan Veriler ve Yazılımlar .....	50
2.2.1.	Hava Fotoğrafı .....	50
2.2.2.	Yer Kontrol Noktası (YKN) .....	51
2.2.3.	Kullanılan Yazılımlar .....	53
2.3.	YKN Kümelerine Ait Test Sonuçları .....	53
2.3.1.	Homojen Dağılımdaki YKN –DN Kümelerine Ait Test Sonuçları .....	54
2.3.2.	Heterojen Dağılımdaki YKN –DN Kümelerine Ait Test Sonuçları .....	55
2.3.3.	YKN –DN Kümelerine Ait Hata Vektörleri .....	56
3.	SONUÇLAR VE ÖNERİLER .....	71
4.	KAYNAKLAR .....	74
5.	EKLER .....	77
ÖZGEÇMİŞ		

## ÖZET

Fotogrametrik çalışmalarda sayısal değerlendirme için, resimlerin çekimden sonra yöneltme işleminin yapılması gerekir. Yöneltmelerin 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 yöneltme işlemleri ile arazi koordinatlarına ulaşılır. İkinci olarak analitik yöntemle doğrusallık ve eş düzlemlilik 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 tedarik 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 (jeodezik koordinatlar) ile dengeleme sonucu bulunan koordinatları arasındaki farkların iki boyutlu hata vektörleri çizdirilmiştir.

Çalışmada elde edilen test sonuçları, yüksek mertebeden polinomyal fonksiyonların oranını kullanan RFM'nin klasik metotlara nazaran daha hassas sonuçlar verdiğini göstermiştir.

**Anahtar Kelimeler:** RFM, Parametrik Olmayan Modeller, Hava Fotoğrafı

## SUMMARY

### **Orientation of Aerial Photographs Using with Sensor Orientation Models and Traditional Models**

For a numerical evaluation in Photogrammetric Works, some calculations must be done after taking pictures. To make these calculations consists of transformation between different perpendicular 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 land coordinates, this process can be achieved by two methods. In the analog method that can be named as the first method it is possible to reach with mutual and absolute orientation process in stereo assessment tools. As secondary in analytical method with the condition of linearity and coplanarity the numerical transition is provided from image coordinates to land 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 - Top15 analog aerial camera were used that belongs to Kırşehir, Kaman district.

In practice, analysis of data have been made using nonparametric mathematic models with different sets of GCPs-CPs for the mentioned image pair. Ground Control Points are supplied from 1:1000 scaled maps that belong to Kaman district. Control and Checking 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 an alternative method for photogrammetric procedures and methods with other mathematical models are discussed. Two-dimensional error vectors are formed according to the differences between land coordinates of the points and the coordinates found as a result of balance.

In the end when we looked at the test results, the Rational Function Model gave sensitive results than traditional models.

**Key Words:** RFM, Non-Parammetric Models, Aerial Photograph

## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1. Fotogrametrinin genel prensibi.....	2
Şekil 2. Fotogrametrinin tarihsel gelişimi .....	3
Şekil 3. Piksel koordinatlarından resim koordinatlarına geçiş .....	6
Şekil 4. Zeiss rnk -top15 analog hava kamerası .....	8
Şekil 5. Vexcel ultracam d dijital fotogrametrik hava kamerası .....	9
Şekil 6. Merkezi izdüşüm geometrisi .....	14
Şekil 7. İç yöneltme .....	16
Şekil 8. Resim koordinatı ile arazi koordinatı arasındaki bağıntı (merkezsel izdüşüm) ..21	
Şekil 9. Doğrusal dizili (pushbroom) görüntü alımı .....	23
Şekil 10. Afin dönüşümü .....	26
Şekil 11. Üç boyutlu benzerlik dönüşümü.....	29
Şekil 12. Projektif dönüşüm .....	31
Şekil 13. RFM yapı şeması .....	35
Şekil 14. Rasyonel fonksiyon modeli .....	36
Şekil 15. Zeiss rnk -top15 analog hava kamerasıyla çekilmiş çalışma alanını gösterensiyah beyaz hava fotoğrafı çifti .....	50
Şekil 16. Görüntü üzerinde 60 adet YKN'nin görüntüye homojen dağılımı.....	52
Şekil 17. 40 adet YKN'nin görüntüde heterojen dağılımı .....	52
Şekil 18. Hava fotoğrafı ve hâlihazır haritadan YKN seçimi .....	53
Şekil 19. 40 adet YKN 0 adet DN için afin dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri .....	56
Şekil 20. 40 adet YKN 0 adet DN için bi-lineer dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri.....	57
Şekil 21. 40 adet YKN 0 adet DN için DLT dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri .....	58
Şekil 22. 40 adet YKN 0 adet DN için projektif dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri.....	59
Şekil 23. 60 adet YKN 0 adet DN için RFM dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri.....	60
Şekil 24. Heterojen dağılımda 40 adet YKN 0 adet DN için afin dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri .....	61
Şekil 25. Heterojen dağılımda 20 adet YKN 20 adet DN için afin dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri .....	62



Şekil 26. Heterojen dağılımda 15 adet YKN 25 adet DN için afin dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri .....	63
Şekil 27. Heterojen dağılımda 10 adet YKN 30 adet DN için afin dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri .....	64
Şekil 28. Heterojen dağılımda 6 adet YKN 34 adet DN için afin dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri .....	65
Şekil 29. Homojen dağılımda 45 adet YKN 15 adet DN için RFM ile elde edilen hata vektörleri.....	66
Şekil 30. Heterojen dağılımda 45 adet YKN 15 adet DN için RFM ile elde edilen hata vektörleri .....	66
Şekil 31. Homojen dağılımda 40 adet YKN 20 adet DN için RFM ile elde edilen hata vektörleri .....	67
Şekil 32. Heterojen dağılımda 40 adet YKN 20 adet DN için RFM ile elde edilen hata vektörleri .....	67
Şekil 33. Homojen dağılımda 40 adet YKN için DLT ile elde edilen hata vektörleri .....	68
Şekil 34. Homojen dağılımda 20 adet DN için DLT ile elde edilen hata vektörleri .....	68
Şekil 35. Heterojen dağılımda 40 adet YKN için DLT ile elde edilen hata vektörleri.....	69
Şekil 36. Heterojen dağılımda 20 adet DN için DLT ile elde edilen hata vektörleri .....	69

## TABLULAR DİZİNİ

### Sayfa No

Tablo 1. Kullanılan fotoğraf ve özellikleri .....	51
---	----

## SEMBOLLER DİZİNİ

CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım
CCD	: Yük Bağlamalı Algılayıcılar
CBS	: Coğrafi Bilgi Sistemleri
DEM	: Sayısal Yükseklik Modeli
DN	: Denetleme Noktası
DLT	: Direct Linear Transformation
Frame	: Çerçeve Görüntüleme Sistemi
GIS	: Geographical Information Systems
OGC	: Open GIS Consortium
Panaromic	: Dar Açılı Görüntüleme Sistemi
Pushbroom	: Doğrusal Dizili Tarayıcı
RFM	: Rasyonel Fonksiyon Modeli
RFCs	: Rasyonel Fonksiyon Katsayıları
RMS	: Karese Ortalama Hata
SAR	: Yapay Açıklıklı Radar
Space Imaging	: Amerikan Uydu Verisi Üreticisi
SPOT	: Satellite Probatoire Pour L'Observation de la Tere
YKN	: Yer Kontrol Noktası
Whiskbroom	: Nokta Dizili Tarayıcı
$\mu\text{m}$	: Mikron
$X_0, Y_0, Z_0$	: Resim Çekme Noktasının Koordinatları
$\omega, \phi, \chi$	: Dönüklük Parametreleri

# 1. GENEL BİLGİLER

## 1.1. Giriş

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 koordinatlarının  $(x,y,z)$  belirlenmesi,
- Topoğrafik harita ve planların yapılması,
- Düşeylenmiş fotoğrafların elde edilmesi veya bu fotoğraflardan harita üretilmesi, şeklinde sıralanabilir.

Fotogrametri, objelerin yeniden oluşturulması ve buna yönelik özellikleri objelere temas etmeksizin belirlemektedir. Bu şekilde konumsal bilgi elde etme günümüzde Uzaktan Algılama (Remote Sensing) olarak adlandırılmaktadır.

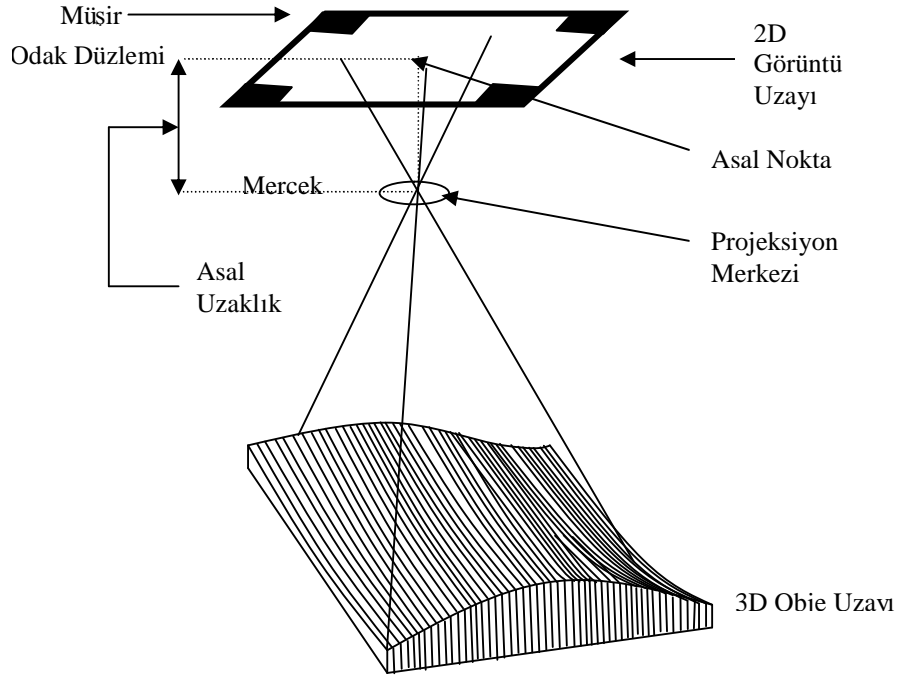
Her hangi fotogrametrik işlem, veri derleme ve veri işleme olmak üzere iki temel safhada incelenebilir. Veri derleme; uygun ve gerekli fotoğrafların elde edilmesiyle ilgilidir. Veri işleme; fotoğraflar üzerindeki geometrik bilgiyi arzu edilen kullanım için uygun bir gösterime dönüştürmektir. Fotogrametride değerlendirme, kullanılan kameraya ve istenilen sonuca bağlı olarak analog, analitik ve sayısal (dijital) olmak üzere üç temel grup içerisinde ele alınır. Analitik değerlendirmenin temeli, komparatorda (fotoğraf koordinatlarını ölçmeye yarayan alet) 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). Sensör (alıcı) modelleri görüntü uzayı ve yer obje uzayı arasındaki geometrik ilişkiyi tanımlar. Geneli olarak bu modeller, fiziksel(parametrik) ve genelleştirilmiş (parametrik olmayan) sensör modelleri olmak üzere iki kategoride sınıflandırılır (Mc Glone, 1996). Fiziksel sensör modelinde parametreler, obje uzay koordinat sistemine göre sensörün konumunu ve oryantasyonunu (yöneltme) tanımlar. Fiziksel sensör modellerinin gelişiminin, görüntü parametrelerine (iç ve dış yöneltme parametreleri) ve fiziksel sensör bilgilerine ihtiyacı vardır (Tao ve Hu, 2001a).

Genelleştirilmiş sensör modelleri, 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 (OGC, 1999) genelleştirilmiş sensör modellerinden birisidir.

Bu tez, genelleştirilmiş sensör modellerinden birisi olan RFM'nin hava fotoğraflarına uygulanabilirliğini ve diğer geleneksel yaklaşımlarla kıyasını amaçlamaktadır.

## 1.2. Fotogrametri

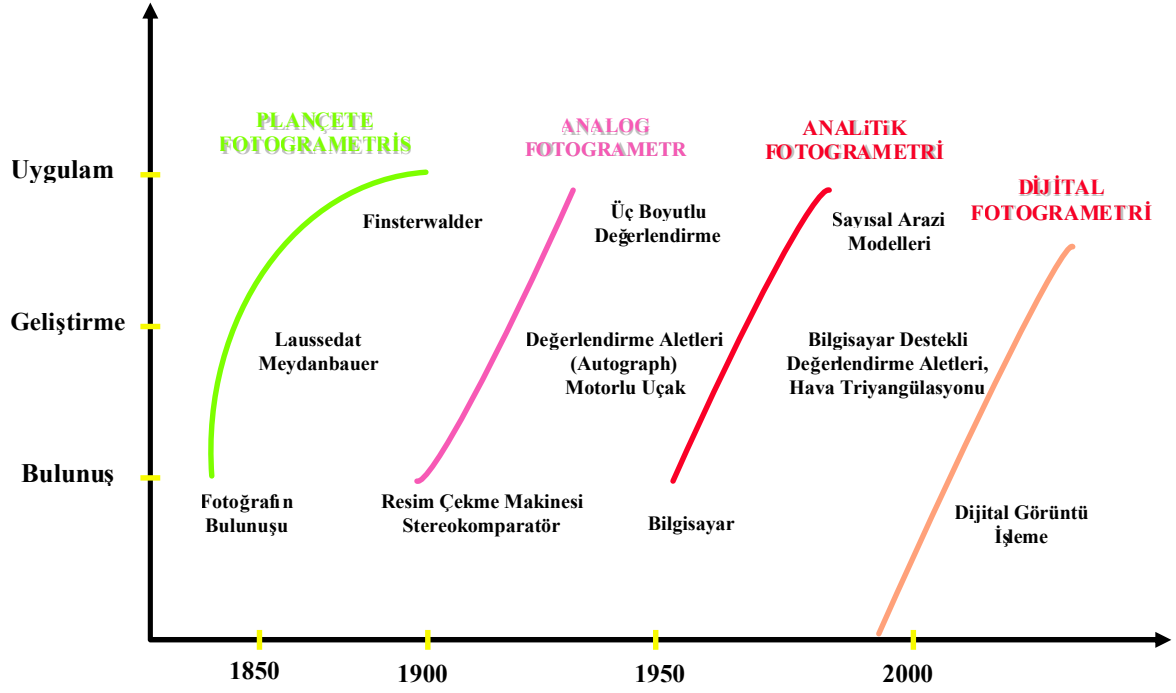
Amacı uzaktaki cisimlerin geometrik parametrelerini fotoğraflar yardımı ile elde etmek olan fotogrametri bilimi, fotoğraflar üzerinden nesnelere ölçme tekniği ve görüntü verilerinin metrik yorumlanmasıdır. Fotogrametride, ölçüler ve bilgi derleme doğrudan nesne üzerinden değil üç boyutlu obje uzayının merkezi izdüşümüyle fotoğraf üzerine izdüşürülmesi ile yapılmaktadır (Şekil 1). Böyle bir dolaylı ölçme ve bilgi derleme yöntemi daha kolay ve hızlıdır. Doğrudan ölçmeye göre daha ekonomiktir. Ayrıca fotoğrafla ölçülmesi güç ve hareketli olan objelerin ölçülmesi de mümkündür.



Şekil 1. Fotogrametrinin genel prensibi

### 1.2.1. Fotogrametrinin Tarihsel Gelişimi

1850'den sonra fotogrametri alanındaki gelişmeler dört grup altında toplanabilir (Şekil 2). Bu gruplandırma da değerlendirme metotlarına göre yapılmıştır.



Şekil 2. Fotogrametrinin tarihsel gelişimi

- Plançete fotogrametrisi (1850-1900): Uçağın icadından önce, yersel fotogrametride kullanım alanı bulmuştur. Kamera ile yersel ölçü aleti olan teodolit birlikte kullanılmıştır.
- Analog fotogrametri (1900-1960): Analog kameralarla çekilen fotoğraflar optik mekanik aletlerde değerlendirilerek model oluşturulmuş ve bu aletlere bağlı çizim masaları kullanılarak istenilen ölçekte çizimler yapılabilmektedir. Ayrıca arazi noktalarının koordinatları da elde edilebilmektedir.
- Analitik fotogrametri (1960- Günümüz): Analitik fotogrametride veri olarak analog resimler kullanılır. Optik mekanik aletler yerini daha çok bilgisayarlarla desteklenmiş optik aletlere bırakmıştır. Böylece fotogrametrik işlem belli ölçüde

otomatize edilmiştir. Bilgisayarda elde edilen ürünlerin CAD sistemlerine aktarılma olanağı da doğmuştur.

- Dijital fotogrametri (1999-Günümüz): Dijital ya da Sayısal Fotogrametride analog resimler yerini dijital resimlere yani görüntülere bırakmıştır. Bütün ölçme ve değerlendirme işlemleri bilgisayar ortamında yapılmaktadır. Dijital kameralar veya tarayıcılar kullanıldığında, resimler doğrudan bilgisayara aktarılabilir. Birçok fotogrametrik işlem (örneğin DEM çıkarma, dijital ortofoto) otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Bu Fotogrametri bazen Softcopy Fotogrametri olarak da isimlendirilir. Üretilen harita, sayısal arazi modeli ve sayısal ortofotolar bilgisayar ortamında saklanabilmektedir. Bu yönüyle kullanıcılar için depolama, yönetim ve uygulama kolaylığı sağlamaktadır. Dijital Fotogrametrinin gelişimi ile, fotogrametrik teknikler Uzaktan Algılama ve GIS ile entegrasyon sağlamıştır.

Dijital fotogrametrinin temel avantajları aşağıdaki biçimde ifade edilebilir:

- Görüntü iyileştirme: Görüntü dijital olduğundan, bilgisayar ortamında kontrast ve ışık şiddeti gibi çeşitli görüntü işleme operasyonlarına müsaade edilebilir.
- İşlem kolaylığı: Dijital fotogrametrik işlemler diğer fotogrametrik işlemlere göre daha hızlı ve kolaydır. Bütün işlemler otomatik ve hassas bir şekilde yapılır.
- Elde edilen ürünlerin elektronik ortamlarda saklanması: CBS veri katmanlarına veri aktarımı açısından önemli bir kolaylık sağlamaktadır. Değerlendirmede sonuçların aynı anda izlenebilmesi hataları daha da azaltmaktadır.
- Veri depolama: Sonuç ürünleri bilgisayar teknolojisinin sağladığı imkânlar neticesinde ekonomik olarak saklanabilmektedir.

### 1.2.2. Dijital Görüntü

Bir bilginin vektör veri modelinde olduğu gibi, raster veri modelinde bilgisayar ortamında saklanabilmesi için, konum yani koordinat bilgisine ihtiyaç vardır. Raster veri modelinde her bir konum ayrı bir piksel ile ifade edilir. Bu tür raster gösterimlerde her bir hücrenin koordinatı satır ve sütun numarası ile belirlenir ve koordinat başlangıcı olarak daima ekranın sol üst köşesi alınır. Yatay eksen X (sütun), düşey eksen Y (satır) olarak adlandırılır. Her bir piksel (hücre) taşıdığı özelliğe karşılık gelecek şekilde bir değere sahiptir. Bu nominal değer, arazi sınıflandırmasında kullanılan bir kod değeri olabileceği

gibi, o hücrenin rengini tanımlayan bir renk ölçüm değeri de olabilir. Raster yapıda piksel boyutu görüntünün hassasiyetini, ayırma gücünü gösterir. Piksel boyutunun büyümesiyle görüntü kalitesinde bozulma olmasına karşın, görüntünün bilgisayar ortamında saklanabilmesi için gerekli bellek büyüklüğü de azalır. Piksel boyutu ne kadar küçük seçilirse cisimler o kadar net, renk görüntü derinliği ne kadar fazla ise cisim o kadar gerçeğe yakın görünür.

### 1.2.3. Dijital Görüntünün Kalitesi

Dijital görüntülerin kalitesine ilişkin sorular optik biliminin temel problemlerinden biri olarak ifade edilmektedir. Görüntü kalitesi, var olan bütün kameralar için bir sınıflandırma niteliği haline gelmiştir. Işık şiddeti, astigmatizm ya da cismin spektral özellikleri görüntü kalitesinin bileşenleri olsa bile, fotogrametri için görüntü kalitesinde en önemli parametre çözünürlük olarak ifade edilmektedir. Çözünürlük, optik sistemin sınır frekans değerini, diğer bir deyişle görüntü üzerinde tek başına ayırt edilebilen en küçük birimin boyutunu ifade eder.

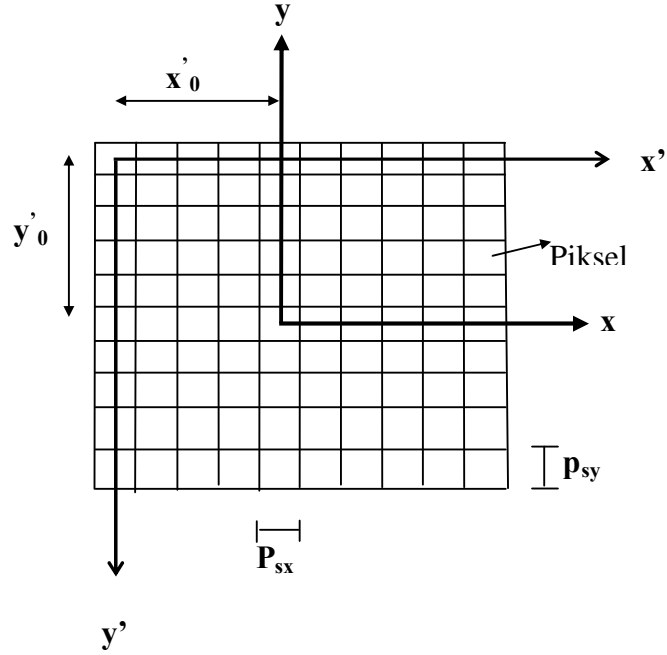
Dijital görüntülerde ayırt edilebilen en küçük birim pikseldir.  $P_{sx}$ ,  $P_{sy}$  şeklinde piksel uzayı olarak ifade edilebilen piksel boyutu dijital bir görüntünün kalitesindeki en önemli parametredir (Şekil 3). Küçük piksel boyutuna sahip görüntülerde detay ayırt etme yeteneği daha yüksek olduğundan çözünürlük de yüksektir. Diğer bir deyişle piksel boyutu ne kadar küçülürse, görüntünün çözünürlüğü ve dolayısıyla kalitesi de o kadar artacaktır.

Bir görüntüdeki tüm pikseller için birinci dereceden yoğunluk fonksiyonu  $p(x,y,z)$  olarak ifade edilebilir. Burada  $(x,y)$  değişkenleri piksellerin konumunu,  $z$  değişkeni ise parlaklık değeridir. Radyometrik çözünürlük bir diğer kriterdir. Piksellerin konumları göz ardı edilir ve yoğunluk fonksiyonu  $p(z)$  olarak oluşturulursa, söz konusu görüntü için parlaklık histogramı elde edilmiş olur.

Bunun yanında, renkli görüntüler için  $z$  parlaklık değerinin yerini RGB renk değerleri alır. Herhangi bir renk, bu üç rengin belirli yoğunluklarda karıştırılması ile elde edilir. RGB uzayı, koordinat eksenleri kırmızı (red), yeşil (green) ve mavi (blue) olan 3 boyutlu bir uzay olarak düşünülebilir. Oluşturulmak istenen herhangi bir renk, bu üç ana renk koordinatları cinsinden ifade edilebilir. Bu tip görüntülerde her renk tonu için ayrı bir histogram söz konusu olur. Histogram, sütunlu grafik olarak gösterilir.



Dijital görüntülerde, görüntü kalitesini etkileyen en önemli etkenlerden biri de gürültü (noise) adı verilen ve aynı grilik değerine sahip olması gereken bölgelerdeki farklı grilik veya RGB değerleridir. Noise, dijital görüntülerde düzensiz hata olarak ifade edilir. Bu hata dijital görüntünün elde edilmesinde, naklinde veya işlenmesinde oluşabilir. Ayrıca bu hatalar görüntünün içeriğinden bağımlı ya da bağımsız olabilir.



Şekil 3. Piksel koordinatlarından resim koordinatlarına geçiş

Resim koordinatları ile piksel koordinatları arasındaki ilişki,

$$x = (x' - x'_p) * p_{sx}$$

$$y = (y'_p - y') * p_{sy}$$

şeklinde formüle edilir. Burada  $x, y$ : resim koordinatlarını,  $x', y'$ : piksel koordinatlarını,  $x'_p, y'_p$ : piksel koordinat sistemindeki asal noktanın koordinatlarını ve  $p_{sx}, p_{sy}$ : ise piksel boyutunu göstermektedir.

#### **1.2.4. Kameralar**

Yeryüzünün doğal ve yapay objelerinden yansıyan enerjinin doğrudan doğruya fotoğrafik bir algılayıcı üzerine izdüşürülebilmesi için gereken uygun ortamı sağlayan cihazlara kamera denir.

##### **1.2.4.1. Analog Fotoğrafik Kameralar**

Fotogrametrik belgeleme için özel tasarlanmış, optik ve mekanik aksamdan gelen bozulmaları en az seviyeye indirilmiş, kalibre edilmiş, film şerit üzerine çekim yapan özel kameralardır (Şekil 4). Çünkü resim çekim aşamasında meydana gelen iki ana bozulma kaynağı bulunmaktadır. Perspektiften gelen bozulmalar (çekim açısı, çekim seviyesi gibi sebeplerden kaynaklanan) ve fotoğrafı çeken kameranın mekanik/optik aksamı tarafından oluşturulanlar. Perspektiften gelen bozulmalar çeşitli algoritmalar ile başarılı bir şekilde düzeltilir. Mekanikten, optikten ve fotoğraf özelliklerinden gelen bozulmalar söz konusu olduğunda ise öncelikle bu bozulmaların en alt düzeyde tutulması istenir. Bu amaçla tasarlanmış analog kameralarda bu bozulmalar en az düzeye indirilmiştir. Ayrıca, analog kameralar, kalibre edilmiş, yani fotoğrafta oluşturdukları bozulmalarının özellikleri belgelenmiştir. Bu sayede teknik özellikleri bilinen bozulmalar da bilgisayar yazılımları aracılığı ile düzeltilir.

Fotoğrafların banyo ve baskı işlemleri yapıldıktan sonra bilgisayar ortamına aktarılabilmesi için 7 ile 21 mikron aralığında yüksek çözünürlüğe sahip tarayıcılar (Scanner) kullanılmaktadır. Tarama işleminin kalitesi görüntü için önemli bir faktördür. Ancak, yüksek çözünürlükte çalışmanın hem görüntülerin saklanması için gerekli olan yardımcı bellek alanını artıracak, hem de yüksek çözünürlükteki resimlerin işlenebilmesi için yüksek bellek kapasitesi, hızlı bir işlemciye ve ekran kartına gerek duyulacağını altı çizilmelidir.



Şekil 4. Zeiss rnk -top15 analog hava kamerası

#### 1.2.4.2. Dijital Kameralar

1897 yılında katot ışınlu tüpün geliştirilmesi, fotografik olmayan görüntü elde etme ihtimalini ortaya çıkarmıştır. 1930'larda yayım yapabilen televizyonların ortaya çıkışı, video görüntülemenin çok yönlü kullanımına sebep olmuştur. CCD kameralar ise son 20 yıldan bu yana kullanılmaya başlanılmışlardır. Bu tür kameralarda görüntü, detektörlerin duyarlanmasından doğan fotonların elektrik voltajına çevrilmesi ile oluşmaktadır.

Kamerada kullanılan optik sistem, tek bir mercekten oluşmayıp, birçok mercek sisteminden meydana gelen bir yapıya sahiptir (Şekil 5). Amacı, fotografik görüntüleme sistemlerinde film üzerine görüntü nasıl düşüyorsa, burada da algılama görevi yapan detektör üzerine düşürmektedir. Mercek yapısı elektromanyetik spektrumun değişik bölgelerine göre farklılık gösterir. Elektromanyetik spektrumun görünür ve orta kızılötesi bölgelerinde çalışırlar. Bu kameralar, metal oksit yarıiletkenler veya fotodiyotlardan oluşan sonlu ışığa duyarlı elemanlardan, başka bir deyişle algılayıcılardan oluşur.

Nesneden yayılan veya yansıyan ve görüntüleme sisteminin optik elemanları tarafından toplanan radyasyonu algılamak ve onu elektrik sinyali formuna dönüştürmek için elektronik detektörler kullanılır. CCD kameralardaki görüntüleme sistemlerinde kullanılan detektörler termal ve foton detektörleri olmak üzere ikiye ayrılmaktadır.

Termal detektörler ısıya duyarlı materyaller kullanır. Gelen radyasyon detektör üzerine düştüğünde, dedektör sıcaklığında algılanabilir bir değişiklik oluşur. Uyarılması, gelen radyasyonun dalga boyuna bağlı değildir. Foton detektörler, içte oluşan gürültüyü en aza indirmek ve iletkenlerin ısınması sonucu doğan etkileri azaltmak için belirli bir sıcaklık değerine kadar soğutulmalıdır. Kızıl ötesi uygulamalarda kullanılan soğutma yöntemleri, işletilen sıcaklığa ve sistem gereklerine göre değişir.



Şekil 5. Vexcel ultracam d dijital fotogrametrik hava kamerası

### 1.2.5. Analog ve Dijital Fotogrametrik Kameraların Karşılaştırılması

Fotografik materyallerin yüksek çözünürlüğü, geometrik doğruluğu ve durağanlığına rağmen elektro-optik görüntüleme sistemlerinin gerçek zamanlılığı, portatif ve kullanıcı dostu olması, fotoğrafik filmin prosesi için gerekli banyo işlemlerine ve tarayıcı ile sayısallaştırmaya gerek duymaması, doğrudan bilgisayar uyumlu olması dijital kameraları, fotogrametri ve uzaktan algılama çalışmalarında fotoğrafik tabanlı sistemlere gerçek bir alternatif haline getirmiştir. Ayrıca, tasarımlarında kullandıkları elektronik detektörler sayesinde analog kameralarının aksine, görünür ve yakın kızılötesi spektral sahalarının ötesindeki spektrumlarda algılama yapmayı mümkün hale getirmişlerdir.

Bütün bu olumlu yönlerine karşın analog kameralarının sağlamış olduğu çözünürlüğe ve geniş açısal kaplama alanına erişememiş olması, maliyetinin yüksek oluşu dijital kameralarının fotogrametrik kullanılmalarını sınırlamıştır. Ancak teknolojiye hızlı

gelişmeler ve artan talep ihtiyacı sebebiyle dijital kameralar hızla gelişmekte, fiyatları ucuzlamaktadır (Selçuk, 2008).

### 1.2.6. Hava Fotoğrafları

Hava fotoğraflarının özellikleri ve kıymetlendirilmesine ilişkin teknikler uzaktan algılanan görüntülerin temelini oluşturmaktadır. Hava fotoğrafları, muhtelif kameralar, filmler ve filtreler kullanılarak elde edilmektedir. Çözümleme ve ölçek hava fotoğraflarının ana özelliklerindedir. Kameralarda kullanılan filmler elektromanyetik tayfın 0,3-0,9  $\mu\text{m}$  dalga uzunluklarına hassas olarak üretilmişlerdir. Hava fotoğrafları; istikrarlı sabit kanatlı uçaklara, uzay vasıtalarına ve nadiren helikopterlere takılan kameralar vasıtasıyla sağlanmaktadır. Dünyanın herhangi bir kısmının, herhangi bir zamanda, çok detaylı fotoğrafını temin etmek için ekseriyetle uçaklar kullanılmaktadır. Çekilen hava fotoğrafının ölçeği ve kalitesi; uçağın yüksekliğine, fotoğraf tipine ve kullanılan fotoğrafik donanımın olanaklarına bağlıdır. Uzaktan algılanan hava fotoğraflarının aşağıda belirtilen 3 ana dezavantajı bulunmaktadır.

- Algılamada, elektromanyetik tayfın sadece 0,3-0,9  $\mu\text{m}$  (mikron) dalga uzunluğu kullanılmaktadır.
- Hava durumu, ışık şartları ve atmosferik olaylardan etkilenmektedir.
- Görüntü sayısal olmayan film ortamına kaydedildiği için fotoğraflar uzun sürede ve masraflı olarak elde edilmektedir. Keza bilgisayar ortamına aktarmak için sayısallaştırma işlemine gereksinim bulunmaktadır.

Fotoğrafın kaplama alanı, kameranın odak uzaklığına, uçuş platformunun yüksekliğine, filmin format ebadına bağlı olarak değişmektedir. Uzun odak uzaklı kameralar detaylı küçük sahaları, kısa odak uzaklılar ise az detaylı geniş sahaların fotoğraflarını sağlarlar. Uçuş platformunun yüksekliği fazla ise, elde edilecek fotoğrafın kapladığı saha büyük, detaylar ise azdır. Hava fotoğraflarının mekânsal çözümlemesi veya detay ayırt etme gücü aşağıdaki faktörlerden etkilenmektedir

- Atmosferik Dağılım
- Uçağın titreşimi ve hareketi (görüntü hareketinin senkronizesi ve kameranın 3 ekseninde sağladığı istikrar ile belirgin ölçüde giderilmektedir)
- Merceğin detay ayırt etme gücü

- Filmin detay ayırt etme gücü

### **1.2.6.1. Hava Fotogrametrisinde Kullanılan Filmler**

Hava fotogrametrisinde; siyah beyaz (Panchromatic), normal renkli (normal color) ve Infrared renkli (false color infrared) olarak isimlendirilen üç tip film kullanılmaktadır.

#### **1.2.6.1.1. Siyah Beyaz Filmler**

Siyah beyaz fotoğraflar, pankromatik veya infrared'e hassas filmler tarafından sağlanmaktadır. Hava fotogrametrisinde çok yaygın olarak kullanılan bu filmler, elektromanyetik tayfın Ultraviöle (UV), görünen bölgelerine hassas olup buradaki hedefleri kaydetmektedir. UV bölgesine yönelik olarak kullanılan siyah beyaz filmlerle birlikte, görünen bölgeye ilişkin enerjiyi engellemek diğere bir değışle emmek için filtreler kullanılmaktadır. UV fotoğrafları, atmosferin dağıtma ve emme özelliğı nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Siyah beyaz infrared filmler; özellikle yakın infrared (NIR) bölgeye, ayrıca UV ve görünen bölgelere de hassastır. Infrared yansımaya olan hassasiyetleri nedeniyle bu tip filmler, bitki örtüsünde meydana gelen farklılıkların tespitinde fayda sağlamaktadır.

#### **1.2.6.1.2. Normal Renkli Filmler**

Normal renkli filmler, gözümüzün tabiatta gördüğü renkleri aynen gösterirler. Gerek normal renkli, gerekse de infrared renkli filmlerin emülsiyonu, ışığın farklı aralıklarına hassas olan 3 katmanı içermektedir. Normal renkli filmler, elektromanyetik tayfın görünen bölgesindeki kırmızı, yeşil ve mavi renklere hassastır. Bu özellikleri nedeniyle, siyah beyaz filmlere nazaran foto kıymetlendiriciye daha tabii bir ortam sağlarlar. Bu fotoğraflardaki aşırı gölgeler ve renkler, cisimlerin daha kolay tanınmasına olanak vermektedir. Fotoğrafın kenar kısımları, siyah beyaz fotoğraflara göre daha zayıftır. Bu filmlerin maliyeti pahalı, banyo işlemleri uzun ve depolanmaları limitli şartlara bağlıdır.

### **1.2.6.1.3. Infrared Renkli Filmler**

Renkli infrared filmler, görünen bölgedeki kırmızı ve yeşil renkler ile yakın infrared dalga uzunluklarına hassastır. Bu filmler, infrared görüntülerin daha net görünmesini sağlamak için mavi ve UV dalga uzunluğuna yönelik filtreye sahiptir. Fotoğraf üzerinde, çok yüksek yakın infrared yansıma veren yeşil ve canlı bitkiler kırmızı renkte, diğer taraftan düşük yakın infrared yansıma nedeniyle; kırmızı nesnelere yeşil, yeşil nesnelere mavi ve mavi nesnelere ise siyah renkte görünürler. Renklerin bu değişikliğinden istifade ile gizleme veya aldatma için yapılan kamuflajı ortaya çıkarmak mümkündür. Bu özellik nedeniyle bu filmler, aynı zamanda kamuflaj tespit olarak da bilinirler. Banyo işlemleri uzun ve maliyetleri pahalı olup depolanmaları limitli şartlara bağlıdır.

### **1.2.7. Hava Fotoğraflarının Tipleri**

Kameralar, istenen görev tipine bağlı olarak uçak platformlarına, yer sahına muhtelif bakış açıları ile monte edilirler. Bu özelliğe dayanarak hava fotoğrafları genelde dikey ve mail olarak iki tipe ayrılırlar.

#### **1.2.7.1. Düşey Fotoğraflar**

Düşey fotoğraflar, optik eksenini yer sahı ile 90°lik açı yapacak şekilde yerleştirilen kameralarla sağlanmaktadır. Tek mercekli frame kameralarla algılanan düşey fotoğraflar, uzaktan algılama ve haritacılık amaçları için kullanılmaktadır. Bu kameralar geometrik bozulmayı asgariye indirmek için veriyi, yüksek süratte, ardışık ve bindirmeli olarak kaydederler.

Düşey fotoğraflarda; her bir poza ilişkin coğrafik koordinatın anında tespiti, uçağın yer sürati ile film süratinin senkronizesi, uçağın sapma ve yatış hareketlerinden doğan hataların giderilmesi büyük önem taşımaktadır. Bu tip sorunlar, uçağın seyrüsefer sisteminden istifade ve kameralara eklenen ilave teçhizatla belirli ölçüde giderilmektedir. Geniş arazi yüzeylerinin düşey fotoğraflar ile kaplanması gereksinimi, arazi üzerinde yan yana birden fazla şerit halindeki, mozaik olarak adlandırılan uçuş görevleri ile sağlanmaktadır.

Stereoscope aleti ile hedeflerin üç boyutlu incelenmesi ve mozaik görevindeki pozlar ve şeritler arasındaki kopmaları önlemek için; pozlar arasındaki boyca bindirme oranı % 51-60, yanca bindirme oranı ise %10-30 limitleri içinde olmalıdır. Düşey fotoğraf; hesaplanması oldukça basit olan hemen hemen sabit ölçeğe sahiptir. Bir haritaya benzemeleri nedeniyle birbirleri ile karşılaştırılabilirler. Üzerlerinde ölü sahalar yoktur ve ölçüm işlemleri kolaydır. Belirli bir uçuş yüksekliğinden çekilen düşey fotoğrafların arazide kapladığı alan eğik fotoğraflardan daha azdır.

### 1.2.7.2. Eğik Fotoğraflar

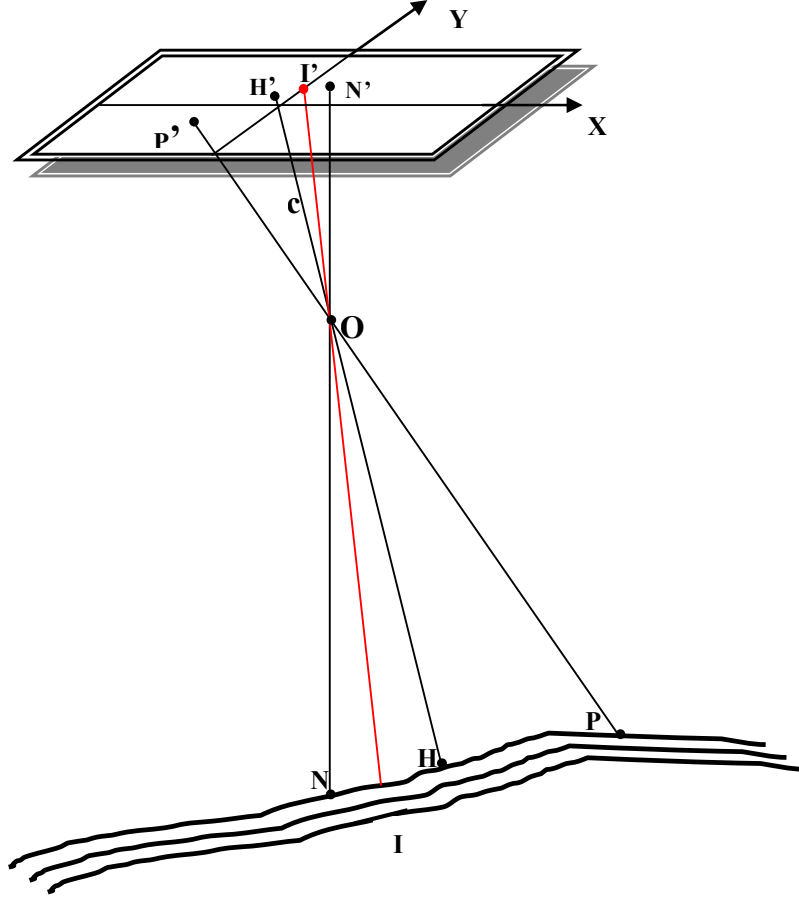
Kameralar, uçağa optik eksenini ufukla bir açı yapacak şekilde takılır Bu nedenle kamera, uçağın yanındaki araziye perspektif olarak görmektedir. Düşey fotoğraf ile karşılaştırıldığında, eğik fotoğrafın her pozunu daha geniş sahayı kapsamaktadır. Sabit ve belirlenmesi kolay olmayan bir ölçek nedeniyle ölçümleri yapmak zordur. Kameraya yakın sahadaki yüksek nesnelere arkalarındaki alçak nesnelere örttüğünden fotoğrafta ölü alanlar bulunmaktadır.

### 1.2.8. Fotogrametrinin Optik ve Mekanik Temelleri

Merkezi iz düşüm geometrisi dikkate alındığında, resim düzlemi dışında bulunan ve izdüşüm doğrularının üzerinden geçtiği nokta izdüşüm merkezi (O) olarak adlandırılır. Bu nokta aynı zamanda kamera optik sisteminin merkezidir. İzdüşüm merkezi ile görüntü noktaları ve onların arazideki karşılıklarını birleştiren doğrular ise izdüşüm ışını (PP', QQ')'dir. Resim koordinat sisteminin başlangıcı olan asal nokta (H') ise izdüşüm merkezinden resim düzlemine inilen dikine, resim düzlemini kestiği noktadır. Fotogrametrik literatürde c ile gösterilip kamera sabiti adı da verilen izdüşüm merkezinden resim düzlemine olan uzaklık asal uzaklık (OH')'tır. H'OH doğru parçası da alım eksenini olarak adlandırılabilir. Bu geometride  $x_{H'}$ ,  $y_{H'}$ , c iç yöneltme elemanlarını temsil etmektedir. Nadir noktası (N' ve N) izdüşüm merkezinden geçen düşey doğrunun resim ve arazi düzlemini kestiği noktalarıdır. Resimde asal nokta ile nadir noktası arasında fokal nokta (I, I') olarak adlandırılan öyle bir nokta mevcuttur ki, tepesi bu noktada olan açılar arazide ve



resimde birbirine eşittir. Yukarıda tanımları verilen ifadeler merkezi izdüşüm geometrisinin temel elemanlarıdır (Şekil 6).



Şekil 6. Merkezi izdüşüm geometrisi

### 1.2.9. Fotogrametrinin Uygulama Alanları

Fotogrametrinin ana uygulama alanı, çizgisel ve ortofoto haritalar biçimindeki topoğrafik haritaların üretimidir. Fotogrametrik değerlendirme aletleri burada 3D (3-Boyutlu) sayısallaştırıcılar olarak görev yapmaktadırlar. Fotogrametrik değerlendirmede ilk önce bilgisayar grafikleri yardımıyla görselleştirilebilen digital topoğrafik modeller ortaya çıkmaktadır. Bu tür bir digital topoğrafik modelde yer yüzeyinin biçimi ve kullanımı depolanmıştır. Digital topoğrafik modeller bir topoğrafik bilgi sisteminde ana veri kaynağı olarak ele alınırlar. Daha genel bir biçimde ifade edilirse, bunlar doğal ve insanoğlu tarafından biçimlendirilmiş (yapay) arazi hakkında bilgi verirler. Topografik bilgi sistemi kendini kapsayan bir Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) içinde önemli bir alt

sistemdir. CBS açısından ele alınırsa fotogrametri coğrafi veriler üretir. Coğrafi verilerin büyük bir kısmı bugün Fotogrametri ve Lazer tarama yardımıyla elde edilmektedir.

Yakın resim fotogrametrisi; mimarlıkta resim ölçmeleri, yapıların ve mühendislikle ilgili cisimlerin prezisyonlu (hassas) ölçmelerinde, yapıların kontrol ölçmelerinde, yapı zararlarının dokümantasyonunda, sanatsal ve mühendislik tekniği ile ilgili modellerin ölçülmesinde, deformasyon ölçmelerinde, kinematik olayların ölçülmesinde (örneğin robotik), biometrik uygulamalarda (örneğin bilgisayar destekli operasyonlar), trafik kazalarının yeniden oluşturulması ve diğer uygulamalarda kullanılmaktadır. Eğer fotoğraflar özel resim çekme makineleri ile çekilmiş ise, fotogrametrik değerlendirmeler oldukça basittir. Karışık matematiksel algoritmalar ve güçlü yazılım desteği ile amatör resimlerinde geometrik değerlendirilmesinin olanaklı olduğundan bahsetmek gerekir. Çekilen resimlerin bilgisayar ortamında bulunması ve resimlerde gri ve renkli değerler ile oynanmasının ötesinde geometrik değerlendirme de yapılabildiğinden bu tür çalışmalar gittikçe popüler olmaktadır (Kraus, 1982)

### **1.3. Arazi ve Resim Koordinatları Arasındaki Bağlımlar**

Genel olarak fotogrametrik problem, kameranın iç ve dış yöneltme parametrelerini ayrıca ilgili noktaların cisim uzayı koordinatlarının belirlenmesini içerir.

#### **1.3.1. İç Yöneltme (Interior Orientation)**

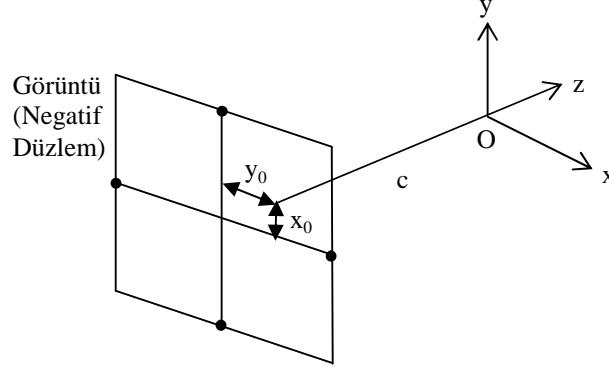
Fotoğrafın iç yöneltmesi ile izdüşüm merkezinden geçen ışın demetinin şekli tanımlanır. Bu tanımlama iki grup parametre ile ilgilidir. Birinci grup parametreler,

a) Kamera sabiti (asal uzaklık, c)

b) Asal noktanın  $(x_0, y_0)$  konum koordinatları

ile ilgilidir. Asal nokta izdüşüm merkezinden resim düzlemine inilen dikin belirlediği noktadır. İkinci grup parametreler ideal matematik model ve sistemin fiziksel gerçeği arasındaki değişimler olan sistematik hata parametreleridir. ( Film deformasyonu, mercek distorsiyonları vb. örnek olarak verilebilir.) İç yöneltme, izdüşüm merkezine göre resim noktalarının konumunu esas alarak cisim uzayındaki ışınların aralarındaki açısal bağıntıyı ifade eder. Böylece resim koordinat sistemine göre izdüşüm merkezinin konumu

yöneltmenin geometrik elemanlarıyla ifade edilir (Şekil 7). İç yöneltme ile resim çekim anındaki ışın demeti yeniden oluşturulmuş olur.



Şekil 7. İç yöneltme

### 1.3.2. Dış Yöneltme (Exterior Orientation)

Dış yöneltme kameranın bir referans sistemine göre (arazi sistemi) konumunun belirlenmesini ve yöneltmesini içerir. Bunun için; bilinen iç yöneltmeli izdüşüm, eğer izdüşüm merkezinin  $X_0$ ,  $Y_0$  ve  $Z_0$  koordinatları ile resim koordinat sisteminin uzay koordinat sistemindeki yöneltmesinin bilinmesi durumunda analitik olarak ve tek anlamlı olarak belirlidir. Bu yöneltme birbirinden bağımsız ve çeşitli şekilde seçilebilen üç  $\omega$ ,  $\varphi$  ve  $\chi$  açıları ile gösterilir.

Bir ışın demetinin uzaydaki konumunun belirlenmesi üç dönme ve ötelenme değerlerinin bilinmesi ile mümkün olur. Bu değerler resim çekme noktasının  $X_0$ ,  $Y_0$  ve  $Z_0$  koordinatları ile ışın demetinin üç dönme parametresi  $\omega$ ,  $\varphi$  ve  $\chi$ 'dir. Bu altı parametreye dış yöneltme elemanları denir.

### 1.4. Geometrik Düzeltme

Uzaktan algılama görüntüleri, çeşitli nedenlerle sahip oldukları sistematik (tarama eğikliği, tarama hızındaki değişimler, panoramik bozulma, platform hızı, yer dönmesi, yer küreselliği vb.) ve sistematik olmayan (yükseklik değişimleri, durum değişimleri vb.) hatalardan ötürü çeşitli çalışmalarda kullanılabilmesi için, çalışmanın amacına uygun

olarak birtakım düzeltmelere tabi tutulmaları gerekmektedir. Konumsal bilgi edinme açısından bakıldığında, görüntülerin gerek orto-görüntü olarak, gerekse vektörleştirilerek CBS tabanlı çalışmalarda kullanılmaları için, radyometrik ve geometrik hatalarından arındırılmaları ve yer koordinat bilgisi taşıyacak şekilde işlenmesi gerekmektedir. Bu sayede farklı tarihlerde ve değişik kaynaklardan elde edilen görüntüler, yine farklı kaynaklardan elde edilen konumsal bilgiler ile birlikte bir uyum içerisinde CBS tabanlı çalışmalarda rahatlıkla kullanılabilirler (Topan, 2004).

Sistemik hatalar, bazı yörünge ve kalibrasyon bilgileri ile düzeltilebilirler ve çoğu zaman satışı yapılan görüntüler, pazarlamacı firma tarafından sistemik düzeltmesi yapılmış olarak satılırlar. Sistemik olmayan hatalar ise önceden kestirilemedikleri için ancak Yer Kontrol Noktası (YKN) ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) verilerinin kullanılması ile giderilebilirler. Sistemik olmayan geometrik hataların düzeltilmesinde pek çok matematiksel model mevcuttur. Görüntü uzayı ve yer obje uzayı arasındaki geometrik ilişkiyi tanımlayan sensör modelleri fiziksel (parametrik) ve genelleştirilmiş (parametrik olmayan) modeller olmak üzere ikiye ayrılabilir.

Fiziksel bir sensör modeli fiziksel görüntü işlemeyi temsil eder (Tao ve Hu, 2001b). Fiziksel sensör modelinde parametreler, obje uzay koordinat sistemine göre sensörün konumunu ve oryantasyonunu (yöneltim) tanımlar. Frame, pushbroom, whiskbroom, panoramic, SAR gibi birçok sensör tipi vardır. Fiziksel sensör modellerinin gelişiminin, görüntü parametreleri (iç ve dış yöneltim parametreleri) ve fiziksel sensör bilgilerine ihtiyacı vardır. Bu yüzden farklı sensörler, farklı sensör modellerinin gelişimine ihtiyaç duyar (Tao ve Hu, 2001).

Genelleştirilmiş sensör modelleri, sensör tiplerinden ve sensör platformlarından bağımsızdır. Parametrik olmayan bu yaklaşımlarda, algılayıcı sisteme ait parametreler mevcut değildir ve çözümde sistemin görüntüleme geometrisi dikkate alınmaz. Parametrik olmayan modellerin geometrik düzeltmedeki özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- İki boyutlu parametrik olmayan modellerde sadece yatay konum bilgileri kullanıldığı için, böyle bir modelle, yükseklikten kaynaklanan hata giderilememektedir.
- İki boyutlu parametrik olmayan modeller, YKN'nın konum doğruluğuyla ve görüntüdeki dağılımıyla yakından ilişkilidir. Özellikle YKN'nın yoğun olduğu bölgelerde yeterli sonuç verirken, noktaların dışında sapmaktadırlar.

- Üç boyutlu parametrik olmayan modellerde, iki boyutlu modeldekine ek olarak Z (yükseklik) verisi de kullanılır ve YKN'lerin konumundaki yükseklikten kaynaklı hata da giderilmeye çalışılır. Fakat yatay (X, Y) ve düşey (Z) konum arasında herhangi bir fiziksel ilişki yoktur ve dolayısıyla burada yapılan, bu üç değer yardımıyla model bilinmeyenlerini bulmaktan ibarettir.
- Üç boyutlu parametrik olmayan model de iki boyutlu model gibi YKN'sının konum doğruluğuyla ve dağılımıyla yakından ilişkilidir.

Parametrik modeller ise, görüntüleme sisteminin geometrisi ile ilgili bilgileri içeren ve parametrik olmayan modellere oranla üst düzey modellerdir. Bu model, YKN verilerinin doğruluğuna bağlı iken dağılımına bağlı değildir ve parametrik olmayan modellerden daha az sayıda YKN'na gereksinim duyulur (Toutin, 2003 ).

Yukarıda kısaca değinilen parametrik ve parametrik olmayan modellere ilişkin ayrıntılı bilgiler aşağıda verilmektedir.

#### **1.4.1. Geometrik Düzeltme Yöntemleri**

Uzaktan algılama ile elde edilmiş görüntüleri kullanabilmek için, harita gibi konumsal tabanlı verileri, görüntü ve görüntü içindeki piksellerle coğrafi olarak ilişkilendirmek gerekir. Geometrik düzeltme adı da verilen bu ilişkilendirmede üç farklı yöntem kullanılır (Radwan, 1984). Bunlar görüntü gridleme, görüntü düzenleme ve görüntü yataylamadır.

##### **1.4.1.1. Görüntü Gridleme (Image gridding)**

En basit yöntemdir. Bu yöntemde; coğrafi ve kartografik izdüşümü bilinen bir çerçeve gridi, orijinal görüntü üzerine giydirilir. Böylece ilgili detayları içeren pikseller coğrafi konumları, görüntü üzerine giydirilmiş grid değerleri esas alınarak enterpolasyon ve ekstrapolasyon ile belirlenir. Bu tekniğin en yaygın olarak kullanıldığı yer, meteoroloji uydularından elde edilen görüntülerdir. Meridyen ve paralel dairelerinden oluşan coğrafi grid ağı, kıtaların kıyı çizgileri de göz önüne alınarak görüntü üzerine aktarılır ve konum belirleme amacıyla kullanılır. Bu yöntemin başlıca sakıncası, doğruluk yönünden zayıf olması ve nitelikli bir analiz için görüntüler arasında kıyaslama yapmanın zor olmasıdır.

### 1.4.1.2. Görüntü Düzenleme( Image registration)

Bu yöntem aynı algılayıcı tarafından, belirli bölgeye ait değişik zamanlarda alınmış görüntüleri ya da farklı algılayıcılar tarafından alınmış aynı bölgeye ait görüntüleri kıyaslayarak değişiklikleri saptama amacını taşır. Burada görüntülerden biri referans alınır ve diğer görüntü bununla karşılaştırılır. Referans olarak alınan birinci görüntüyle göreceli diğer görüntülerin basit bir düzenlemesi yapıldığından, bu durumda söz konusu işlemde belirgin bir doğruluk ölçütü aranması hatalı bir yaklaşımdır.

Görüntü düzenlemenin karmaşıklığı iki görüntü arasındaki farka bağlıdır. Eğer iki görüntü aynı ölçek ve geometriye sahipse, bu durumda bir görüntünün diğerine göre iyi karşılaştırılması sağlanıncaya kadar döndürme (rotating) ve öteleme (translating) işlemlerine devam edilir. Farklı ölçeklerde ve / veya farklı algılayıcılarla elde edilmiş görüntülerdeyse karşılaştırma teknikleri oldukça karmaşık olup, bu durumda aşağıda açıklanacak olan görüntü yataylama yöntemlerinin kullanılması zorunlu hale gelir.

Görüntü düzenleme işlemi, her iki görüntüde yer alan belirli sayıdaki ortak noktanın ilişkilendirilmesi esasına dayanır. İki görüntü arasındaki mevcut geometrik bozulmaların, yeterli doğrulukta bir matematik modelini oluşturmaya yetecek sayıda ortak nokta bulunmalıdır.

### 1.4.1.3. Görüntü Haritalama (Image mapping)

Üçüncü ve en karmaşık olan bu yöntem "görüntü yataylama (image rectification)" adı da verilmektedir. Bilindiği gibi, uydu görüntüleri bir harita gibi kullanılmasını engelleyecek çeşitli geometrik bozulmaları içermektedir. Bu nedenle söz konusu yataylama işlemi, haritadan alınan noktalar yardımı ile bir görüntü düzenleme (registration) işlemi olarak da düşünülebilir. Yataylama sonrası geometrik hatalardan arındırılmış yeni bir görüntü oluşturulur.

Dönüşümler iki ve üç boyutlu olmak üzere iki türdür. İki boyutlu dönüşümde, görüntüyü sadece bir düzlem üzerine izdüşürecek bilgi ilişkilendirilmesi yapılır. Bu, topografik yükselti verilerinin (dağ, tepe vb.) göz ardı edilmesi anlamına gelmektedir. Üç boyutlu dönüşümler ise, araziye ait yükseklik bilgilerinin kullanılması sonucu gerçekleştirilen en hassas dönüşümler olarak değerlendirilir.

Görüntü haritalama işlemi başlıca iki aşamada gerçekleştirilir. Birinci aşamada, algılayıcı ve platforma ilişkin hatalar için bir matematik model oluşturulur. Bu düzeltme (a priori) modeli, algılayıcı kalibrasyon verileri, platform verileri ve yer dönmesi, yer küreselliği gibi dış parametre verilerini esas alır. İkinci aşama olan geometrik hatalardan arındırma işlemi ise, yeterli sayıda yer kontrol noktası kullanılarak gerçekleştirilir. Birinci aşama düzeltme işleminin bir kısmı uydu yer istasyonlarındaki görüntü işleme merkezlerinde veri dağıtım öncesi gerçekleştirilir, diğer bir kısmı ise ticari amaçlı görüntü işleme yazılımlarında otomatik olarak yerine gerçekleştirilir.

#### **1.4.2. Ortoyataylama ( Orthorectification )**

Algılayıcı geometrisi etkisi ve yer değiştirme (Relief Displacement) etkilerini ortadan kaldırmak amacıyla yapılır. Rasyonel fonksiyonlar, verilen X, Y konumunu ve Z yüksekliği değeri ile görüntü piksel koordinatlarının hesabında kullanılır. Rektifikasyonun daha hassas bir formudur. Çünkü burada kameranın pozisyonu, durumu ve arazinin topografyası hakkında bilgiler bulunur.

#### **1.4.3. Parametrik Matematiksel Modeller**

Üç boyutlu (3D) parametrik modellerle geometrik düzeltme matematiksel bir fonksiyonla adım adım veya birleşik bir matematiksel fonksiyonla tümüyle yapılabilir (Toutin ved., 2002). 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 yöneltme parametrelerine ek olarak yörünge bilgileri içerilmekte ve sensörün her bir doğrusal dizini için ayrı bir eşitlik yazılmaktadır.

##### **1.4.3.1. Kolinearite Eşitlikleri (Merkezsiz İzdüşüm)**

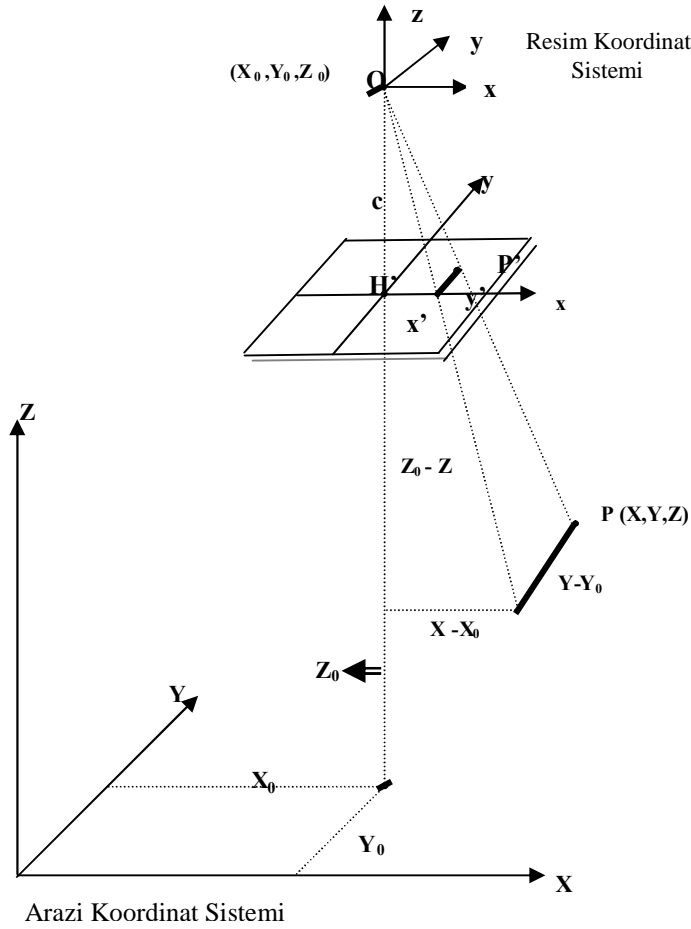
Fotogrametrinin temel eşitliklerin olan Kolinearite eşitlikleri esasında; birbirine paralel durumda olan resim koordinat düzlemi ile arazi koordinat düzlemi arasındaki

geometrik dönüşümü ifade eder (Şekil 8). Eşitlikler frame ve pushbroom sensörleri için fiziksel (rigorous) modeller olarak kullanılabilir. Çerçeve (frame) sensörler için;

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

$$y = y_p - c \frac{r_{12}(X - X_0) + r_{22}(Y - Y_0) + r_{32}(Z - Z_0)}{r_{13}(X - X_0) + r_{23}(Y - Y_0) + r_{33}(Z - Z_0)}$$
(1)

eşitliği yazılır. Burada  $X, Y, Z$  noktanın cisim uzayı koordinatlarını,  $x, y$ : Cisim noktasının görüntü koordinatlarını,  $x_p, y_p, c$ : Kameranın iç yöneltme elemanlarını,  $X_0, Y_0, Z_0$ : Kamera izdüşüm merkezinin cisim uzayı koordinatlarını,  $r_{ij}(i, j=1.2.3)$ : Dönüklük matrisi elemanlarını göstermektedir.



Şekil 8. Resim koordinatı ile arazi koordinatı arasındaki bağıntı (merkezsel izdüşüm)



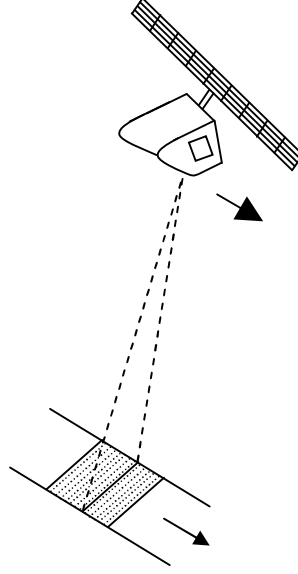
Pushbroom sensörler için (örn SPOT); matematiksel model satır-perspektif geometrisine uyarlanmıştır (Novak, 1992 ).

$$x = -c \frac{r^{i_{11}}(X - X_{i_0}) + r^{i_{21}}(Y - Y_{i_0}) + r^{i_{31}}(Z - Z_{i_0})}{r^{i_{13}}(X - X_{i_0}) + r^{i_{23}}(Y - Y_{i_0}) + r^{i_{33}}(Z - Z_{i_0})} \quad (2)$$

$$0 = -c \frac{r^{i_{12}}(X - X_{i_0}) + r^{i_{22}}(Y - Y_{i_0}) + r^{i_{32}}(Z - Z_{i_0})}{r^{i_{13}}(X - X_{i_0}) + r^{i_{23}}(Y - Y_{i_0}) + r^{i_{33}}(Z - Z_{i_0})}$$

formülasyonda  $x_i$ : Tarama satırındaki koordinatı (scan-line),  $i$ : Hareket doğrultusuna dik yönü,  $x,y$ : Sensör koordinatlarını,  $X,Y,Z$ : Arazi koordinatlarını,  $X_{i_0}, Y_{i_0}, Z_{i_0}$ : İzdüşüm merkezinin koordinatlarını,  $c$ : Asal uzaklığı,  $r_{ij}(i,j=1.2.3)$ : Dönüklük matrisi elamanlarını göstermektedir.

Modern uydu bağlantılı pushbroom sensörler, topografik haritalama için yeteri konumsal çözünürlük elde etme ve kaliteli görüntü alımında muktedirdir. Doğrusal dizi görüntüleme sistemlerinde yeryüzü, algılayıcı sistemin odak düzlemine yerleştirilmiş tek boyutlu bir CCD dedektör dizininin üzerine izdüşülür ve böylece görüntüleme işlemi gerçekleştirilir (Şekil 9). Her bir doğrusal dizi üzerine yeryüzünün örneklenmesi, uydunun ileri hareketi ile sağlanmaktadır. Satır satır, dinamik bir süreç elde etmek için pushbroom görüntüleme spesifik (özel) fotogrametrik işleme metotlarını uygulama ihtiyacındadır. Çünkü klasik fotogrametrinin temel prensipleri, görüntüyü gerçek obje uzayının merkezi izdüşümü olarak kabul etmektedir. Bu durum pushbroom görüntüler için geçerli değildir (Adrov ve Titarov, 2002).



Şekil 9. Doğrusal dizili (pushbroom) görüntü alımı

Gerçekte pushbroom görüntünün her bir satırı kendi dış yöneltme elemanlarına sahiptir ve bu parametreler birbirinden farklıdır. Buna rağmen; uydunun yörünge ile birlikte düz hareketi ve tüm görüntüyü yakalamanın kısa bir zaman dilimi alması nedeni ile komşu perspektif merkezler bir hayli korelasyonludur. Bu yüzden dış yöneltme parametreleri değişimi lineer fonksiyonlar ve ikinci derece polinomlarla tahmin edilebilir (Chen ve Lee, 1993). Pushbroom sensör modelinin doğruluğu, kolinearite dönüşüm düzeltmelerinin eklenmesiyle etkin bir şekilde geliştirilebilir. Bu teknik görüntü distorsiyon çeşitlerinin negatif etkisini azaltabilir. Eğer ki görüntüleme düşük kalitede metrik olmayan (non-metric) kamera kullanımı varsa bu teknik özellikle önemlidir (Novak, 1992). Kolinearite eşitliklerinin karakteristik özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Model fiziksel olarak anlamlı ve düzenlidir. Özel parametreler farklı prosedürlerle tanımlanabilir (McGlone, 1996).
- Model, rölyef yer değiştirmeler ve kamera distorsiyonlarının her ikisini de hesaba katar.
- Triangulasyon dengeleme ile sistematik ve rastgele hataların her ikisinin de azalmasını sağlanabilir.
- Sensörün iç, dış yöneltme bilgileri ve orbitalle ilgili diğer bilgiler modelin geliştirilmesi için önemlidir.
- Farklı her bir görüntüleme sensörü, farklı bir fiziksel modele gereksinim duyar.
- Model matematiksel olarak kompleksdir ve uzun zaman dilimi ihtiva eder.

#### 1.4.4. Parametrik Olmayan Matematiksel Modeller

Uzaktan algılama görüntülerinin geometrik düzeltilmesinde kullanılan parametrik olmayan modeller için görüntü koordinat sisteminde koordinatları ölçülen ve yer koordinat sisteminde koordinatları bilinen YKN 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:

$$x_i = F_1(X_i, Y_i, Z_i)$$

$$y_i = F_2(X_i, Y_i, Z_i)$$

veya iki boyutlu uzayda

$$x_i = F_1(X_i, Y_i)$$

$$y_i = F_2(X_i, Y_i)$$

şeklinde ifade edilir ( $i=1(1) n$ : Toplam YKN sayısı).

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.

##### 1.4.4.1. İki (2D) ve Üç Boyutlu (3D) Polinomyal Modeller

Çeşitli polinom derecelerinin kullanıldığı iki boyutlu yaklaşımda, matematiksel ilişki, iki boyutlu uzayda kurulmaktadır. Burada, modelin katsayıları belirlenmekte ve yer koordinatları hatasız kabul edilerek, görüntü üzerinde ölçülen herhangi bir noktanın görüntü koordinatına getirilecek düzeltme miktarı ve yer koordinat sistemindeki karşılığı bulunmaktadır.

Polinomyal yaklaşımda, görüntü koordinatları ile YKN koordinatları arasındaki ilişki:

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

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

şeklindedir. Burada; N: Polinomun derecesini,  $a_{jk}$  ve  $b_{jk}$ : polinomyal katsayıları göstermektedir.

$$j= 1, 2, \dots, N,$$

$$k= 1, 2, \dots, N-j,$$

$$i = 1(1)2n \text{ şeklindedir.}$$

Bu eşitlikte N dönüşümün amacına göre değişmektedir. Yukarıdaki eşitlik açık yazılırsa:

$$x_i = a_{00} + a_{01}Y + a_{10}X + a_{11}XY + a_{02}Y^2 + a_{20}X^2 + a_{12}XY^2 + a_{21}X^2Y + \dots + a_{jk} X^j Y^k \quad (3)$$

$$y_i = b_{00} + b_{01}Y + b_{10}X + b_{11}XY + b_{02}Y^2 + b_{20}X^2 + b_{12}XY^2 + b_{21}X^2Y + \dots + b_{jk} X^j Y^k$$

eşitlikleri elde edilir (Monti vd., 1999). Polinomun genelleştirilmiş formu;

$$x = \sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k \quad (4)$$

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

şeklindedir. Görüntü alanı düz olduğunda, düşük dereceli polinomlar yeterli derecede iyi sonuçlar vermektedir. Bu durumda model; birinci dereceden iki boyutlu polinomlar olarak sunulmaktadır.

$$x = a_0 + a_1 X + a_2 Y \quad (5)$$

$$y = b_0 + b_1 X + b_2 Y$$

formülasyonda x,y: Görüntü piksel koordinatlarını, X, Y: Arazi (harita) koordinatlarını,  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $b_2$ : Polinomyal katsayıları göstermektedir.

Bazı çalışmalar görüntü rektifikasyonunda, tepeli ve dağlık alanlarda bile düşük mertebeden üç boyutlu (3D) polinomial model kullanımının; bir doğruluk düzeyi ile fiziksel modellere yaklaştığını göstermektedir. Spot görüntülerin rektifikasyonu için kullanılan model (Pala ve Pans, 1995);

$$x = a_0 + a_1X + a_2Y + a_3Z + a_4XZ + a_5YZ$$

$$y = b_0 + b_1X + b_2Y + b_3Z + b_4XZ + b_5YZ$$
(6)

olarak gösterilir. Yukarıda eşitlik (3) ile genel yapısı verilen polinomial dönüşümün en yaygın kullanım şekli eşitlik (5) ile gösterilen birinci mertebeden polinomial (afin) eşitliktir. Eşitlik (5) 'in Z değeri kullanılarak değiştirilmiş hali afin dönüşümü gibi doğrusaldır ve sekiz parametrelidir (Büyüksalih ve Li, 2003). Yöntem üç boyutlu afin dönüşüm olarak da adlandırılmaktadır. Ancak bu adlandırma yerine “yükseklik değerini kullanan” afin dönüşüm ifadesi kullanılabilir (Topan, 2004). Bunun nedeni, üç boyutlu afin dönüşümün üç boyutlu iki koordinat sistemi arasında kullanılmasıdır. Oysa görüntü uzayından obje uzayına geçişte kullanılan koordinat sistemlerinden görüntü koordinat sistemi iki boyutludur ve dolayısıyla afin dönüşüm, YKN'lere ait yükseklik değerini kullanarak üç boyutlu yer ve iki boyutlu görüntü koordinat sistemi arasında dönüşüm yapmaktadır. Modelde X,Y arazi koordinatlarını Z ise yüksekliği ifade etmektedir. Benzerlik dönüşümüne göre daha genel bir dönüşüm olan afin dönüşümde doğrudaşlık özelliği korunur. Paralel doğrular dönüşümden sonra yine birbirine paralel, kesişen doğrular dönüşümden sonra yine kesişirler (Şekil 10).



Şekil 10. Afin dönüşümü

Matematiksel model matris gösterimi ile yazılırsa,

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

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.

Yukarıdaki (3) eşitliklerinin ilk dört terimi alınarak bi-lineer dönüşüm eşitlikleri için;

$$\begin{aligned} x_i &= a_0 + a_1 X + a_2 Y + a_3 XY \\ y_i &= b_0 + b_1 X + b_2 Y + b_3 XY \end{aligned} \quad (7)$$

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,

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & X_i & Y_i & X_i Y_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & X_i & Y_i & X_i Y_i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ b_0 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$$

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.

Polinomyal modellerin karakteristik özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

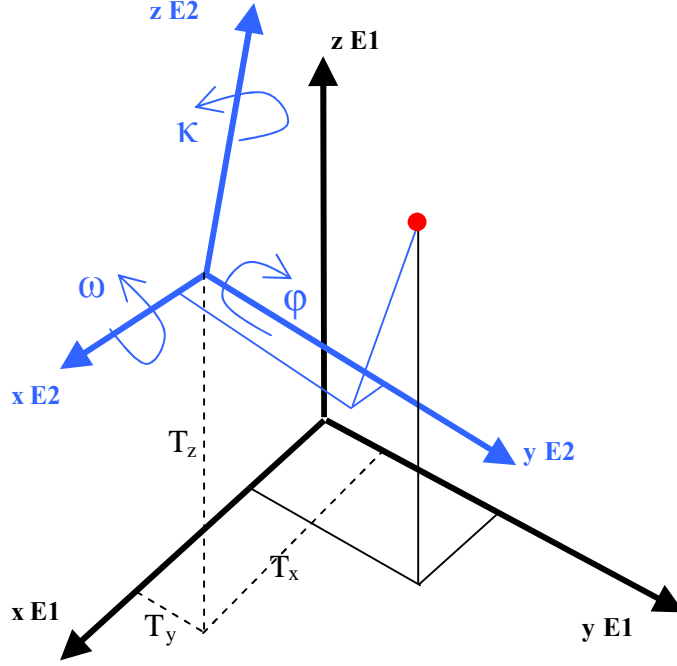
- Modeller; tasarım, tamamlanma ve sık bir şekilde ifa bakımından fiziksel sensör modellerinden daha hızlıdır.
- Sensör geometrisi ve platformdan bağımsızdırlar.
- Rölyef yer değiştirmelerin sonuca önemli bir etkisinin olmadığı durumlarda, uygulanabilirler.
- Polinomial ifadeler; tesadüfî distorsiyonların absorbe edilmesi için müthiş bir yetenekle karakterize edilmiştir. Fiziksel sensör modellerinde kullanılan düzeltmeler ( yer yuvarı eğriliği, atmosferik refraksiyon, mercek distorsiyonu vb.. ) ; ikinci derece polinomlarla düzenlenebilir.
- Sensör geometrisi ve yer yuvarının eğriliğinden kaynaklanan birçok görüntü distorsiyonu eş zamanlı olarak düzeltilebilmektedir. Modeller, her ne kadar rölyef yer değiştirmeleri yeterli bir şekilde düzeltmese de, görüntü sisteminin özel geometrisini dikkate almaz (Novak, 1992).
- Bazı durumlarda; en iyi derecede doğruluğa ulaşmak için bu modeller parça parça (**piece-wise**) uygulanabilir (Mc Glone, 1996).
- Modeller, yüksek frekanslı fiziksel sensörler gibi (görünüş, biçim olarak) modellenemezler. Genelde elde edilen doğruluk fiziksel sensör modellerinden daha düşüktür.
- Fiziksel parametreler, polinomyal katsayılardan elde edilemezler.
- Deneyimsiz kullanıcılar için yüksek dereceden bir polinom, referans noktalarında çok iyi bir uygunluk sağlıyormuş gibi gözükabilir (örn: ortalama hataların küçük çıkması gibi), fakat referans noktalarında meydana gelen dalgalanmalar büyük hatalar doğurabilir.

#### 1.4.4.2. Benzerlik Dönüşümü

Benzerlik dönüşümünde geometrik şekillerin benzerliği korunur. Düzgün geometrik şekillerin kenarları aynı oranda küçülür ya da büyür. Açılarının mutlak değerleri değişmez kalır. Şekiller dönüşümden sonra esas şekle benzerler (Tansuğ ve Pektekin, 1978).

Üç boyutlu benzerlik dönüşümü gerek işlem hacminin azlığı gerekse matematiksel modelin kolay uygulanabilirliği nedeniyle jeodezide yaygın olarak kullanılır. Üç boyutlu 7

parametrelili benzerlik dönüşümünde ölçek faktörü tüm doğrultularda değişmez kabul edilir. Şekil tümüyle korunduğu için açılar değişmez. Üç boyutlu benzerlik dönüşümü ile  $(x, y, z)$  sisteminden diğer bir üç boyutlu  $(X, Y, Z)$  sistemine noktaların koordinatları dönüştürülür. İki koordinat sistemi paralel değildir.



Şekil 11. Üç boyutlu benzerlik dönüşümü

Üç boyutlu benzerlik dönüşümünde; 1 ölçek faktörü ( $s$ ),  $X, Y, Z$  eksenleri etrafındaki 3 dönüklük açısı ( $\omega, \phi, \kappa$ ) ve 3 öteleme elemanı ( $T_x, T_y, T_z$ ) olmak üzere toplam 7 parametre vardır (Şekil 11). Koordinat sistemleri Şekil 11’de görüldüğü gibi sağ el kuralına göre tanımlanmış olmalıdır. Her bir eksenin pozitif yönünde bakıldığında dönüklük açıları ( $\omega, \phi, \kappa$ ) saat ibresi yönünde artmaktadır. Bir  $P$  noktasının birinci sistem koordinatları  $x (x, y, z)$ , ikinci sistem koordinatları  $X (X, Y, Z)$  ise bunlar arasında,  $M$  dönüşüm matrisi olmak üzere

$$X = SMx + T \quad (8)$$

ilişkisi vardır. Eşitlik daha açık olarak;



$$X=S(m_{11}x+m_{21}y+m_{31}z)+T_x$$

$$Y=S(m_{12}x+m_{22}y+m_{32}z)+T_y$$

$$Z=S(m_{13}x+m_{23}y+m_{33}z)+T_z$$

şeklinde yazılabilir. Jeodezide genellikle benzerlik dönüşümü kullanılmasına rağmen fotogrametri ve kartoğrafyada durum farklıdır. Çünkü film, kağıt vb. maddeler deformasyona uğradıkları zaman her iki eksen boyunca bozulmalar aynı olmaz. Bu durumda afin dönüşümü tercih edilir ( Başçiftçi vd., 2004).

#### 1.4.4.3. Projektive Transformation Modeli

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). Doğrusal dönüşümlerin en genel halidir, açı korunmaz şekil bozulur (Şekil 12). Doğrudaşlık ve çifte oran özelliği bozulmaz.

Projektif 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;

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

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

(9)

şeklindedir. 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 (9) deki şeklini alır. Burada  $r_{33}$ , dönüklük matrisinin elemanı ve c kameranın asal uzaklığıdır.

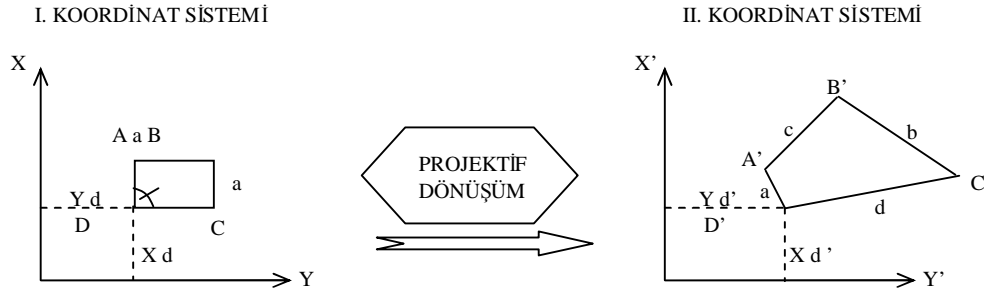
Pushbroom sensörleri için, projektif transformasyon:

$$x = \frac{a_1 X + a_2 Y + a_3}{c_1 X + c_2 Y + 1} \quad (10)$$

$$y = b_1 X + b_2 Y + b_3$$

olarak düzenlenebilir (Novak, 1992). Formülasyonda y: Uçuş doğrultusunu, x: Tarama satırındaki pikseli gösterir.

- Bu yöntem genellikle düz alanların hava fotoğraflarında ve bina yüzeylerinin görüntülerinde bulunan hataları gidermekte kullanılır.
- İç ve dış yönelme elemanları, 8 adet parametre içinde kapalı olarak verildiği için gereksizdir.
- Bu metot uydu sensörleri için küçük pratik bir öneme sahiptir, fakat hava-satır tarayıcılar için modelin uygulanabilirliği önemlidir (Novak, 1992).



Şekil 12. Projektif dönüşüm

Matematiksel model matris gösterimi ile yazılırsa,

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i & Y_i & 1 & -x_i X_i & -x_i Y_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -y_i X_i & -y_i Y_i & X_i & Y_i & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ c_1 \\ c_2 \\ b_1 \\ b_2 \\ b_3 \end{bmatrix}$$

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.

#### 1.4.4.4. Direkt Linear Transformation (DLT) Modeli

DLT model ilk olarak; çerçeve görüntüler için 2 boyutlu komparator koordinat sistemi ile 3 boyutlu arazi koordinat sistemi arasında direkt olarak fiziksel bir ilişki kurmak için geliştirilmiştir ( Abdel-Aziz ve Karara, 1971).

Bu yöntemle, fotogrametride sıkça kullanılan kolinearite bağıntıları metrik olmayan fotogrametrik çalışmalar için yeniden parametrize edilmiştir. Metrik olmayan sistemlerle yapılan fotogrametri uygulamalarında, kameranın iç ve dış dönüklük elemanları bilinmemektedir ve bu nedenle DLT yöntemi, bu ve benzeri çalışmalar için kullanılabilir. 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 polinomial fonksiyonlar ortak bir payda ile göz önünde tutulduğunda RFM'nin özel bir formudur. Her ne kadar model çerçeve görüntülerin fiziksel modellenmesi için türetilse de, doğrusal satır tarayıcılar için de yaklaşık bir modelleme olarak dikkate değerdir (Kim vd., 2005).

DLT yönteminin on bir parametreliliği genel eşitliği,

$$x_c = \frac{a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$$

$$y_c = \frac{a_5 X + a_6 Y + a_7 Z + a_8}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1}$$
(11)

şeklinde dir. Formülasyonda  $x_c, y_c$ : Görüntü koordinatlarını,  $X, Y, Z$ : Arazi koordinatlarını ifade eder. Genişletilmiş bir DLT modeli (EDLT) ilave iki ek parametre ile SPOT görüntü rektifikasyonu için aşağıdaki gibi düzenlenmiştir (Extended DLT model) ( Okamoto vd., 1999).

$$x_c = \frac{a_1 X + a_2 Y + a_3 Z + a_4}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1} + a_{12} x_c y_c^2$$

$$y_c = \frac{a_5 X + a_6 Y + a_7 Z + a_8}{a_9 X + a_{10} Y + a_{11} Z + 1} + a_{13} y_c^2$$
(12)

Eşitlik (1) ile kıyaslandığında iç ve dış yöneltme elemanları kapalı bir vaziyettedir. Bu model diğer sensör modelleri ile mukayese edildiğinde SPOT görüntülerin rektifikasyonunda çok iyi bir performans sağlamaktadır.

- DLT modeli kollinearite eşitlikleri için bilinmeyen parametrelerin yaklaşık değerlerini türetmek için sık bir şekilde kullanılır.
- Yöneltme parametrelerine; DLT modelinin çözümünde gerek yoktur.
- İlave parametrelerin var oluşu, tarayıcının geniş alan açısı hesabına yardımcı olur. İlave parametrelerin ( $a_{12}, a_{13}$ ) SPOT görüntülerin rektifikasyonuna etkisi kanıtlanmıştır.
- EDLT modeli ile her ne kadar makul bir derecede geometrik süreklilik sağlansa da, triangülasyon (üçgenleme) sonuçlarının az sayıda yer kontrol noktası kullanılması durumunda kötü bir sonuç doğuracağı umulmaktadır (Okamoto vd., 1999).

Matematiksel model matris gösterimi ile yazılırsa,

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_i & Y_i & Z_i & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -x_i X_i & -x_i Y_i & -x_i Z_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & X_i & Y_i & Z_i & 1 & -y_i X_i & -y_i Y_i & -y_i Z_i \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \\ a_6 \\ a_7 \\ a_8 \\ a_9 \\ a_{10} \\ a_{11} \end{bmatrix}$$

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.

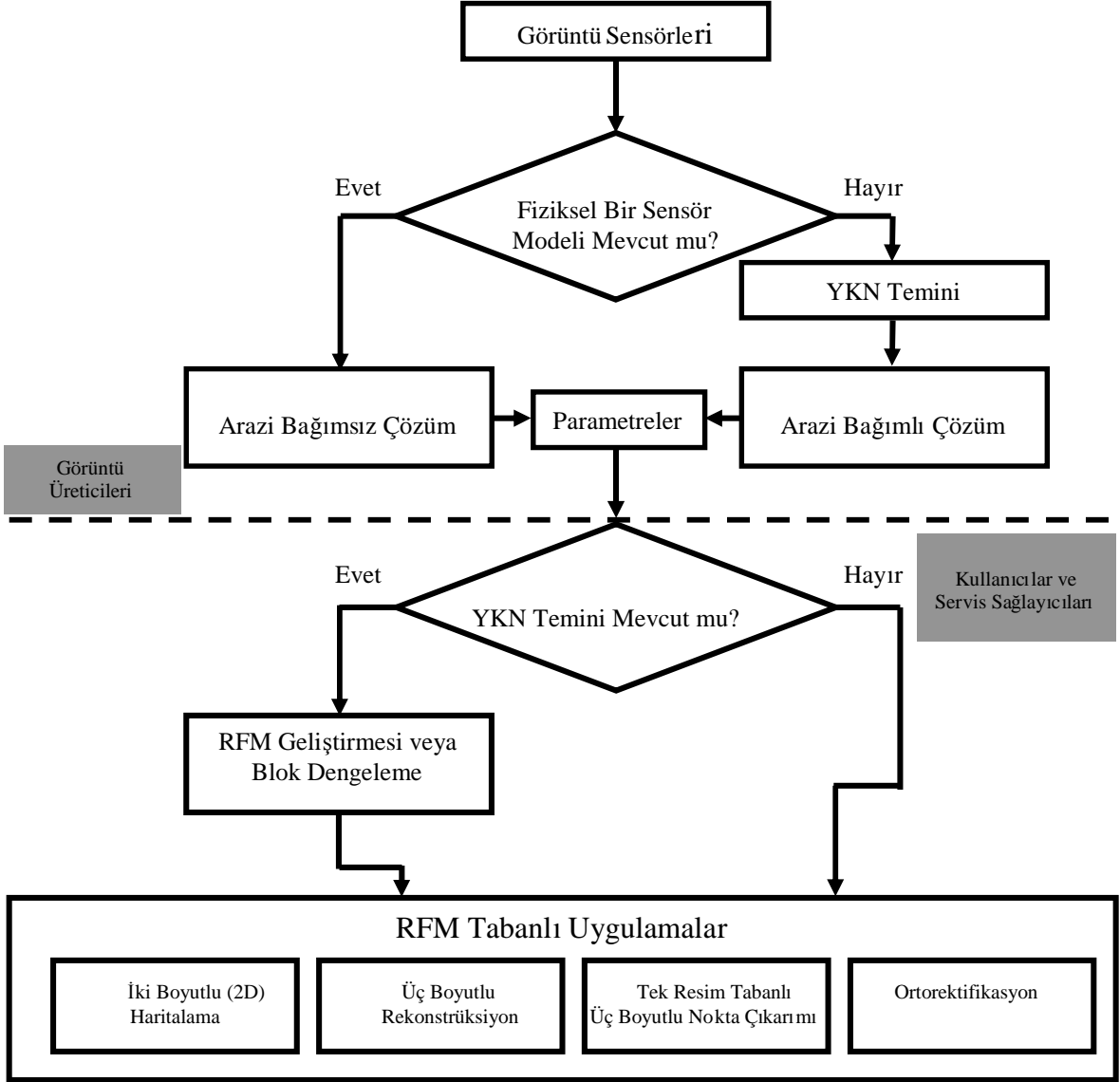
#### 1.4.4.5. Rasyonel Fonksiyon (Rational Function) Modeli

Sensör modelleri görüntü uzayı ve yer obje uzayı arasındaki geometrik ilişkiyi gösterir. Fiziksel (parametrik) sensör modeli gelişiminin, fiziksel sensör ve görüntü parametreleri bilgisine ihtiyacı vardır (iç ve dış yöneltme parametreleri gibi) (Şekil 13). Bu yüzden farklı sensörler, farklı sensör modellerinin gelişimine ihtiyaç duymaktadır.

Genelleştirilmiş sensör modelleri ise sensör tiplerinden bağımsızdır. Fiziksel görüntü işleme için önem arz etmezler, bu yüzden esnek ve kullanım için kolaydırlar. Polinomyal tabanlı tipik genelleştirilmiş sensör modelleri, uzaktan algılama topluluğu içinde genişçe bir kullanım alanı bulmaktadır. Bu sensör modellerinden birisi olan RFM'de uzaktan algılama topluluğu içinde dikkate değer bir ilgi sağlamış durumdadır. Bu durumun oluşmasında, görüntü kıymetlendirmede RFM'yi alternatif sensör modeli olarak benimseyen uydu verisi üreticilerinin (Space Imaging gibi) büyük katkısı vardır. Fotogrametrik işleme için, Rasyonel Fonksiyon Katsayıları (RFCs) fiziksel sensör modeli yerine kullanıcılara tedarik edilmektedir (Şekil 13). RFM genelleştirilmiş bir sensör modelidir fakat birçok ticari fotogrametrik sistemde alternatif sensör modeli (Padares vd .,1989; Madani, 1999; Dowmann ve Dolloff, 2000) olarak kullanılmaktadır. RFM alternatif sensör modeli olarak kullanıldığında, bilinmeyen rasyonel fonksiyon katsayıları (RFCs) sıklıkla yoğun üç boyutlu (3D) obje gridi kullanılarak hesaplanır. Her bir grid noktasının koordinatı fiziksel sensör modeli ile bilfiil hesaplanır. Bu durumda RFM, fiziksel sensör modeline bir yaklaşım sunar. RFM doğruluğu fiziksel sensör modeline bağlıdır ve araziyle bir bağıntısı yoktur. Bu senaryo araziden bağımsız RFM çözümü olarak adlandırılabilir (Şekil 13). RFM'nin fiziksel ikonos sensör modeli kadar doğrulukta olduğu iddia edilebilir. (Grodecki 2001). Öyle ki; Amerikan Space İmaging firması kullanıcılara sadece bu katsayılar (RFCs) ile birlikte fiziksel ikonos sensör modelinin sonuçlarını sağlayabilmektedir.

Hali hazırda herhangi bir fiziksel sensör modeli olmaksızın, arazi noktalarının ilişkili görüntü noktaları hesaplanamaz. Bilinmeyenlerin çözümü için, görüntü ve sayısal yükseklik modeli (veya harita) nden kontrol noktası ve denetleme noktası ölçülmelidir. Bu durumda çözüm ağırlıklı olarak gerçek arazi rölyefi, kontrol noktası sayısı ve bu noktaların dağılımına bağlıdır. Bu, klasik (geleneksel) polinomyal tabanlı görüntü rektifikasyon yaklaşımları ile benzerlik göstermektedir. Bu yaklaşım arazi bağımlı RFM çözümü olarak

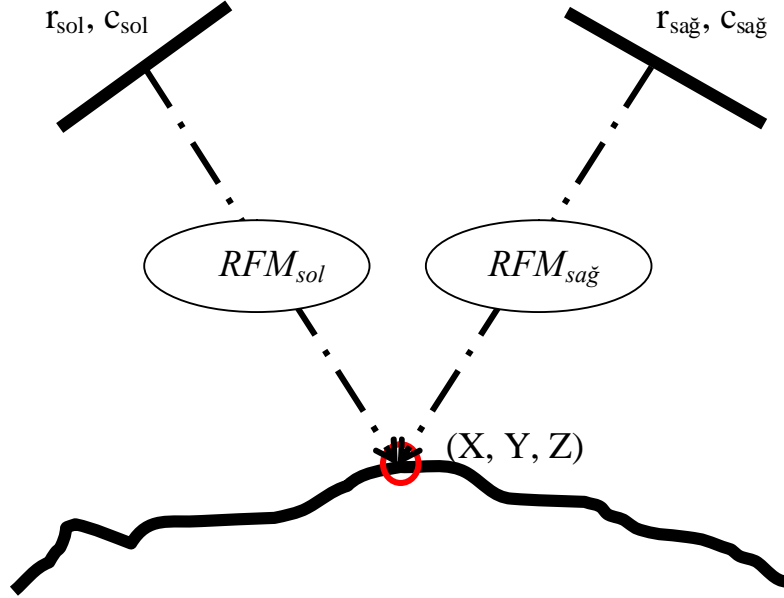
adlandırılabilir (Şekil 13). Metot doğruluk gereksinimlerinin pek de bağlayıcı olmadığı durumlarda geniş bir kullanım alanı bulmaktadır.



Şekil 13. RFM yapı şeması

Yer kontrol noktalarının kullanıldığı en küçük kareler yöntemi ile RFM çözümünde ilk önce türev alınır. Görüntü'nün geometrik düzeltmesinde RFM kullanım performansı, klasik polinomial tabanlı yaklaşımlarla değerlendirilir ve mukayese edilir. Sonuç olarak RFM; genelliği itibariyle kullanıcılara farklı katmanları dengeleyerek ve farklı parametreleri biçimlendirerek çok iyi düzeltme sonuçları sağlamaktadır. Yüksek

meriteden polinomyal fonksiyonların oranını kullanan RFM ile bindirmeli bölgedeki resim koordinatlarından arazi koordinatlarına geçiş sağlanır (Şekil 14).



Şekil 14. Rasyonel fonksiyon modeli

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

$$r_n = \frac{p1(X_n, Y_n, Z_n)}{p2(X_n, Y_n, Z_n)} = \frac{\sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} a_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k}{\sum_{i=0}^{n1} \sum_{j=0}^{n2} \sum_{k=0}^{n3} b_{ijk} X_n^i Y_n^j Z_n^k} \quad (13)$$

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

olarak tanımlanır, burada n nokta sayısı olmak üzere  $r_n$  ve  $c_n$  ayrı görüntülerdeki piksellerin satır ve sütun indeks (indis) lerini göstermektedir.  $X_n$ ,  $Y_n$ ,  $Z_n$  obje noktalarının normlandırılmış koordinat değerlerini, (NIMA, 2000)  $a_{ijk}$ ,  $b_{ijk}$ ,  $c_{ijk}$ ,  $d_{ijk}$  polinomyal katsayıları göstermektedir (OGC, 1999). 3.meriteden RFM için; eşitlik (13) deki pay ve paydalar 20 terimli bir polinom olarak aşağıdaki uygun forma getirilebilir.

$$\begin{aligned}
p = \sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} a_{ijk} X^i Y^j Z^k &= a_0 + a_1 Z + a_2 Y + a_3 X + a_4 ZY + a_5 ZX + a_6 YX + a_7 Z^2 + a_8 Y^2 \\
&+ a_9 X^2 + a_{10} ZYX + a_{11} Z^2 Y + a_{12} Z^2 X + a_{13} Y^2 Z + a_{14} Y^2 X \\
&+ a_{15} ZX^2 + a_{16} YX^2 + a_{17} Z^3 + a_{18} Y^3 + a_{19} X^3 \quad (14)
\end{aligned}$$

Genel olarak, optik projeksiyonların sebebiyet verdiği distorsiyonlar birinci mertebeden polinomyal katsayılar olarak ifade edilebilir. Yer yuvarı eğriliği, atmosferik refraksiyon, mercek distorsiyonunun sebebiyet verdiği hatalar ikinci mertebeden polinomyal katsayılarla düzeltiler (Tao vd., 2000). Yüksek mertebeden bileşenli diğer bilinmeyen distorsiyonlar, RFM de üçüncü mertebeden terimlerin kullanımı ile modellenebilir. Yukarıda tanımlanan modellerle, eşitlik (13) ün mukayesesinde, RFM nin genelleştirilmiş bir ifade olduğunu söylenilebilir. Eşitlik (4), (5), (6), (9), (10), (11) farklı katsayılar (RFCs) kullanılarak eşitlik (13)'den çıkarılabilir.

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). RFM'de obje uzay koordinatları için herhangi bir referans sistemi kullanılabilir. Fakat uydu görüntülerinin geniş bir alanı kapsamasından ötürü genellikle, Gauss Projeksiyon Sistemi yerine Jeosantrik veya Jeodezik koordinat sistemi benimsenir. RFM'nin karakteristik özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- RFM polinomların kapsamlı bir formudur. Collinearity eşitlik modeli, Projektif transformasyon model, DLT model matematiksel olarak esasen RFM'nin birinci mertebeden bir formudur. İki boyutlu (2D) ve üç boyutlu (3D) polinomyal modeller, matematiksel ifadelerindeki paydalarının 1'e eşit olması durumunda, RFM'nin özel bir durumudur.
- Model jeosantrik, coğrafik, harita projeksiyon gibi obje-uzay koordinat sistemlerini desteklemektedir (Paderes vd., 1989).
- Diğer fiziksel sensör modelleri ile kıyaslandığında RFM, analitik üçgenleme (triangülasyon) ile direkt dengeleme için uygun değildir (OGC, 1999).
- Aşırı parametreleşme en küçük kareler çözümünde, kararsızlık ve belirsizliğe sebebiyet verebilir (Madani, 1999).



- Model uygunluk bakımından komplekstir. Yüksek derecede uygun doğruluğa ulaşabilir, fakat paydadaki değer sıfıra ulaştığında başarısız sonuçlar verebilir.
- Kontrol bilgisinde gömülü hataları bulup çıkartmak zordur.
- Parametrelerin yorumlanmasının güç oluşu ve katsayılar arasındaki korelasyon ihtimali modelin bir dezavantajıdır.

#### 1.4.4.5.1. RFM (Arazi Koordinatlarından Resim Koordinatlarına Geçiş)

Eşitlik (13) aşağıdaki gibi yazılacak olursa,

$$r_n = \frac{(1 \ Z \ Y \ X \ . \ . \ . \ . \ Y^3 \ X^3)(a_0 \ a_1 \ . \ . \ . \ a_{19})^T}{(1 \ Z \ Y \ X \ . \ . \ . \ . \ Y^3 \ X^3)(1 \ b_1 \ . \ . \ . \ b_{19})^T} \quad (15)$$

$$c_n = \frac{(1 \ Z \ Y \ X \ . \ . \ . \ . \ Y^3 \ X^3)(c_0 \ c_1 \ . \ . \ . \ c_{19})^T}{(1 \ Z \ Y \ X \ . \ . \ . \ . \ Y^3 \ X^3)(1 \ d_1 \ . \ . \ . \ d_{19})^T}$$

iteratif olarak, Lineer En Küçük Kareler metoduyla katsayıları çözmek için öncelikle eşitlik (13) lineerleştirilir. Eşitlik (15)'ten hata eşitlikleri;

$$B = (1 \ Z \ Y \ X \ . \ . \ . \ . \ Y^3 \ X^3)(1 \ b_1 \ . \ . \ . \ b_{19})^T$$

$$J = (a_0 \ a_1 \ . \ . \ . \ a_{19} \ b_1 \ b_2 \ . \ . \ b_{19})^T$$

$$D = (1 \ Z \ Y \ X \ . \ . \ . \ . \ Y^3 \ X^3)(1 \ d_1 \ . \ . \ . \ d_{19})^T$$

$$K = (c_0 \ c_1 \ . \ . \ . \ c_{19} \ d_1 \ d_2 \ . \ . \ d_{19})^T$$

olmak üzere,

$$v_r = \left[ \frac{1}{B} \ \frac{Z}{B} \ \frac{Y}{B} \ \frac{X}{B} \ . \ . \ . \ \frac{Y^3}{B} \ \frac{X^3}{B} \ \frac{-rZ}{B} \ \frac{-rY}{B} \ . \ . \ . \ \frac{-rY^3}{B} \ \frac{-rX^3}{B} \right] J - \frac{r}{B} \quad (16a)$$

$$v_c = \left[ \frac{1}{D} \ \frac{Z}{D} \ \frac{Y}{D} \ \frac{X}{D} \ . \ . \ . \ \frac{Y^3}{D} \ \frac{X^3}{D} \ \frac{-cZ}{D} \ \frac{-cY}{D} \ . \ . \ . \ \frac{-cY^3}{D} \ \frac{-cX^3}{D} \right] K - \frac{c}{D} \quad (16b)$$

veya

$$Bv_r = \begin{bmatrix} 1 & Z & Y & X & \dots & Y^3 & X^3 & -rZ & -rY & \dots & -rY^3 & -rX^3 \end{bmatrix} J - r \quad (17a)$$

$$Dv_c = \begin{bmatrix} 1 & Z & Y & X & \dots & Y^3 & X^3 & -cZ & -cY & \dots & -cY^3 & -cX^3 \end{bmatrix} K - c \quad (17b)$$

şeklinde yazılabilir. (17a), (17b) hata eşitlikleri matrisel olarak;

$$\begin{bmatrix} B_1 v_{r1} \\ B_2 v_{r2} \\ \cdot \\ \cdot \\ B_n v_{rn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_1 & \cdot & \cdot & \cdot & X_1^3 & -r_1 Z_1 & \cdot & \cdot & \cdot & -r_1 X_1^3 \\ 1 & Z_2 & \cdot & \cdot & \cdot & X_2^3 & -r_2 Z_2 & \cdot & \cdot & \cdot & -r_2 X_2^3 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & Z_n & \cdot & \cdot & \cdot & X_n^3 & -r_n Z_n & \cdot & \cdot & \cdot & -r_n X_n^3 \end{bmatrix} \cdot J - \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ r_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} D_1 v_{c1} \\ D_2 v_{c2} \\ \cdot \\ \cdot \\ D_n v_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_1 & \cdot & \cdot & \cdot & X_1^3 & -c_1 Z_1 & \cdot & \cdot & \cdot & -c_1 X_1^3 \\ 1 & Z_2 & \cdot & \cdot & \cdot & X_2^3 & -c_2 Z_2 & \cdot & \cdot & \cdot & -c_2 X_2^3 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & Z_n & \cdot & \cdot & \cdot & X_n^3 & -c_n Z_n & \cdot & \cdot & \cdot & -c_n X_n^3 \end{bmatrix} \cdot K - \begin{bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ c_n \end{bmatrix}$$

$$V_r = MJ - R$$

$$V_c = NJ - C$$

şeklinde gösterilebilir.

$$W_r = \begin{bmatrix} \frac{1}{B_1} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & \frac{1}{B_2} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \frac{1}{B_n} \end{bmatrix}, \quad W_c = \begin{bmatrix} \frac{1}{D_1} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & \frac{1}{D_2} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \frac{1}{D_n} \end{bmatrix}$$

ağırlık matrisleri olmak üzere, normal denklemler;

$$M^T W_r M J - M^T W_r R = 0$$

$$N^T W_c N K - N^T W_c C = 0$$

şeklindedir. Geneli ile hata eşitlikleri;

$$\begin{bmatrix} V_r \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_r & 0 \\ 0 & W_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J \\ K \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} W_r & 0 \\ 0 & W_c \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ C \end{bmatrix}$$

$$V = WTI - WG$$

olarak, normal denklem ise;

$$T^T WTI - T^T WG = 0$$

olarak gösterilebilir. Hata eşitlikleri açık bir şekilde yazılacak olursa;

$$\begin{bmatrix} B_1 v_{r1} \\ B_2 v_{r2} \\ \vdots \\ B_n v_{rn} \\ - \\ D_1 v_{c1} \\ D_2 v_{c2} \\ \vdots \\ D_n v_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_1 & \dots & X_1^3 & | & -r_1 Z_1 & \dots & -r_1 X_1^3 & | & 0 & \dots & 0 & | & 0 & \dots & 0 \\ 1 & Z_2 & \dots & X_2^3 & | & -r_2 Z_2 & \dots & -r_2 X_2^3 & | & 0 & \dots & 0 & | & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & | & \dots & \dots & \dots & | & \dots & \dots & \dots & | & \dots & \dots & \dots \\ 1 & Z_n & \dots & X_n^3 & | & -r_n Z_n & \dots & -r_n X_n^3 & | & 0 & \dots & 0 & | & 0 & \dots & 0 \\ - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ 0 & \dots & 0 & | & 0 & \dots & 0 & | & 1 & Z_1 & \dots & X_1^3 & | & -c_1 Z_1 & \dots & -c_1 X_1^3 \\ 0 & \dots & 0 & | & 0 & \dots & 0 & | & 1 & Z_2 & \dots & X_2^3 & | & -c_2 Z_2 & \dots & -c_2 X_2^3 \\ \dots & \dots & \dots & | & \dots & \dots & \dots & | & \dots & \dots & \dots & \dots & | & \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & | & 0 & \dots & 0 & | & 1 & Z_n & \dots & X_n^3 & | & -c_n Z_n & \dots & -c_n X_n^3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_{19} \\ b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_{19} \\ c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_{19} \\ d_1 \\ d_2 \\ \vdots \\ d_{19} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \vdots \\ r_n \\ c_1 \\ c_2 \\ \vdots \\ c_n \end{bmatrix}$$

$\underline{L} = \underline{L} + \underline{v} = \underline{A} \underline{dx}$  bağıntısı yazılabilir. Bağıntıda;

$\underline{\bar{L}}$  : 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.

$$\underline{dx} = (\underline{A}^T \underline{A})^{-1} \underline{A}^T \underline{L}$$

$$\underline{v} = \underline{A} \underline{dx} - \underline{L}$$

Paydaların eşit olması durumunda ( $b_1, b_2, \dots = d_1, d_2, \dots$ ) hata eşitlikleri;

$$\begin{bmatrix} B_1 v_{r1} \\ B_2 v_{r2} \\ \cdot \\ \cdot \\ B_n v_{rn} \\ - \\ D_1 v_{c1} \\ D_2 v_{c2} \\ \cdot \\ \cdot \\ D_n v_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_1 & \cdot & \cdot & X_1^3 & | & 0 & \cdot & \cdot & 0 & | & -r_1 Z_1 & \cdot & \cdot & -r_1 X_1^3 \\ 1 & Z_2 & \cdot & \cdot & X_2^3 & | & 0 & \cdot & \cdot & 0 & | & -r_2 Z_2 & \cdot & \cdot & -r_2 X_2^3 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & Z_n & \cdot & \cdot & X_n^3 & | & 0 & \cdot & \cdot & 0 & | & -r_n Z_n & \cdot & \cdot & -r_n X_n^3 \\ - & - & - & - & - & | & - & - & - & - & | & - & - & - & - \\ 0 & \cdot & \cdot & 0 & | & 1 & Z_1 & \cdot & \cdot & X_1^3 & | & -c_1 Z_1 & \cdot & \cdot & -c_1 X_1^3 \\ 0 & \cdot & \cdot & 0 & | & 1 & Z_2 & \cdot & \cdot & X_2^3 & | & -c_2 Z_2 & \cdot & \cdot & -c_2 X_2^3 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & 0 & | & 1 & Z_n & \cdot & \cdot & X_n^3 & | & -c_n Z_n & \cdot & \cdot & -c_n X_n^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{19} \\ - \\ c_0 \\ c_1 \\ \cdot \\ \cdot \\ c_{19} \\ - \\ b_1 \\ b_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ b_{19} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ r_n \\ c_1 \\ c_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ c_n \end{bmatrix}$$

şeklinde yazılabilir. Paydaların 1'e eşit olması durumunda ( $b_1, b_2, \dots = d_1, d_2, \dots = 1$ ) ise hata eşitlikleri;

$$\begin{bmatrix} B_1 v_{r1} \\ B_2 v_{r2} \\ \cdot \\ \cdot \\ B_n v_{rn} \\ - \\ D_1 v_{c1} \\ D_2 v_{c2} \\ \cdot \\ \cdot \\ D_n v_{cn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_1 & \cdot & \cdot & X_1^3 & | & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 1 & Z_2 & \cdot & \cdot & X_2^3 & | & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & Z_n & \cdot & \cdot & X_n^3 & | & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & | & 1 & Z_1 & \cdot & \cdot & X_1^3 \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & | & 1 & Z_2 & \cdot & \cdot & X_2^3 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & | & 1 & Z_n & \cdot & \cdot & X_n^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{19} \\ - \\ - \\ c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ c_{19} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ r_n \\ c_1 \\ c_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ c_n \end{bmatrix}$$

şeklinde yazılabilir.

#### 1.4.4.5.2. RFM (Resim Koordinatlarından Arazi Koordinatlarına Geçiş)

$$p1 = \sum_{i=0}^{m1} \sum_{j=0}^{m2} \sum_{k=0}^{m3} a_{ijk} r^i c^j Z^k$$

$$X_n = \frac{p1(r_n, c_n, Z_n)}{p2(r_n, c_n, Z_n)}, \quad Y_n = \frac{p3(r_n, c_n, Z_n)}{p4(r_n, c_n, Z_n)} \text{ olmak üzere, eşitlik (13) aşağıdaki gibi}$$

yazılacak olursa;

$$X_n = \frac{(1 \ Z \ c \ r \ \cdot \ \cdot \ \cdot \ c^3 \ r^3)(a_0 \ a_1 \ \cdot \ \cdot \ \cdot \ a_{19})^T}{(1 \ Z \ c \ r \ \cdot \ \cdot \ \cdot \ c^3 \ r^3)(1 \ b_1 \ \cdot \ \cdot \ \cdot \ b_{19})^T} \quad (18)$$

$$Y_n = \frac{(1 \ Z \ c \ r \ \cdot \ \cdot \ \cdot \ c^3 \ r^3)(c_0 \ c_1 \ \cdot \ \cdot \ \cdot \ c_{19})^T}{(1 \ Z \ c \ r \ \cdot \ \cdot \ \cdot \ c^3 \ r^3)(1 \ d_1 \ \cdot \ \cdot \ \cdot \ d_{19})^T}$$

iteratif olarak, Lineer En Küçük Kareler metoduyla katsayıları çözmek için öncelikle eşitlik (13) lineerleştirilir. Eşitlik (18)'ten hata eşitlikleri;

$$B = (1 \quad Z \quad c \quad r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad c^3 \quad r^3)(1 \quad b_1 \quad . \quad . \quad . \quad b_{19})^T$$

$$J = (a_0 \quad a_1 \quad . \quad . \quad . \quad a_{19} \quad b_1 \quad b_2 \quad . \quad . \quad b_{19})^T$$

$$D = (1 \quad Z \quad c \quad r \quad . \quad . \quad . \quad . \quad c^3 \quad r^3)(1 \quad d_1 \quad . \quad . \quad . \quad d_{19})^T$$

$$K = (c_0 \quad c_1 \quad . \quad . \quad . \quad c_{19} \quad d_1 \quad d_2 \quad . \quad . \quad d_{19})^T$$

olmak üzere,

$$v_X = \begin{bmatrix} \frac{1}{B} & \frac{Z}{B} & \frac{c}{B} & \frac{r}{B} & . & . & . & . & \frac{c^3}{B} & \frac{r^3}{B} & \frac{-XZ}{B} & \frac{-Xc}{B} & . & . & . & \frac{-Xc^3}{B} & \frac{-Xr^3}{B} \end{bmatrix} J - \frac{X}{B} \quad (19a)$$

$$v_Y = \begin{bmatrix} \frac{1}{D} & \frac{Z}{D} & \frac{c}{D} & \frac{r}{D} & . & . & . & . & \frac{c^3}{D} & \frac{r^3}{D} & \frac{-YZ}{D} & \frac{-Yc}{D} & . & . & . & \frac{-Yc^3}{D} & \frac{-Yr^3}{D} \end{bmatrix} K - \frac{Y}{D} \quad (19b)$$

veya

$$Bv_X = \begin{bmatrix} 1 & Z & c & r & . & . & . & . & c^3 & r^3 & -XZ & -Xc & . & . & . & -Xc^3 & -Xr^3 \end{bmatrix} J - X \quad (20a)$$

$$Dv_Y = \begin{bmatrix} 1 & Z & c & r & . & . & . & . & c^3 & r^3 & -YZ & -Yc & . & . & . & -Yc^3 & -Yr^3 \end{bmatrix} K - Y \quad (20b)$$

şeklinde yazılabilir. (20a), (20b) hata eşitlikleri matrisel olarak;

$$\begin{bmatrix} B_1 v_{X1} \\ B_2 v_{X2} \\ . \\ . \\ . \\ B_n v_{Xn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_1 & . & . & . & r_1^3 & -X_1 Z_1 & . & . & . & -X_1 r_1^3 \\ 1 & Z_2 & . & . & . & r_2^3 & -X_2 Z_2 & . & . & . & -X_2 r_2^3 \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ 1 & Z_n & . & . & . & r_n^3 & -X_n Z_n & . & . & . & -X_n r_n^3 \end{bmatrix} J - \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ . \\ . \\ . \\ X_n \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} D_1 v_{Y1} \\ D_2 v_{Y2} \\ . \\ . \\ . \\ D_n v_{Yn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_1 & . & . & . & r_1^3 & -Y_1 Z_1 & . & . & . & -Y_1 r_1^3 \\ 1 & Z_2 & . & . & . & r_2^3 & -Y_2 Z_2 & . & . & . & -Y_2 r_2^3 \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ . & . & . & . & . & . & . & . & . & . & . \\ 1 & Z_n & . & . & . & r_n^3 & -Y_n Z_n & . & . & . & -Y_n r_n^3 \end{bmatrix} K - \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ . \\ . \\ . \\ Y_n \end{bmatrix}$$

$$V_X = MJ - X$$

$$V_Y = NJ - Y$$

şeklinde gösterilebilir.

$$W_X = \begin{bmatrix} \frac{1}{B_1} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & \frac{1}{B_2} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \frac{1}{B_n} \end{bmatrix}, \quad W_Y = \begin{bmatrix} \frac{1}{D_1} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & \frac{1}{D_2} & 0 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & \frac{1}{D_n} \end{bmatrix}$$

ağırlık matrisleri olmak üzere, normal denklemler;

$$M^T W_X M J - M^T W_X X = 0$$

$$N^T W_Y N K - N^T W_Y Y = 0$$

şeklindedir. Geneli ile hata eşitlikleri;

$$\begin{bmatrix} V_X \\ V_Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_X & 0 \\ 0 & W_Y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} M & 0 \\ 0 & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} J \\ K \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} W_X & 0 \\ 0 & W_Y \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix}$$

$$V = WT I - WG$$

olarak, normal denklem ise;

$$T^T WT I - T^T WG = 0$$

olarak gösterilebilir. Hata eşitlikleri açık bir şekilde yazılacak olursa;





$$\begin{bmatrix} B_1 v_{X1} \\ B_2 v_{X2} \\ \cdot \\ \cdot \\ B_n v_{Xn} \\ - \\ D_1 v_{Y1} \\ D_2 v_{Y2} \\ \cdot \\ \cdot \\ D_n v_{Yn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_1 & \cdot & \cdot & X_1^3 & | & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ 1 & Z_2 & \cdot & \cdot & X_2^3 & | & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & Z_n & \cdot & \cdot & X_n^3 & | & 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & | & 1 & Z_1 & \cdot & \cdot & X_1^3 \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & | & 1 & Z_2 & \cdot & \cdot & X_2^3 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & | & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & | & 1 & Z_n & \cdot & \cdot & X_n^3 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ a_{19} \\ - \\ c_0 \\ c_1 \\ c_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ c_{19} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} X_1 \\ X_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ X_n \\ Y_1 \\ Y_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ Y_n \end{bmatrix}$$

şeklinde olur.

$$p1 = a_0 + a_1 Z + a_2 c + a_3 r + a_4 Zc + a_5 Zr + a_6 cr + a_7 Z^2 + a_8 c^2 + a_9 r^2 + a_{10} Zcr + a_{11} Z^2 c + a_{12} Z^2 r + a_{13} c^2 Z + a_{14} c^2 r + a_{15} Zr^2 + a_{16} cr^2 + a_{17} Z^3 + a_{18} c^3 + a_{19} r^3$$

$$p2 = 1 + b_1 Z + b_2 c + b_3 r + b_4 Zc + b_5 Zr + b_6 cr + b_7 Z^2 + b_8 c^2 + b_9 r^2 + b_{10} Zcr + b_{11} Z^2 c + b_{12} Z^2 r + b_{13} c^2 Z + b_{14} c^2 r + b_{15} Zr^2 + b_{16} cr^2 + b_{17} Z^3 + b_{18} c^3 + b_{19} r^3$$

$$p3 = c_0 + c_1 Z + c_2 c + c_3 r + c_4 Zc + c_5 Zr + c_6 cr + c_7 Z^2 + c_8 c^2 + c_9 r^2 + c_{10} Zcr + c_{11} Z^2 c + c_{12} Z^2 r + c_{13} c^2 Z + c_{14} c^2 r + c_{15} Zr^2 + c_{16} cr^2 + c_{17} Z^3 + c_{18} c^3 + c_{19} r^3$$

$$p4 = 1 + d_1 Z + d_2 c + d_3 r + d_4 Zc + d_5 Zr + d_6 cr + d_7 Z^2 + d_8 c^2 + d_9 r^2 + d_{10} Zcr + d_{11} Z^2 c + d_{12} Z^2 r + d_{13} c^2 Z + d_{14} c^2 r + d_{15} Zr^2 + d_{16} cr^2 + d_{17} Z^3 + d_{18} c^3 + d_{19} r^3$$

$$\frac{\partial p1}{\partial Z} = a_1 + a_4 c + a_5 r + 2a_7 Z + a_{10} cr + 2a_{11} cZ + 2a_{12} rZ + a_{13} c^2 + a_{15} r^2 + 3a_{17} Z^2$$

$$\frac{\partial p2}{\partial Z} = b_1 + b_4 c + b_5 r + 2b_7 Z + b_{10} cr + 2b_{11} cZ + 2b_{12} rZ + b_{13} c^2 + b_{15} r^2 + 3b_{17} Z^2$$

$$\frac{\partial p3}{\partial Z} = c_1 + c_4 c + c_5 r + 2c_7 Z + c_{10} cr + 2c_{11} cZ + 2c_{12} rZ + c_{13} c^2 + c_{15} r^2 + 3c_{17} Z^2$$

$$\frac{\partial p4}{\partial Z} = d_1 + d_4 c + d_5 r + 2d_7 Z + d_{10} cr + 2d_{11} cZ + 2d_{12} rZ + d_{13} c^2 + d_{15} r^2 + 3d_{17} Z^2$$

$$\frac{\partial X}{\partial Z} = \frac{\partial p1/\partial Z \cdot p2 - p1 \cdot \partial p2/\partial Z}{p2 \cdot p2}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial Z} = \frac{\partial p3/\partial Z \cdot p4 - p3 \cdot \partial p4/\partial Z}{p4 \cdot p4}$$

ve  $\hat{X}, \hat{Y}$  yaklaşık değerler olmak üzere,

$$X \approx \hat{X} + \partial X / \partial Z \cdot \Delta Z \quad (21)$$

$$Y \approx \hat{Y} + \partial Y / \partial Z \cdot \Delta Z$$

eşitlikleri elde edilir. Sağ ve sol fotoğraf çiftleri için eşitlik (21);

$$\begin{aligned} X &\approx \hat{X}_{sol} + \partial X_{sol} / \partial Z \cdot \Delta Z, & Y &\approx \hat{Y}_{sol} + \partial Y_{sol} / \partial Z \cdot \Delta Z \\ X &\approx \hat{X}_{sağ} + \partial X_{sağ} / \partial Z \cdot \Delta Z, & Y &\approx \hat{Y}_{sağ} + \partial Y_{sağ} / \partial Z \cdot \Delta Z \end{aligned} \quad (22)$$

şeklinde yazılabilir.

Sağ ve sol fotoğraf çiftlerinden ( $r_{sol}, c_{sol}$  ve  $r_{sağ}, c_{sağ}$ ) arazi koordinatlarına geçiş kabataslak olarak dört adımdan oluşturulabilir.

- 1) Ortanca bir  $Z_0$  değeri hesaplanır (Genellikle -1,+1 aralığındaki ortanca Z değeri  $Z_0$  değeri olarak alınır).

$$2) \Delta Z = \frac{\left[ \left( \hat{X}_{sol} - \hat{X}_{sağ} \right) \cdot W_X \cdot \left( \frac{\partial X_{sağ}}{\partial Z} - \frac{\partial X_{sol}}{\partial Z} \right) + \left( \hat{Y}_{sol} - \hat{Y}_{sağ} \right) \cdot W_Y \cdot \left( \frac{\partial Y_{sağ}}{\partial Z} - \frac{\partial Y_{sol}}{\partial Z} \right) \right]}{\left[ W_X \cdot \left( \frac{\partial X_{sağ}}{\partial Z} - \frac{\partial X_{sol}}{\partial Z} \right)^2 + W_Y \cdot \left( \frac{\partial Y_{sağ}}{\partial Z} - \frac{\partial Y_{sol}}{\partial Z} \right)^2 \right]}$$

formülasyonu kullanılarak bir  $\Delta Z$  değeri hesaplanır ve  $Z_0$  değerine eklenir.

- 3)  $Z_1 = \Delta Z + Z_0$  eşitliği ile elde edilen  $Z_1$  değeri kullanılarak yeni  $\hat{X}, \hat{Y}$  ve  $\Delta Z_1$  değerleri hesaplanır. Bu işlem  $\Delta Z$  değeri belirli bir eşik değerine yanaşmıncaya

kadar devam ettirilir.  $Z_2 = \Delta Z_1 + Z_1$ ,  $Z_3 = \Delta Z_2 + Z_2$ ,  $Z_4 = \Delta Z_3 + Z_3, \dots, Z_n = \Delta Z_{n-1} + Z_{n-1}$

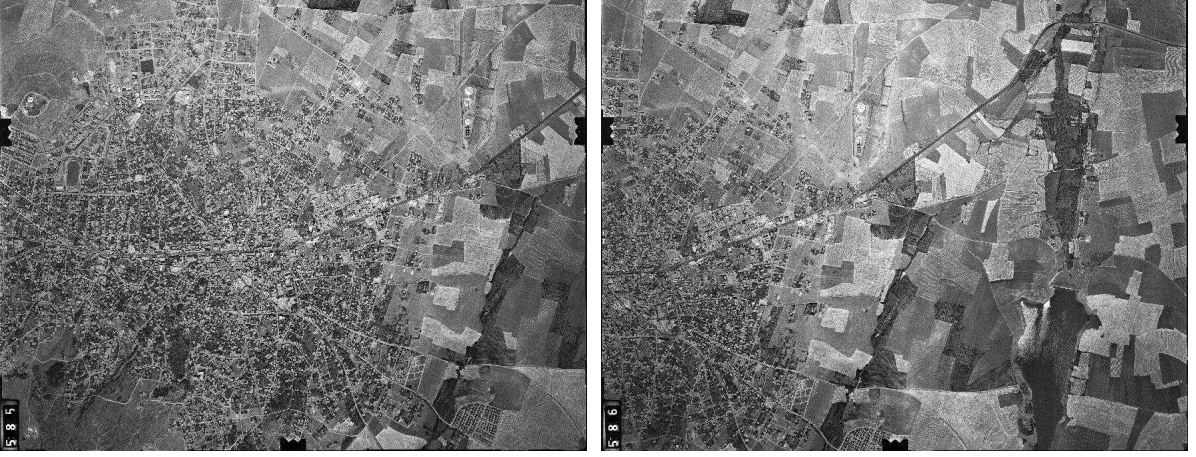
- 4) En son  $Z_n$  değeri kullanılarak her bir fotoğraf çifti için  $\hat{X}_{sol}, \hat{Y}_{sol}, \hat{X}_{sağ}, \hat{Y}_{sağ}$  değerleri hesaplanır ve bu değerlerle;  $X = \left( \hat{X}_{sol} + \hat{X}_{sağ} \right) / 2$ ,  $Y = \left( \hat{Y}_{sol} + \hat{Y}_{sağ} \right) / 2$  nihai değerleri hesaplanır.

## 2. YAPILAN ÇALIŞMALAR

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. Bunun için önce, Yer Kontrol Noktası (YKN) ve Denetleme Noktası (DN) kümeleri belirlenmiştir. Daha sonra RFM ve diğer modellerin matematiksel olarak çözümleri belirlenip, çözümlere MATLAB programında ayrı ayrı değerlendirme yazılımı geliştirilmiştir. 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. Çalışmada kullanılan veriler ve yazılım, uygulanan metotlar bu bölüm kapsamında anlatılmaktadır.

### 2.1. Çalışma Bölgesi

Uygulama Türkiye'nin İç Anadolu Bölgesi İli olan Kırşehir'in Kaman ilçe sınırlarını kapsayan bir alanda yapılmıştır. Çalışma için kullanılmış siyah beyaz hava fotoğrafı çifti hem meskûn hem de meskûn olmayan alanları içermektedir (Şekil 15). Çalışma alanında düz bir yeryüzü topografyası hâkimdir. Uygulama için kullanılan diğer bir materyal olan 1/1000'lik hali hazır harita ise meskûn olmayan alanları kısmen kapsamaktadır. Meskûn olmayan 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 meskûn alanlarda dağınık tarımsal araziler dikkat çekmektedir. Bu araziler üzerindeki Elektrik Nakil Hattı (ENH) direkleri ve tek tük de olsa mevcut yapılaşmalar zor olan nokta seçiminde büyük kolaylık sağlamıştır. Meskûn 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 15. Zeiss rmk -top15 analog hava kamerasıyla çekilmiş çalışma alanını gösteren siyah beyaz hava fotoğrafı çifti

## 2.2.Kullanılan Veriler ve Yazılımlar

Uygulamada Kırşehir ili, Kaman ilçesine ait Zeiss RMK-Top15 analog hava kamerasıyla bindirmeli olarak çekilmiş siyah beyaz hava fotoğrafı çifti, değişik sayıda Yer Kontrol Noktası (YKN) verileri ve MATLAB programında bu uygulama için geliştirilmiş değerlendirme yazılımı kullanılmıştır. Bunların her biri hakkında ayrıntılı bilgiler aşağıda ayrı başlıklar altında verilmektedir.

### 2.2.1.Hava Fotoğrafı

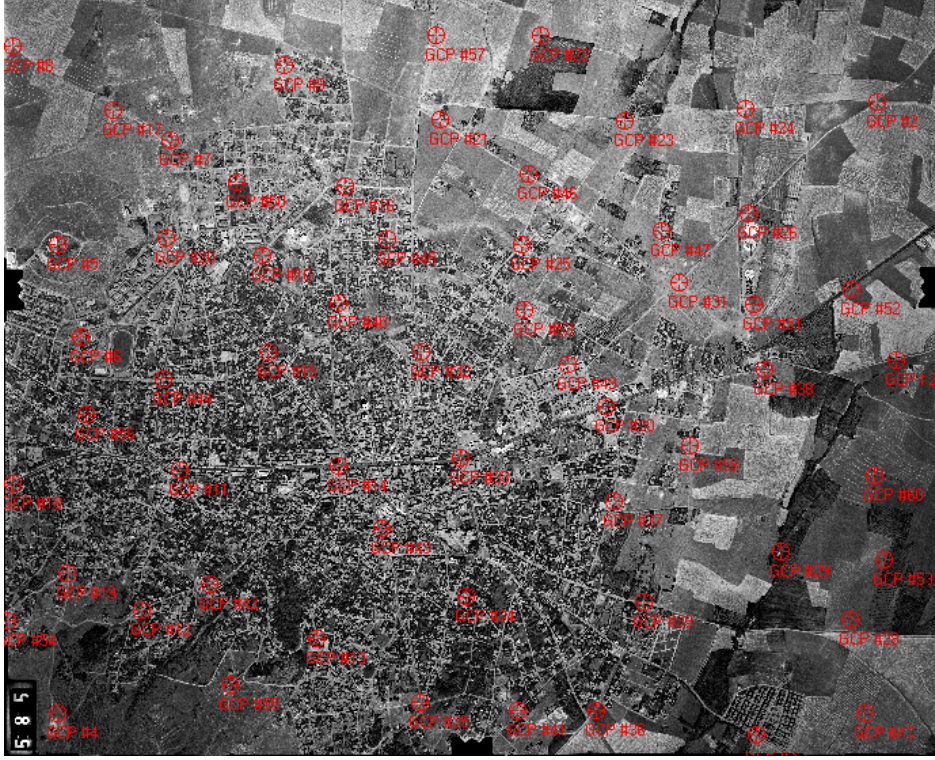
Çalışmada siyah beyaz hava fotoğrafı kullanılmış olup, bu fotoğraf ve çekilen kamera ile ilgili teknik özellikler, Tablo 1’de verilmektedir. 1/1000’lik hali hazır haritaya göre güncel sayabileceğimiz bu fotoğraf 2007 yılına aittir. Fotoğraf çekiminde, hava fotogrametrisinde çok yaygın olan, maliyeti normal renkli filmlere nazaran daha ucuz olan siyah beyaz film kullanılmıştır. Analog kameralarla çekilen resimlerin optik tarayıcılar (scanner) kullanılarak dijital sistemlere aktarılır. Tarayıcıların en önemli parçası, CCD (Charged Coupled Device) adı verilen bir hücre dizisidir. CCD kamera içine yerleştirilmiş ve ışığa karşı duyarlı çok küçük hücrecikleri içerir. Bir CCD üzerinde 8-30 bin hücrecik bulunabilir. 11196/11196 piksel, satır sütun sayısı ile bu fotoğraf düşük bir detay ayırt etme gücüne sahiptir. Çünkü detay ayırt etme gücü ile piksel sayısı arasında doğru bir orantı vardır. Kullanılan fotoğrafın piksel boyutu ise 21 µm (mikron) ‘dur.

Tablo 1. Kullanılan fotoğraf ve özellikleri

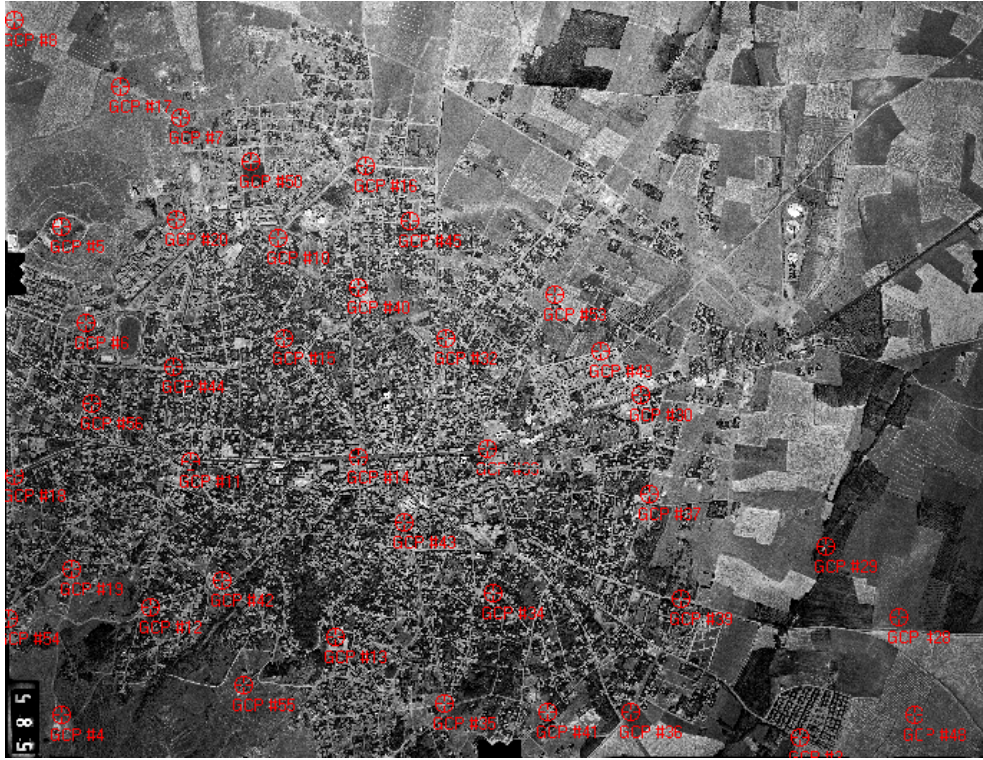
Kamera	Zeiss RMK -Top15
Kamera Türü	Geniş Açılı-Analog-Hava Kamerası
Anlık Görüş Açısı	82 (gon)
Çekim Türü	Stereo
Çekim Tarihi	31.10.2007
Resim Boyutları (Satır/Sütün)	11196/11196 piksel
Çekim Saati	16:46:48
Film Tipi	Siyah-Beyaz
Piksel Boyu	21 Mikron
Ölçek	1/16000
Kamera Odak Uzaklığı	153.732mm
Format	Tagged Image File Format (TIFF)
Görüntüleme Aralığı	8 Bit

### 2.2.2. Yer Kontrol Noktası (YKN)

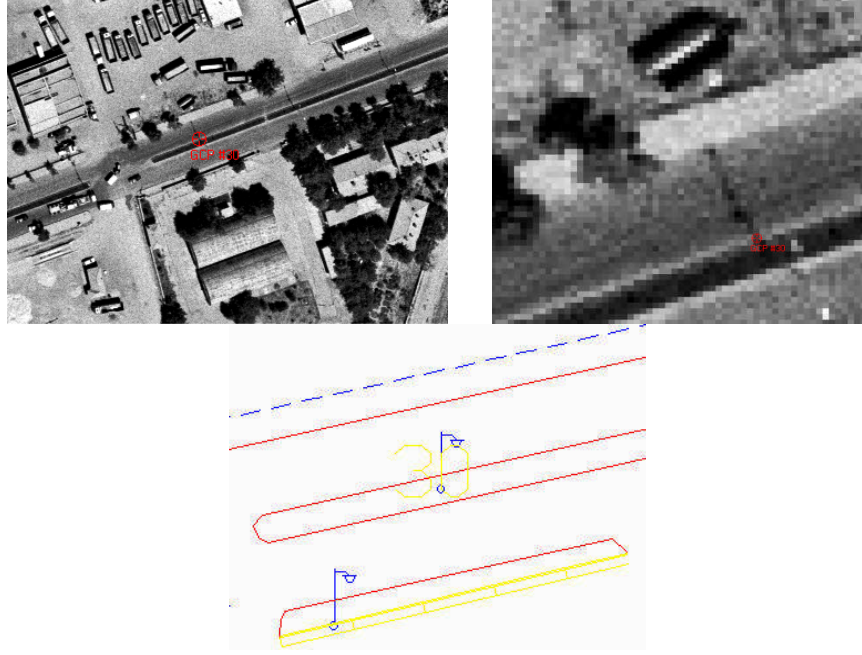
Çalışmada kullanılan yer kontrol noktalarının arazideki değerleri, daha önceden tedarik edilen aynı bölgeye ait 1/1000'lik hali hazır haritadan temin edilmiştir (Şekil 18). Noktaları mümkün mertebe yeri belirli olan kavşak, kesişim yeri, elektrik direği, telefon direği, trafo gibi yerlerden seçmek ve ona keza noktaları bina, bina köşesi vb yerlerden seçmemek ve ayrıca zemine yakın noktalara öncelik vermek, görüntü üzerinde noktalar işaretlenirken dikkat edilen bazı kriterler olmuştur. İlk dört YKN noktasının görüntünün köşelerine yakın yerlerde seçilmesi uygundur. Noktaların görüntü üzerine homojen biçimde dağılmış olmasına dikkat edilmelidir. Uygulamada kullanılan metotlar için, hem hâlihazırda hem de görüntüde seçilebilen yeterli sayıda YKN oluşturulmuştur (Şekil 16). 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 17).



Şekil 16. Görüntü üzerinde 60 adet YKN'nin görüntüye homojen dağılımı



Şekil 17. 40 adet YKN'nin görüntüde heterojen dağılımı



Şekil 18. Hava fotoğrafı ve hâlihazır haritadan YKN seçimi

### 2.2.3. Kullanılan Yazılımlar

- 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 ve ortanca değerler hesaplatılmıştır.

### 2.3. YKN Kümelerine Ait Test Sonuçlar

Tüm Matematiksel modeller için, her bir (YKN) ve Denetim Noktası (DN) kümesiyle elde edilen değerler ayrı ayrı verilmiştir. Kümelerde yer kontrol noktaları belirli bir oranda azaltılırken, denetleme noktaları ise artırılmıştır. Bu işlem nokta sayısının geometrik düzeltme üzerindeki etkisini belirlemek ve irdeleyebilmek içindir. Nokta



kümeleri çalışma alanına hem homojen biçimde hem de heterojen biçimde dağıtılmak suretiyle böyle bir durumun sonuçlar üzerindeki etkisi de araştırılmıştır.

### 2.3.1. Homojen Dağılımdaki YKN –DN Kümelerine Ait Test Sonuçları

Ek Tablo 1’de 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 kümelere 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 0.016mm,  $y$  yönünde 0.009mm’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 1.445mm,  $y$  yönünde 1.029mm’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.

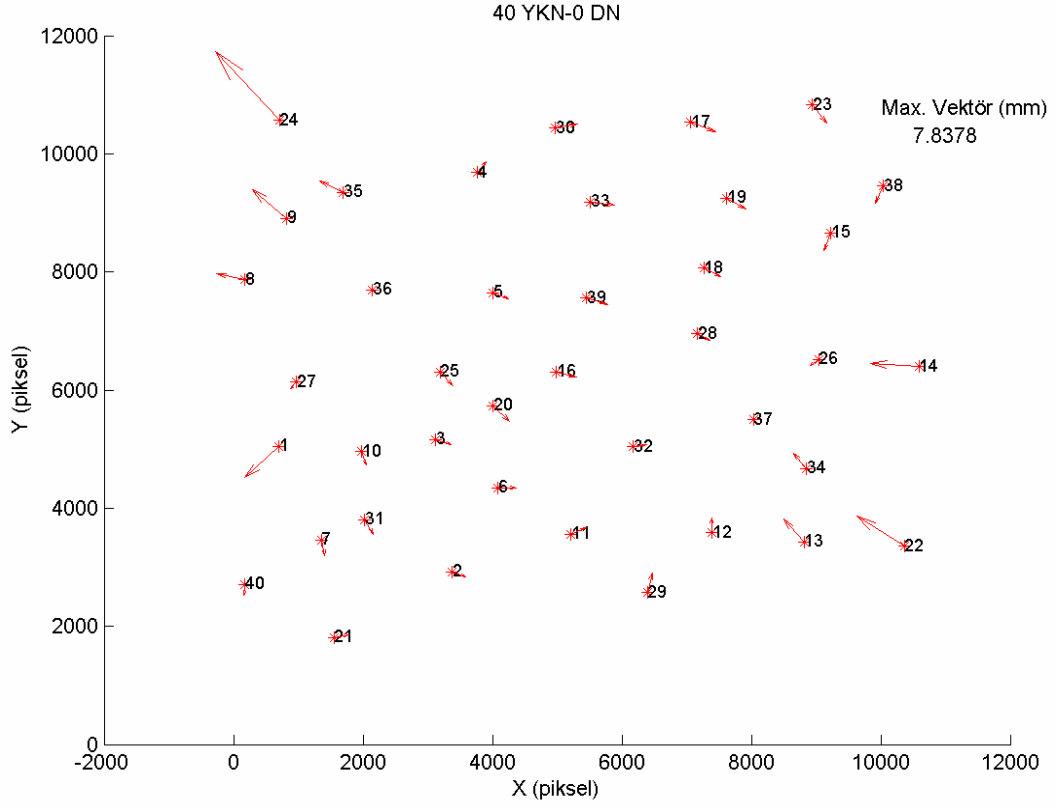
Matematiksel olarak RFM’nin özel bir durumu olan DLT ile Projektif dönüşüm, Afin ve Bi-lineer dönüşüm metodundan daha iyi test sonuçları ile RFM hassasiyetine yaklaşmaktadır. Diğer yandan paydadaki fonksiyonların birbirine eşit olmadığı durum için RFM çözümü en hassas test değerlerini verirken, paydaların 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 82.083mm,  $y$  yönünde ise 19.262mm hata ile arazi koordinatlarına geçiş sağlanmıştır. En kaba olarak da  $x$  yönünde 221.314mm,  $y$  yönünde 98.421mm 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. Klasik metotlar için yirmi (20) adet Yer Kontrol Noktasından sonraki artış miktarı fazla olmasına rağmen 40YKN-0DN kümesine ait test sonuçları ile 20YKN-20DN,

15YKN-25DN kümelerine ait test sonuçları birbirine yakındır. RFM metodunda ise nokta sayısı artışı büyük olan bir küme yapılmamıştır ve nokta sayısı artışı metottaki test sonuçlarına büyük bir etki yapmamıştır.

### 2.3.2. Heterojen Dağılımdaki YKN –DN Kümelerine Ait Test Sonuçları

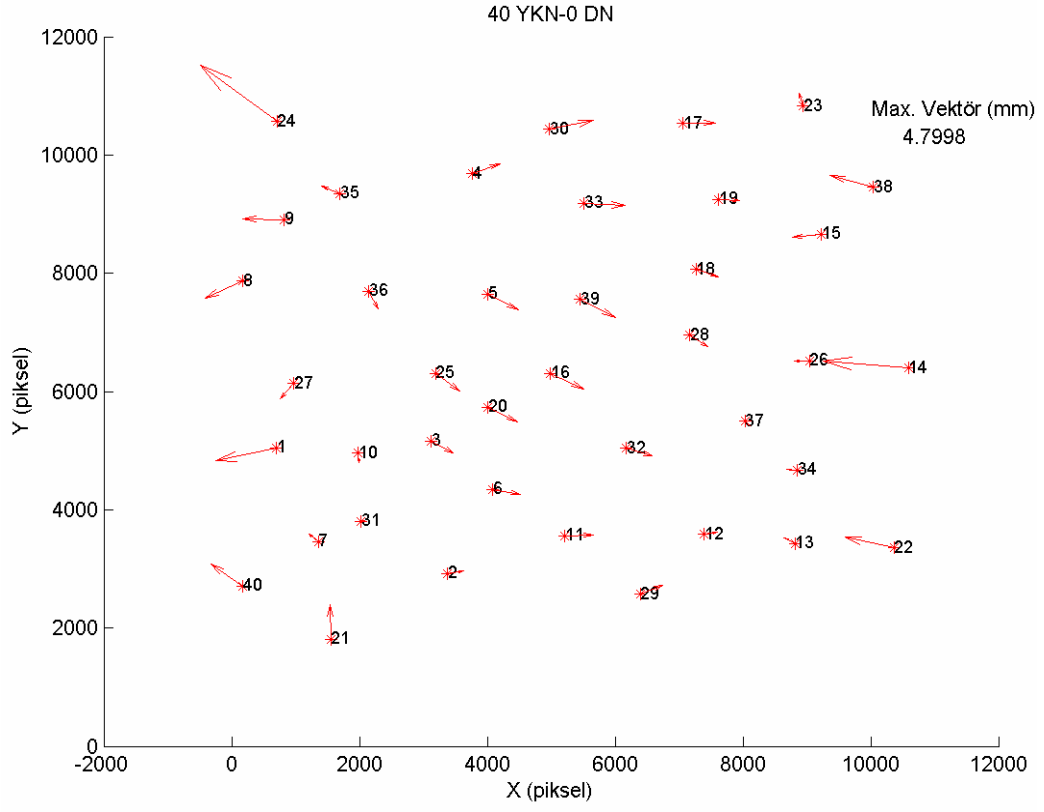
Nokta dağılımlarının test sonuçlarına nasıl bir etki ettiğini görmek için Ek Tablo 2’de heterojen olarak düzenlenen YKN-DN kümelerinde homojen dağılımlı kümelere nazaran ilgili metotlara oranla daha kaba sonuçlar elde edilmiştir. Ancak RFM metodu homojen dağılımdaki kümelere yakın test sonuçları vermiştir. Heterojen dağılımdaki bu kümelere de, metotların hassasiyet sıralaması bakımından diğer dağılımdaki kümelere 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. Ayrıca 40YKN-0DN kümesindeki x ve y yönündeki hata miktarı 20YKN-20DN, 15YKN-25DN, 10YKN-30DN, 6YKN-34DN kümeleri arasındaki x ve y yönündeki hata miktarlarından daha fazla çıkmıştır. RFM metodunda ise nokta sayısı artışı ile ilgili net bir gözlem yapılamamaktadır.

### 2.3.3. YKN –DN Kümelerine Ait Hata Vektörleri



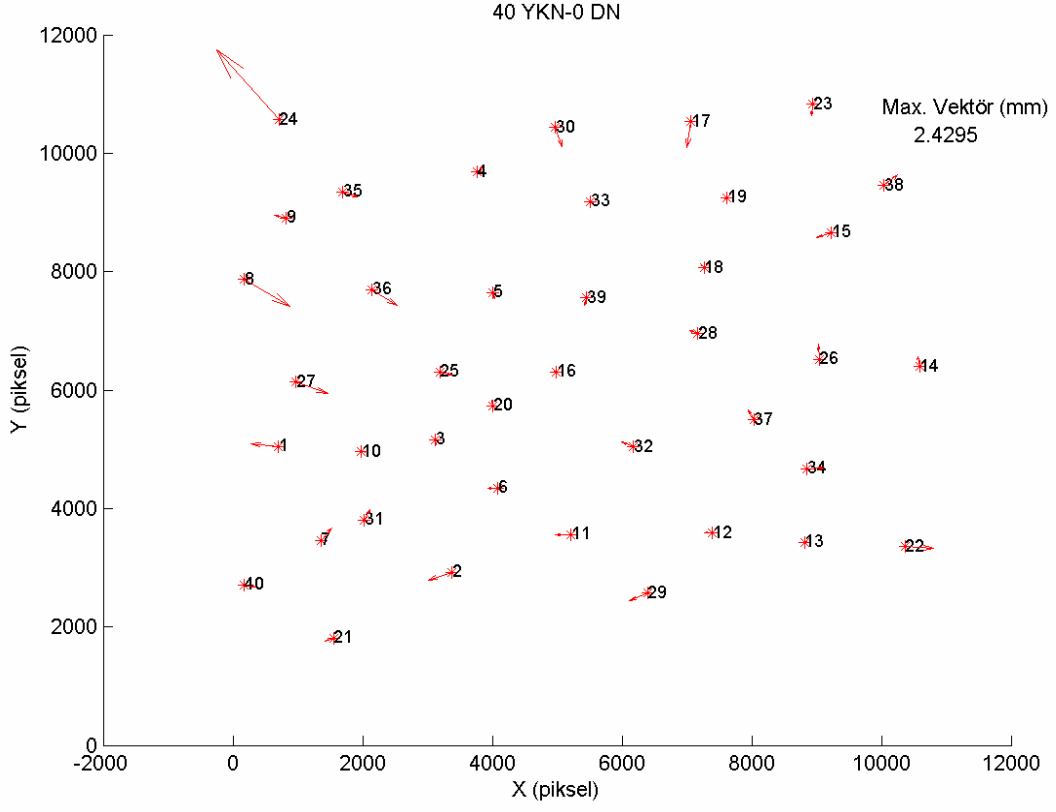
Şekil 19. 40 adet YKN 0 adet DN için afin dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri

Afin dönüşüm metodu için oluşturulan 40 adet YKN, 0 adet DN ile çizdirilen hata vektörleri kümesinde 24 numaralı nokta 7.84mm'lik hata ile en kötü geometrik dönüşüm sonucunu verirken 31 numaralı nokta 2.02mm'lik hata ile en iyi sonucu vermiştir. Aşağıda diğer dönüşüm metotları için de çizdirilen hata vektörleri gösterilmiştir.



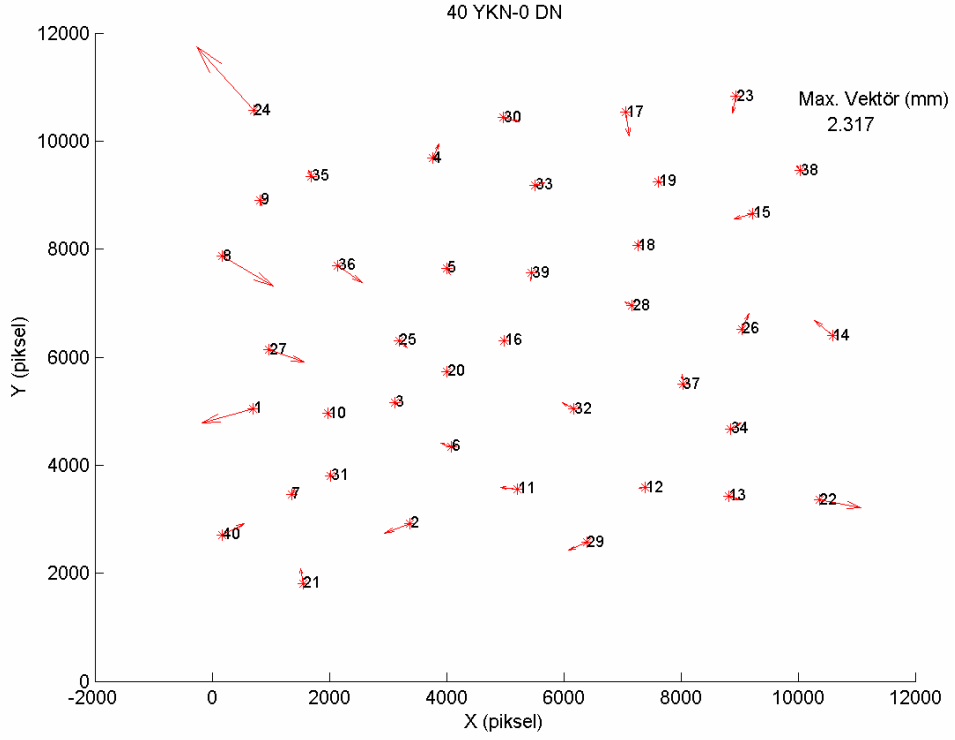
Şekil 20. 40 adet YKN 0 adet DN için bi-linear dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri

Aynı sayı ve gruplamada Bi-Linear dönüşüm metodu için oluşturulan nokta kümeleri ile çizdirilen hata vektörleri kümesinde 7 numaralı nokta 0.018mm'lik hata ile en iyi test sonucunu verirken 24 numaralı nokta 4.80mm'lik hata ile en kötü geometrik dönüşüm sonucunu vermiştir.



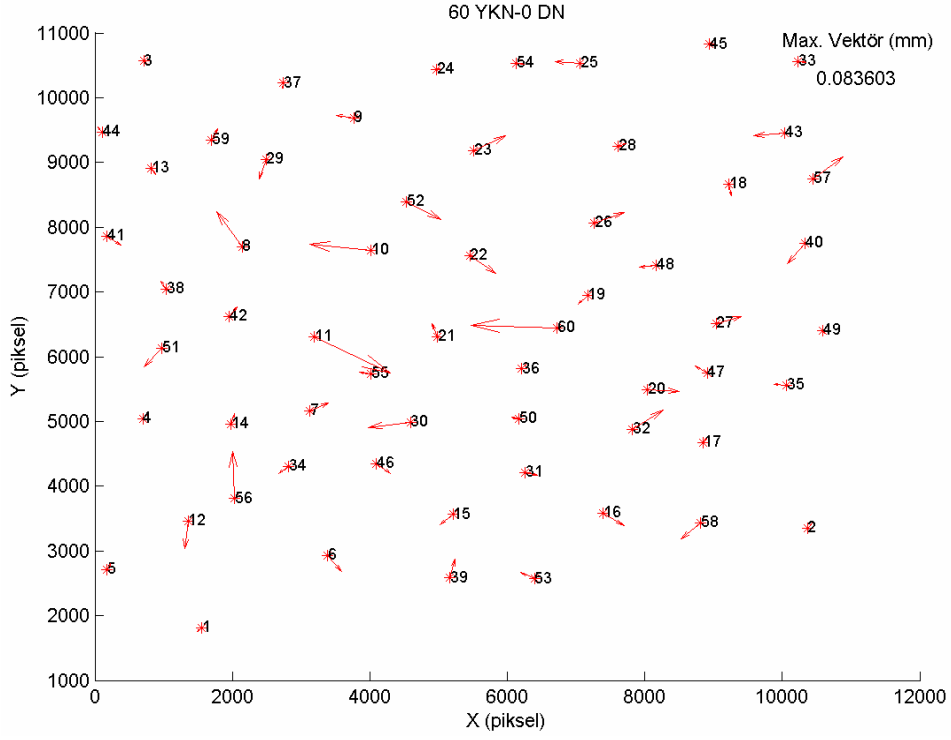
Şekil 21. 40 adet YKN 0 adet DN için DLT dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri

Metotların hassasiyet mukayesesinin hedeflendiği bu kümelemelerde DLT dönüşüm metodu için çizdirilen hata vektörleri kümesinde 24 numaralı nokta 2.43mm'lik hata ile en kötü geometrik dönüşüm sonucunu, 34 numaralı noktada 0.07mm'lik hata ile en iyi test sonucunu vermiştir.



Şekil 22. 40 adet YKN 0 adet DN için projektif dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri

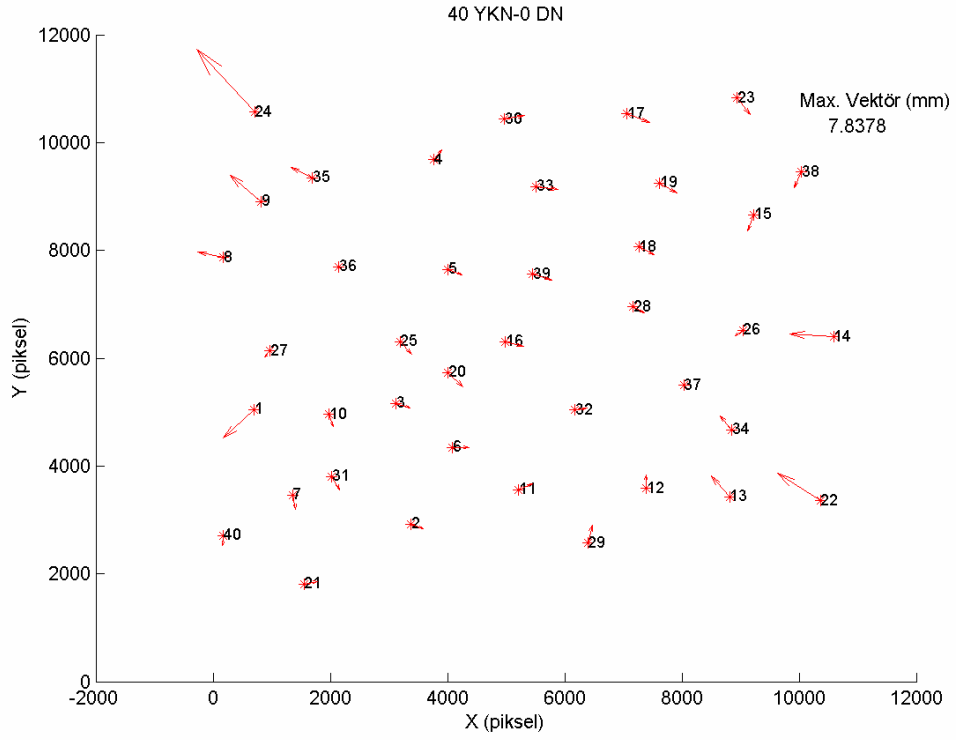
Projektif dönüşüm metodu için oluşturulan nokta kümelerinde 24 numaralı nokta 2.31mm'lik hata ile en kötü geometrik dönüşüm sonucu vermesine rağmen, bu diğer metotlara göre daha hassas bir sonuçtur. 7 numaralı nokta ise bu metotta 0.06mm'lik hata ile diğer noktalardan daha iyi test sonucu vermiştir. Projektif dönüşüm sonucu elde edilen maksimum ve minimum hata vektörlerine bakıldığında, vektörlerin DLT dönüşüm metoduna daha iyi sonuçla yakın değerler verdiği görülmektedir.



Şekil 23. 60 adet YKN 0 adet DN için RFM dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri

Rasyonel iki fonksiyonun oranı şeklinde tanımlanan RFM dönüşüm metodu için oluşturulan 60 adet YKN, 0 adet DN ile çizdirilen hata vektörleri kümesinde 60 numaralı nokta 0.08mm'lik hata ile en kötü geometrik dönüşüm sonucunu vermiştir. 3 numaralı nokta ise 0.002mm'lik hata ile küme içinde en iyi test sonucunu vermiştir.

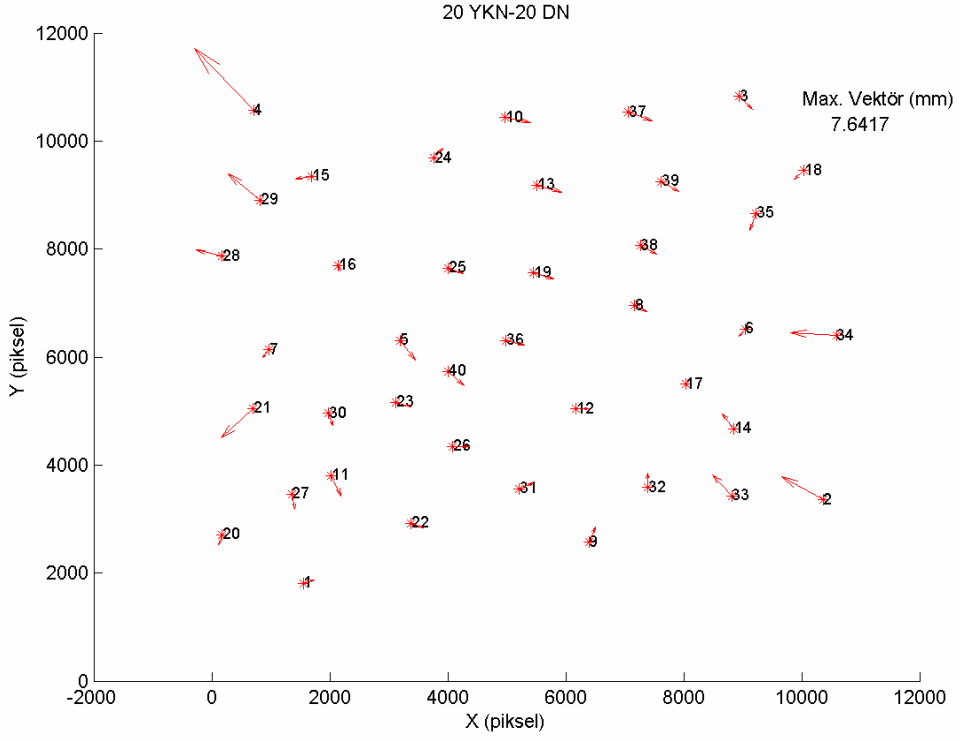
Her bir nokta için çizdirilen hata vektörlerinden de anlaşılacağı gibi en kötü geometrik dönüşüm sonucunu, Afin ve Bi-lineer dönüşüm verirken, en hassas dönüşüm sonucunu RFM dönüşüm metodu vermektedir. DLT ve Projektif dönüşüm metotları da RFM dönüşüm metoduna hassasiyet bakımından diğer metotlardan daha fazla yaklaşmaktadır.



Şekil 24. Heterojen dağılımda 40 adet YKN 0 adet DN için afin dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri

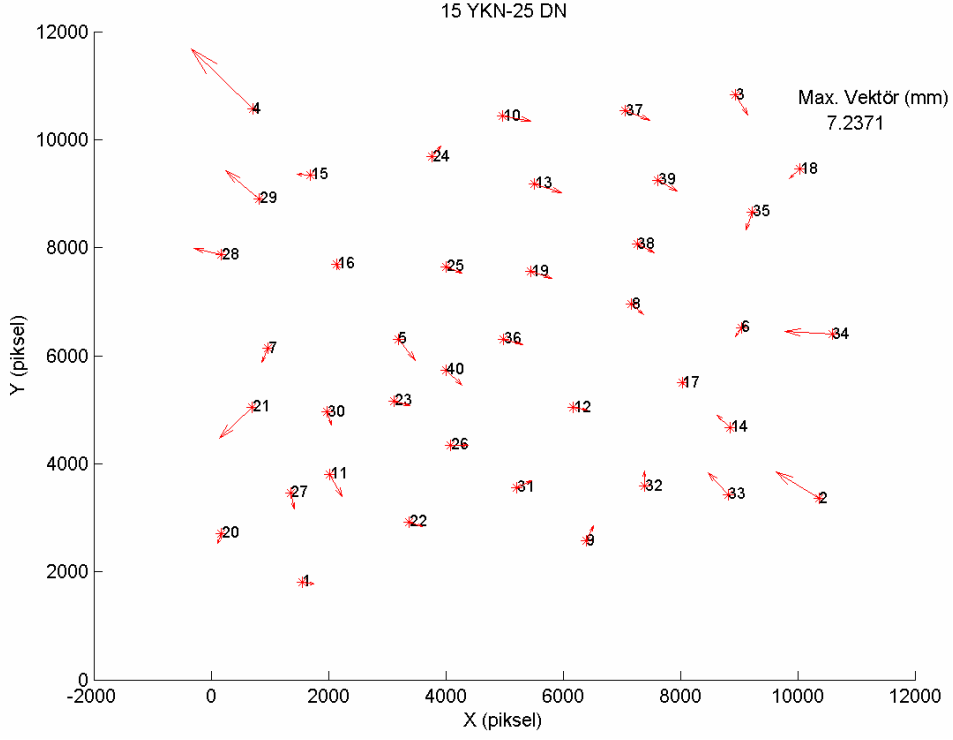
Afin dönüşüm metodu için oluşturulan 40 adet YKN, 0 adet DN ile çizdirilen hata vektörleri kümesinde 24 numaralı nokta 7.84mm'lik hata ile en kötü geometrik dönüşüm sonucunu vermiştir. 31 numaralı nokta 2.02mm'lik hata ile en iyi sonucu vermiştir.





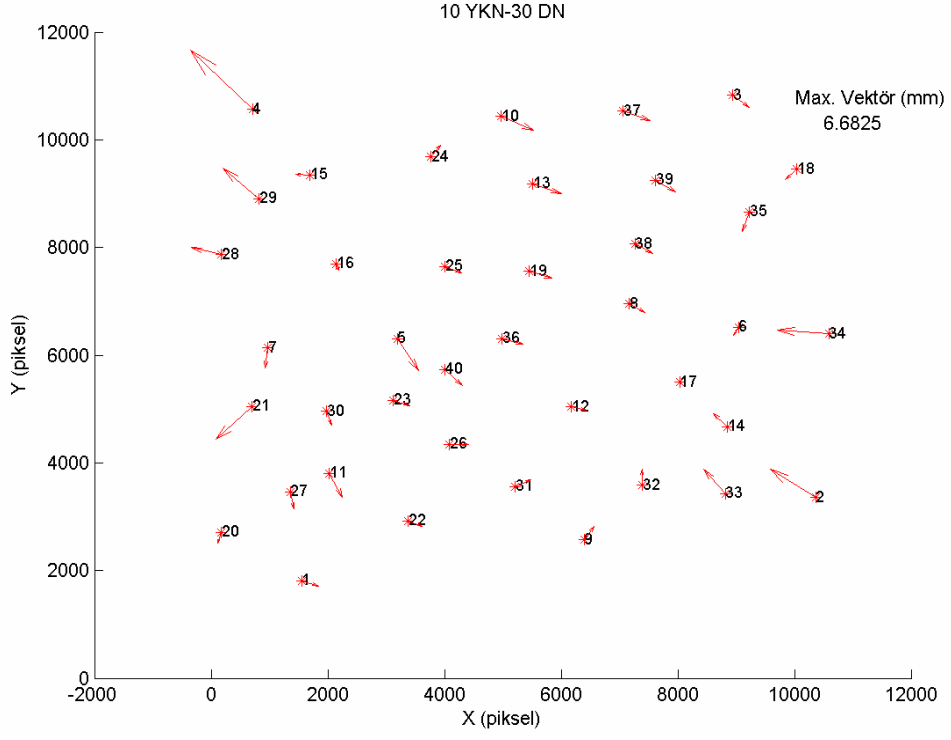
Şekil 25. Heterojen dağılımda 20 adet YKN 20 adet DN için afin dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri

Aynı metot ile yer kontrol noktasının 20 azaltılıp denetleme noktasının 20 artırıldığı küme için çizdirilen hata vektörlerinde 4 numaralı nokta 7.64mm'lik hata ile en kötü geometrik dönüşüm sonucunu vermiştir. 1 numaralı nokta 1.82mm'lik hata ile kümede en iyi test sonucunu vermiştir.



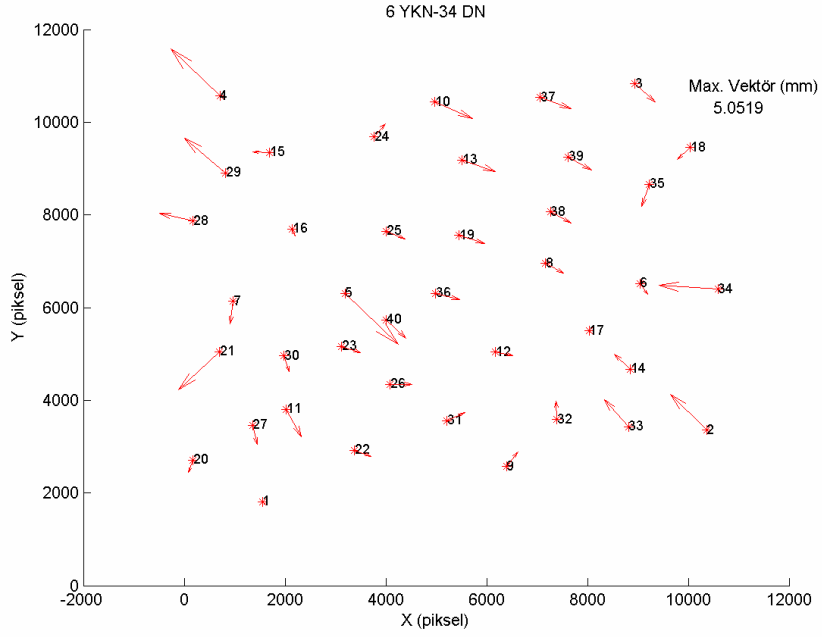
Şekil 26. Heterojen dağılımda 15 adet YKN 25 adet DN için afin dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri

Dönüşümde yer kontrol noktası 25 azaltıldığında çizdirilen hata vektörleri kümesinde 4 numaralı nokta 7.24mm'lik hata ile en kötü geometrik dönüşüm sonucunu verirken, 1 numaralı nokta 1.62mm'lik hata ile en iyi test sonucunu vermiştir. Noktalar YKN sayısı azaldıkça artan hassasiyette sonuçlar vermeye başlamıştır.



Şekil 27. Heterojen dağılımda 10 adet YKN 30 adet DN için afin dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri

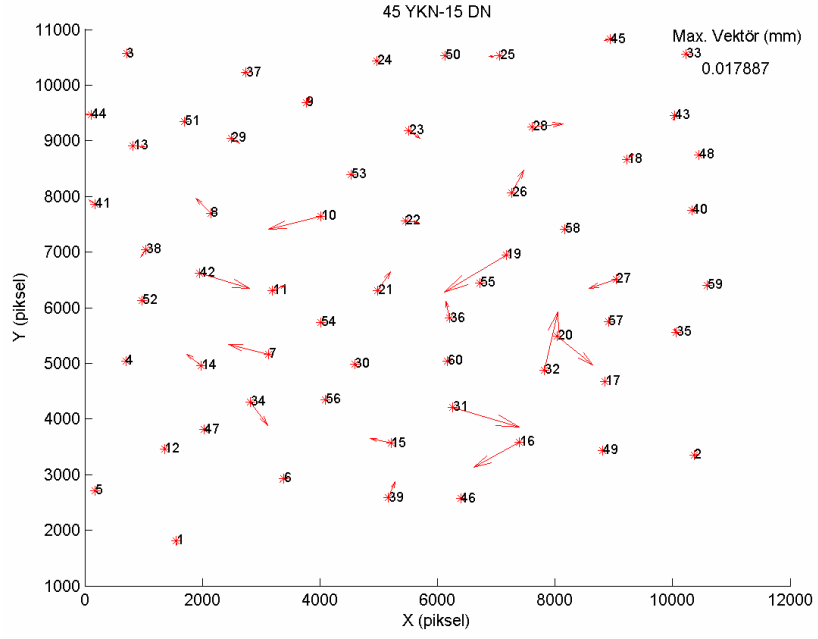
10 adet YKN, 30 adet DN ile çizdirilen bu kümede ise 4 numaralı nokta 6.68mm'lik hata ile en kötü geometrik dönüşüm sonucunu vermiştir. 12 numaralı noktada 1.58mm'lik hata ile en iyi test sonucunu vermiştir.



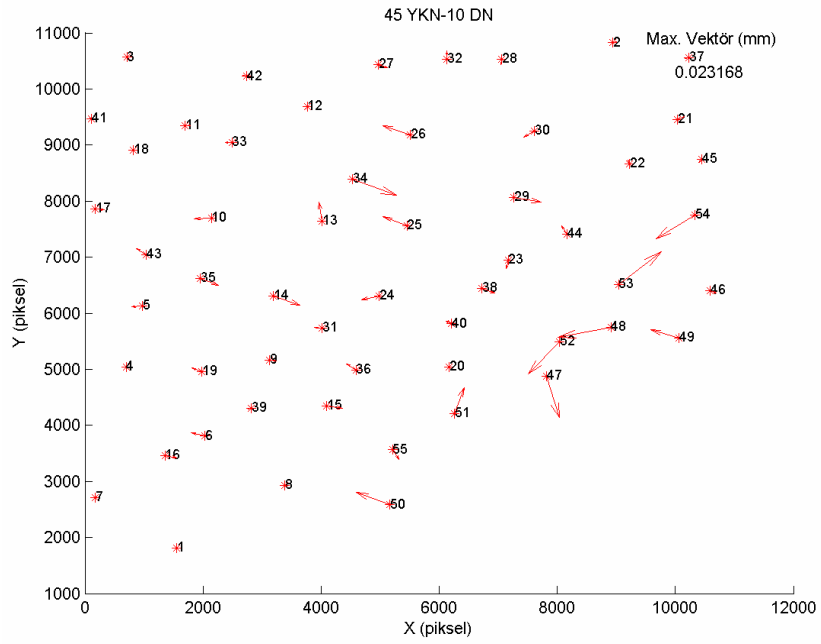
Şekil 28. Heterojen dağılımda 6 adet YKN 34 adet DN için afin dönüşüm ile elde edilen hata vektörleri

Dönüşüm için gerekli minimum 6 adet YKN ile çizdirilen hata vektörleri kümesinde ise 4 numaralı nokta 5.05mm'lik hata ile en kötü geometrik dönüşüm sonucunu vermiştir. 1 numaralı nokta da 1.47mm hata ile en iyi test sonucunu vermiştir.

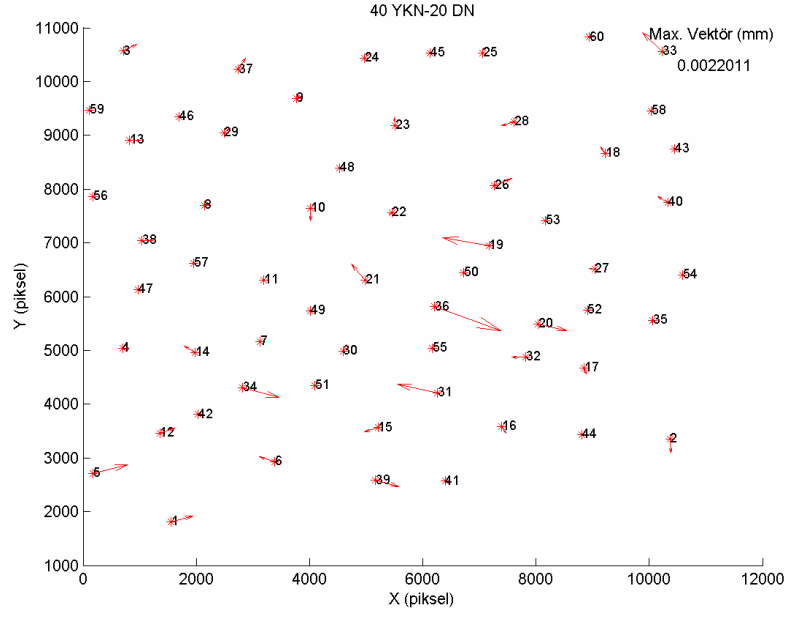
Her bir nokta için çizdirilen hata vektörlerinden de anlaşılacağı gibi nokta sayısı azaldıkça heterojen dağılım sebebi ile hata miktarı azalmaktadır. Benzer eğilim diğer klasik metotlar içinde görülmektedir.



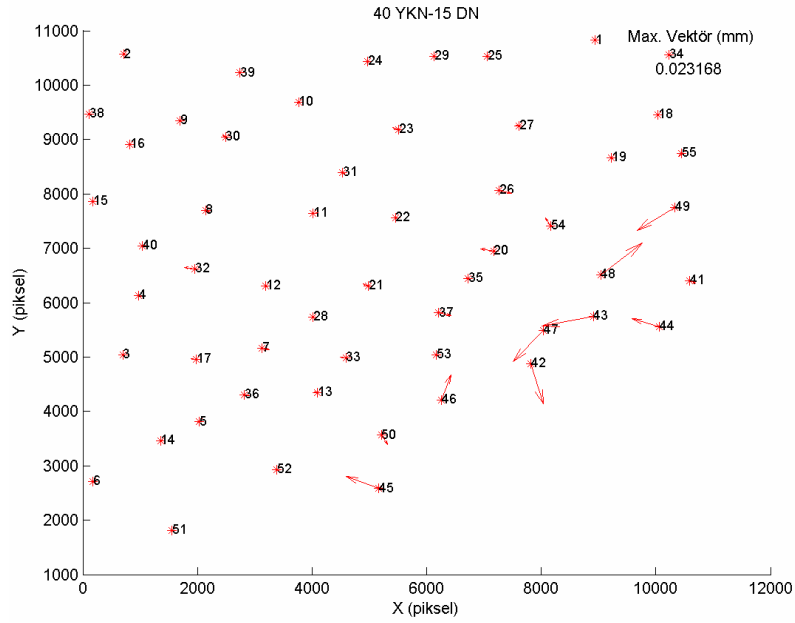
Şekil 29. Homojen dağılımda 45 adet YKN 15 adet DN için RFM ile elde edilen hata vektörleri



Şekil 30. Heterojen dağılımda 45 adet YKN 15 adet DN için RFM ile elde edilen hata vektörleri



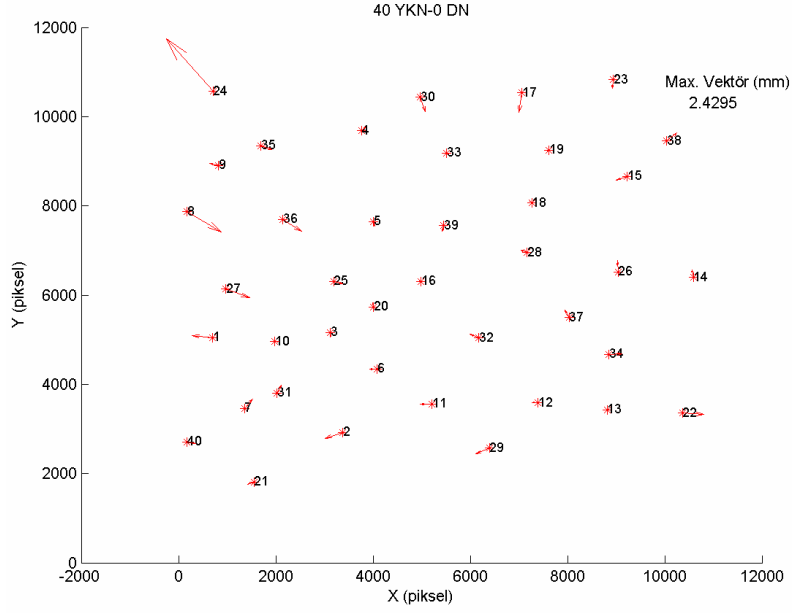
Şekil 31. Homojen dağılımda 40 adet YKN 20 adet DN için RFM ile elde edilen hata vektörleri



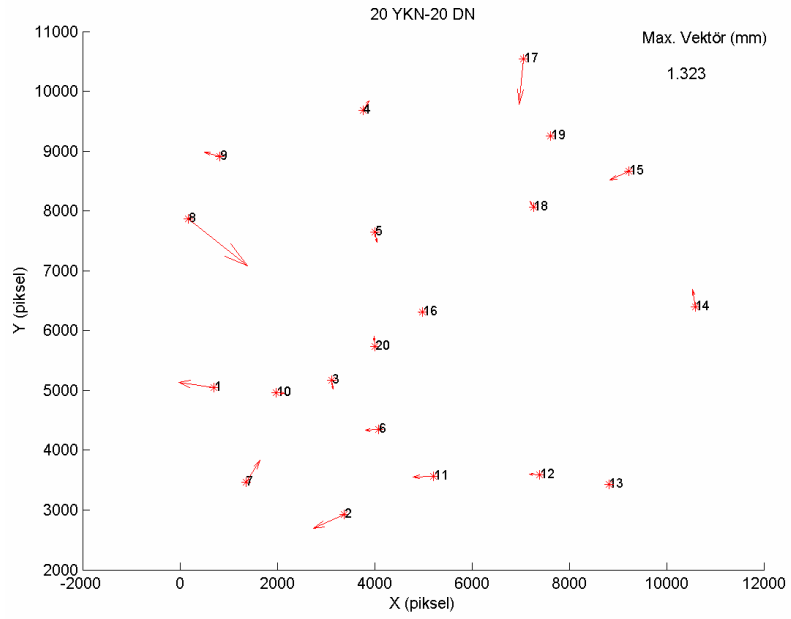
Şekil 32. Heterojen dağılımda 40 adet YKN 20 adet DN için RFM ile elde edilen hata vektörleri

Şekil 29-32 RFM dönüşüm metodu için belirli sayılardaki YKN-DN kümeleri için çizdirilen hata vektörlerini içermektedir. Şekiller dikkatlice incelendiğinde heterojen dağılımdaki test sonuçları aynı dönüşüm metodu için homojen dağılımdaki test

sonuçlarından daha kabadır. 45 adet YKN'nin olduğu homojen gruptaki maksimum hata vektörü, aynı kümenin heterojen dağılımı için çizdirilen hata vektöründen daha küçüktür. Benzer eğilim 40 adet YKN'nin olduğu grup içinde görülmektedir.

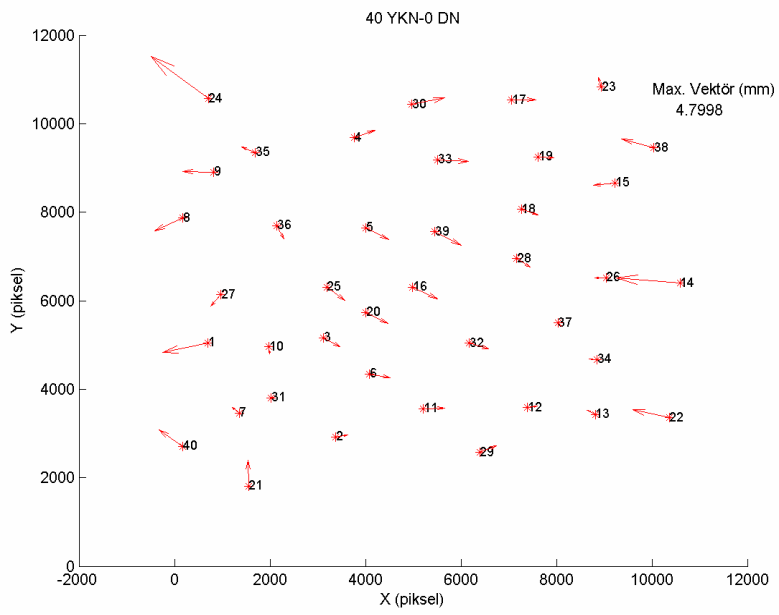


Şekil 33. Homojen dağılımda 40 adet YKN için DLT ile elde edilen hata vektörleri

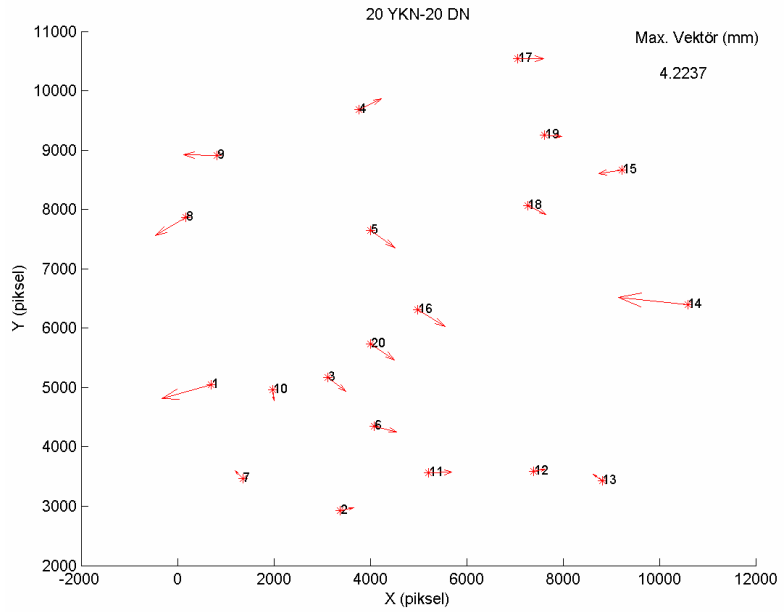


Şekil 34. Homojen dağılımda 20 adet DN için DLT ile elde edilen hata vektörleri

Denetleme noktalarının durumunu irdeleyebilmek için DLT modeli için seçilen homojen dağılımda 20 adet DN'ye ait çizdirilen hata vektörleri Şekil 33 ve 34'da gösterilmiştir. Denetleme noktalarının artışı ile bu noktalara ait hata vektörleri azalırken, daha önceden de değinildiği üzere YKN noktaları arttıkça hata miktarları artmaktadır.



Şekil 35. Heterojen dağılımda 40 adet YKN için DLT ile elde edilen hata vektörleri



Şekil 36. Heterojen dağılımda 20 adet DN için DLT ile elde edilen hata vektörleri



Heterojen dağılımda DLT modeli için seçilen 20 adet DN'ye ait çizdirilen hata vektörleri şekil 35 ve 36'de gösterilmiştir. Denetleme noktalarının artışı ile bu noktalara ait hata vektörleri azalırken, YKN kümelerine ait hata vektörleri de daha öncede değinildiği üzere DN noktalarına paralel olarak azalmaktadır.

### 3. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

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. Bunun için öncelikle YKN-DN kümeleri oluşturulmuş ve bunlar değişik matematiksel modellerle analiz edilmiştir. Bu kapsamda çalışma için Kırşehir ili Kaman ilçesine ait, Zeiss RMK -Top15 analog hava kamerasıyla bindirmeli olarak çekilmiş siyah beyaz hava fotoğraf çifti kullanılmıştır.

Görüntünün büyük bir alanı kapsamasına rağmen mevcut hali hazırım daha kısıtlı bir alanı kapsamından 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 polinomial 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 metodların kullandığı polinomyal ifadelerin dereceleri düşüktür. Bu da test sonuçlarında daha düşük hassasiyet elde edilmesine yol açmıştır.

Geometrik düzeltme işlemi yer kontrol noktaları kullanılarak gerçekleştirilir. Bu işlem için kullanacağımız yer kontrol noktalarının konumsal hassasiyeti, geometrik düzeltmesi yapılacak hava fotoğrafının çözünürlüğüne bağlıdır. Yüksek çözünürlüklü hava fotoğraflarının geometrik düzeltmesi için kullanılacak yer kontrol noktaları arazide yapılacak jeodezik çalışmalarla tespit edileceği gibi, büyük ölçekli haritalar yardımıyla da belirlenebilir. Düşük çözünürlüklü fotoğrafların ise daha küçük ölçekli (1/2500 gibi) haritalardan tespit edilen yer kontrol noktalarıyla geometrik düzeltmesi yapılabilir. Burada belirleyici olan haritadan koordinatları alınan yer kontrol noktasının konumsal doğruluğunun, fotoğrafın konumsal çözünürlüğünden daha küçük olmasıdır. Harita seçerken, haritanın güncel olmasına, görüntüdeki detayların haritada belirgin olmasına ve ölçeğinin geometrik düzeltmeye uygun olmasına dikkat edilir.

Uygun hava fotoğrafı ve pafta elde edildikten sonra geometrik düzeltmenin sağlıklı bir biçimde yapılabilmesi için iyi bir yazılım, güçlü bir donanım ve yeryüzü topografyasını temsil eden iyi bir matematiksel modele ihtiyaç duyulur. Yazılım, geometrik düzeltme işleminin derecesine göre karmaşıklaşan yüksek dereceli algoritmaları desteklemelidir. Donanımda ise boyutları büyük olan hava fotoğraflarını işleyebilecek yüksek belleğe ve hızlı işlemciye ihtiyaç vardır. Ayrıca operatörün tatbik hatasını minimuma indirmek için yüksek çözünürlük sağlayacak bir ekran kartı ve büyük bir monitör kullanılmalıdır.

Fotogrametri ve uzaktan algılama teknolojisinin haritacılık faaliyetlerinde kullanılabilmesi için, hava fotoğraflarının ve uydu görüntülerinin arazi koordinat sistemine göre geometrik düzeltilmesinin yapılması gerekir. Bu disiplinlerin haritacılıkta gelişme göstermesi, fotoğrafların veya görüntülerin yataylanması aşamasında karşılaşılan problemlerin giderilmesine bağlıdır. Bu, fotogrametrik ve uzaktan algılama sistemlerinin uzaysal çözünürlüklerinin artması olarak da düşünülebilir. Çözünürlükleri artan bu sistemlerin ileride haritacılık faaliyetlerinde önemli bir konuma gelmesi ise kaçınılmazdır.

#### 4. KAYNAKLAR

- Abdel Aziz, Y. ve Karara, H., 1971. Direct Linear Transformation from Comparator Coordinates Into Object Space Coordinates in Close- Range Photogrammetry, Proceedings of ASP/UI Symposium on Close-Range Photogrammetry, University of Illinois at Urbana Champaign, Urbana, Illinois, January, 1-18.
- Adrov, V. ve Titarov, P., 2002. Photogrammetric Processing of Satellite Scanner Imagery. Geospatial Today, September-October 2002, Vol. 1, No.3, 27-30.
- Ayhan, E. ve Tüdeş, T., 1997. Yakın Resim Fotogrametrisi Yöntemleriyle Koordinat Belirleme, [http://www.hgk.mil.tr/dergi/Dergi\\_Makaleler.asp/](http://www.hgk.mil.tr/dergi/Dergi_Makaleler.asp/) Temmuz 1997, Sayı 118.
- Başçiftçi, F. ve İnal, C., Başçiftçi, F. 2004. Programming of Two Dimensional Coordinate Transformation, 2nd International Symposium on Electrical, Electronic and Computer Engineering, Near East University, Lefkoşa, KKTC.
- Büyüksalih, G. ve Li, Z., 2003. Practical experiences with automatic aerial triangulation, The Photogrammetric Record, Vol. 18, 131-155.
- Chen, L.C. ve Lee, L.H., 1993. Rigorous Generation of Digital Orthophotos from SPOT Images, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.59, No. 5, 655-661.
- Greve, C. W., 1992. Image Processing on Open Systems. PE&RS, 85-9.
- Grodecki, J., 2001. IKONOS Stereo Feature Extraction-RPC Approach. In:Proceedings of ASPRS Annual Conference (CD ROM), Luis, April 23-27.
- 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.
- Jensen, J.R., 1986. Introductory Digital Image Processing, A Remote Sensing Perspective, Printice-Hall, Englewood Cliffs. New Jersey 07632.
- 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.
- Kraus, K., 1982. Fotogrametri Cilt 1, Fotoğraflardan ve Lazer Tarama Verilerinden Geometrik Bilgiler, İstanbul Teknik Üniversitesi, Birinci Baskı, Nobel Yayın Dağıtım.

- Madani, M., 1999. Real-Time Sensor-Independent Positioning by Rational Functions. In Proceedings of ISPRS Workshop on Direct Versus Indirect Methods of Sensor Orientation, Barcelona, November 25-26, 64-75.
- McGlone, C., 1996. Sensor Modelling in Image Registration. In Greve C.W. (Ed), Digital Photogrammetry: an addendum, ASPRS, 115-123.
- Monti, C., Guerra, F., Balletti, C. ve Miniutti, D., 1999. Geometric Operations in Digital Images. CIPA International Symposium, Recife/Olinda, :Brasil.
- 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-0002v2.1.pdf>.
- Novak, K., 1992. Remote Sensing of Digital Imagery, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.58, No.3, 339-344.
- Okamoto, A., Ono, T., Akamatsu, S., Fraser, C., Hattori, S. ve Hasegawa, H., 1999. Geometric Characteristics of Alternative Triangulation Models for Satellite Imagery, In: Proceedings of ASPRS Annual Conference (CD ROM), Oregon, May 17-21.
- OpenGIS Consortium, 9 February 1999. The OpenGIS Abstract Specification, Topic:7, The Earth Imagery Case, <http://www.opengis.org/public/abstract/99-107.pdf>.
- Önder, M., 1999. Uzaktan Algılama Ders Kitabı, T.C., K.K.K., Kara Harp Okulu Komutanlığı Ankara, Kara Harp Okulu Basımevi, Ankara.
- Paderes Jr, F.C., Mikhail, E.M. ve Fagerman, J.A., 1989. Batch and Online Evaluation of Stereo SPOT Imagery, In Proceedings of the ASPRS-ACSM Conference, Baltimore, April 2-7, 31-40.
- Pala, V. ve Pans, X., 1995. Incorporation of Relief in Polynomial-Based Geometric Correction, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol.61, No.7, 935-44.
- Radwan, M.M., 1984. Lectures Notes on Geometric Correction of Remote Sensing Data, ITC Publications.
- Selçuk, O., 2008. Dijital ve Analog Kameraların Geometrik Potansiyellerinin Fotogrametrik Açından İrdelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Mühendislik Tezi, Afyon. 2008.
- Tansuğ, B. ve Pektekin, A., 1978. Lineer Düzlem Transformasyonlar ve Sayısal Örnekler, İDMMA Harita Kadastro Bölümü Fotogrametri Kürsüsü Yayını, No.13, İstanbul.
- Tao, V. ve Hu.Y., 2000. Investigation on The Rational Function Model.

- Tao, V., Hu, Y., Mercer, J., Schnick, S. ve Zhang, Y., 2000. Image Rectification Using a Generic Model-Rational Function Model. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing* 33 (B3), 874–881.
- 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.
- Toutin, Th., Chénier, R. ve Carbonneau, Y., 2002. 3D Models for High Resolution Images: Examples with Quickbird, Ikonos and Eros. *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications*, Ottawa.
- Toutin, T., 2003. Error Tracking in Ikonos Geometric Processing Using a 3D Parametric Model, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol. 69, 43-51.
- 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).

## 5.EKLER

Ek Tablo 1. Homojen dağılımdaki YKN-DN kümeleri

Model	YKN	D N	YKN(mm)									DN(mm)								
			mx	my	ms	maxx	maxy	minx	miny	medx	medy	mx	my	ms	maxx	maxy	minx	miny	medx	medy
Afin	40	0	1,363	1,077	1,737	5,062	5,984	0,026	0,005	1,195	0,875	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	20	1,309	1,108	1,715	5,038	5,746	0,101	0,002	1,012	0,700	1,445	1,029	1,774	3,870	2,684	0,026	0,005	1,317	0,875
	15	25	1,543	1,348	2,049	4,957	5,273	0,485	0,050	1,059	1,087	1,281	0,939	1,589	3,870	2,684	0,026	0,005	1,229	0,816
	10	30	1,712	1,636	2,368	4,650	4,799	0,185	0,446	1,260	1,126	1,283	0,920	1,579	3,870	2,684	0,026	0,005	1,221	0,806
	6	34	1,858	1,975	2,711	3,513	3,630	0,199	0,213	1,844	1,938	1,268	0,947	1,582	3,870	2,684	0,026	0,005	1,214	0,824
Bi-lineer	40	0	1,322	0,559	1,435	4,210	2,978	0,027	0,011	1,244	0,469	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	20	1,231	0,721	1,427	3,512	2,525	0,022	0,011	1,126	0,609	1,430	0,403	1,485	4,210	0,888	0,057	0,011	1,390	0,360
	15	25	1,223	0,703	1,410	2,521	1,921	0,156	0,028	1,231	0,477	1,408	0,485	1,489	4,210	1,334	0,057	0,011	1,412	0,424
	10	30	1,378	0,876	1,633	2,757	1,608	0,505	0,094	1,262	0,825	1,309	0,464	1,389	4,210	1,334	0,057	0,011	1,371	0,414
	6	34	0,763	0,828	1,126	2,198	2,183	0,090	0,301	0,577	0,621	1,330	0,492	1,418	4,210	1,568	0,057	0,011	1,371	0,414
Projektive	40	0	0,339	0,266	0,431	1,468	1,793	0,001	0,004	0,184	0,172	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	20	0,401	0,330	0,519	1,091	1,370	0,031	0,049	0,284	0,260	0,308	0,212	0,374	1,322	0,841	0,001	0,004	0,120	0,127
	15	25	0,417	0,345	0,541	1,140	1,176	0,010	0,080	0,243	0,269	0,307	0,233	0,386	1,322	0,841	0,001	0,004	0,150	0,152
	10	30	0,534	0,424	0,682	1,171	0,981	0,089	0,009	0,469	0,382	0,291	0,223	0,366	1,322	0,841	0,001	0,004	0,176	0,154
	6	34	0,178	0,370	0,410	0,333	0,774	0,017	0,146	0,188	0,280	0,345	0,242	0,422	1,322	0,841	0,001	0,004	0,209	0,172
DLT	40	0	0,298	0,226	0,374	1,537	1,882	0,017	0,007	0,200	0,226	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	20	0,365	0,292	0,467	1,010	1,300	0,020	0,037	0,283	0,205	0,242	0,164	0,293	1,114	0,713	0,017	0,007	0,129	0,109
	15	25	0,346	0,290	0,451	1,290	1,037	0,024	0,047	0,130	0,128	0,263	0,186	0,322	1,114	0,713	0,017	0,007	0,196	0,131
	10	30	0,464	0,332	0,570	1,260	0,883	0,044	0,017	0,297	0,248	0,253	0,175	0,307	1,114	0,713	0,017	0,007	0,172	0,121
	6	34	0,187	0,136	0,232	0,355	0,395	0,002	0,013	0,215	0,086	0,299	0,192	0,355	1,260	0,713	0,017	0,007	0,214	0,121
RFM (Araziden Resane Geçiş)	60	0	0,016	0,010	0,019	0,084	0,049	0,001	0,001	0,011	0,007	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	5	0,012	0,006	0,013	0,052	0,025	0,000	0,000	0,007	0,003	0,028	0,020	0,035	0,084	0,049	0,002	0,002	0,019	0,016
	50	10	0,008	0,004	0,009	0,035	0,014	0,000	0,000	0,004	0,002	0,024	0,015	0,028	0,084	0,049	0,002	0,000	0,017	0,014
	45	15	0,004	0,002	0,004	0,016	0,015	0,000	0,000	0,002	0,001	0,020	0,012	0,023	0,084	0,049	0,000	0,000	0,015	0,008



Ek Tablo 1'in devamı

	40	20	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,016	0,009	0,018	0,084	0,049	0,000	0,000	0,009	0,004
RFM (Araziden Resme Geçiş B=D)	60	0	0,018	0,017	0,025	0,118	0,059	0,000	0,000	0,012	0,015	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	55	5	0,013	0,012	0,017	0,103	0,044	0,000	0,000	0,008	0,010	0,044	0,032	0,054	0,106	0,041	0,021	0,018	0,024	0,034
	50	10	0,012	0,012	0,017	0,051	0,048	0,001	0,000	0,008	0,009	0,028	0,022	0,036	0,106	0,041	0,001	0,005	0,022	0,019
	45	15	0,008	0,009	0,012	0,028	0,043	0,000	0,000	0,005	0,006	0,024	0,017	0,029	0,106	0,041	0,001	0,002	0,018	0,013
	40	20	0,003	0,004	0,005	0,012	0,018	0,000	0,000	0,003	0,002	0,020	0,014	0,025	0,106	0,041	0,000	0,000	0,015	0,014
	60	0	0,112	0,114	0,160	0,337	0,385	0,000	0,008	0,093	0,081	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RFM (Araziden Resme Geçiş B=D=1)	55	5	0,105	0,119	0,159	0,304	0,378	0,004	0,002	0,089	0,091	0,134	0,042	0,141	0,266	0,102	0,018	0,016	0,138	0,027
	50	10	0,084	0,113	0,141	0,322	0,399	0,002	0,004	0,070	0,096	0,159	0,109	0,193	0,290	0,267	0,018	0,016	0,170	0,076
	45	15	0,085	0,116	0,144	0,323	0,375	0,000	0,005	0,065	0,102	0,124	0,108	0,165	0,290	0,267	0,006	0,009	0,131	0,102
	40	20	0,069	0,107	0,128	0,378	0,335	0,006	0,004	0,035	0,083	0,118	0,109	0,161	0,290	0,267	0,006	0,009	0,095	0,088
	60	0	52,659	23,922	57,838	221,394	110,411	1,046	0,101	32,197	16,539	-	-	-	-	-	-	-	-	-
RFM (Resimden Araziye Geçiş)	55	5	343,809	210,267	403,010	1.643,687	788,272	1,628	4,535	263,054	187,698	82,083	19,262	84,312	137,433	45,838	21,561	4,486	98,269	15,139
	50	10	1,436	41,156	41,181	4,356	46,274	0,178	34,277	1,042	41,412	221,314	98,421	242,212	520,311	370,294	21,561	4,486	128,596	16,603
	45	15	37,773	14,639	40,510	138,634	64,933	0,320	0,290	27,748	9,056	147,878	79,740	168,007	520,311	370,294	0,354	4,486	33,391	41,167
	40	20	88,264	88,295	124,846	1.715,761	1.581,744	0,636	0,574	11,617	8,086	123,158	65,035	139,275	520,311	370,294	0,354	3,439	32,014	28,731
	60	0	52,659	23,922	57,838	221,394	110,411	1,046	0,101	32,197	16,539	-	-	-	-	-	-	-	-	

Ek Tablo 2. Heterojen dağılımdaki YKN-DN kümeleri

Model	YKN	DN	YKN(mm)									DN(mm)									
			mx	my	ms	maxx	maxy	minx	miny	medx	medy	mx	my	ms	maxx	maxy	minx	miny	medx	medy	
Afin	40	0	1,363	1,077	1,737	5,062	5,984	0,026	0,005	1,195	0,875	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	20	0,836	0,326	0,897	2,039	0,878	0,102	0,052	0,776	0,295	1,642	1,155	2,007	5,062	5,984	0,129	0,159	1,566	0,798	
	15	25	0,506	0,236	0,558	1,102	0,708	0,002	0,039	0,427	0,148	1,498	0,999	1,801	5,062	5,984	0,102	0,052	1,506	0,609	
	10	30	0,350	0,114	0,368	0,842	0,272	0,117	0,000	0,270	0,114	1,312	0,893	1,587	5,062	5,984	0,064	0,052	1,257	0,564	
	6	34	0,280	0,076	0,290	0,700	0,208	0,067	0,004	0,220	0,058	1,191	0,803	1,436	5,062	5,984	0,064	0,000	1,140	0,509	
Bi-lineer	40	0	1,322	0,559	1,435	4,210	2,978	0,027	0,011	1,244	0,469	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	20	0,661	0,221	0,697	1,467	0,853	0,067	0,028	0,610	0,152	1,530	0,695	1,681	3,765	2,978	0,057	0,011	1,461	0,672	
	15	25	0,438	0,123	0,455	0,910	0,391	0,072	0,002	0,360	0,079	1,396	0,599	1,519	3,765	2,978	0,057	0,011	1,232	0,537	
	10	30	0,386	0,055	0,390	0,610	0,130	0,138	0,002	0,381	0,048	1,228	0,532	1,338	3,765	2,978	0,057	0,002	1,092	0,439	
	6	34	0,086	0,007	0,087	0,177	0,021	0,022	0,000	0,081	0,005	1,134	0,474	1,229	3,765	2,978	0,057	0,002	1,059	0,406	
Projektive	40	0	0,339	0,266	0,431	1,468	1,793	0,001	0,004	0,184	0,172	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	20	0,190	0,082	0,207	0,857	0,349	0,007	0,002	0,117	0,041	0,365	0,320	0,485	1,468	1,793	0,001	0,004	0,089	0,178	
	15	25	0,183	0,082	0,201	0,712	0,378	0,003	0,001	0,142	0,037	0,325	0,267	0,420	1,468	1,793	0,001	0,004	0,114	0,111	
	10	30	0,157	0,057	0,167	0,458	0,180	0,019	0,000	0,108	0,034	0,299	0,253	0,392	1,468	1,793	0,001	0,004	0,120	0,107	
	6	34	0,096	0,086	0,128	0,281	0,142	0,006	0,017	0,066	0,091	0,280	0,228	0,361	1,468	1,793	0,001	0,000	0,115	0,102	
DLT	40	0	0,298	0,226	0,374	1,537	1,882	0,017	0,007	0,200	0,138	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	20	20	0,121	0,067	0,138	0,429	0,288	0,001	0,003	0,052	0,029	0,328	0,293	0,440	1,537	1,882	0,017	0,007	0,129	0,141	
	15	25	0,066	0,034	0,074	0,353	0,159	0,001	0,003	0,041	0,025	0,287	0,252	0,382	1,537	1,882	0,017	0,003	0,103	0,136	
	10	30	0,074	0,037	0,082	0,306	0,165	0,004	0,001	0,031	0,018	0,246	0,215	0,327	1,537	1,882	0,014	0,003	0,074	0,085	
	6	34	0,021	0,051	0,055	0,050	0,099	0,005	0,020	0,018	0,051	0,220	0,191	0,291	1,537	1,882	0,004	0,001	0,071	0,077	

Ek Tablo 2'nin devamı

RFM (Arazide n Resme Geçiş)	55	0	0,016	0,008	0,018	0,071	0,034	0,000	0,000	0,010	0,005	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5	0,010	0,004	0,011	0,035	0,015	0,000	0,000	0,007	0,002	0,011	0,007	0,013	0,022	0,018	0,003	0,001	0,012	0,004
	45	10	0,004	0,002	0,004	0,019	0,008	0,000	0,000	0,003	0,001	0,011	0,009	0,014	0,022	0,018	0,003	0,001	0,012	0,008
	40	15	0,001	0,000	0,001	0,006	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,008	0,006	0,010	0,022	0,018	0,000	0,000	0,004	0,004
RFM (Araziden Resme Geçiş B=D)	55	0	0,018	0,015	0,023	0,111	0,051	0,000	0,000	0,012	0,013	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5	0,012	0,011	0,016	0,059	0,032	0,001	0,000	0,009	0,009	0,011	0,006	0,012	0,013	0,012	0,006	0,003	0,011	0,004
	45	10	0,008	0,007	0,010	0,031	0,019	0,000	0,000	0,005	0,005	0,015	0,011	0,018	0,037	0,025	0,001	0,003	0,012	0,012
	40	15	0,010	0,007	0,012	0,031	0,024	0,000	0,000	0,008	0,006	0,012	0,009	0,015	0,037	0,025	0,001	0,001	0,011	0,008
RFM (Araziden Resme Geçiş B=D=I)	55	0	0,110	0,115	0,159	0,301	0,387	0,003	0,002	0,091	0,085	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5	0,115	0,110	0,159	0,322	0,389	0,001	0,000	0,107	0,085	0,053	0,133	0,144	0,191	0,235	0,004	0,010	0,028	0,136
	45	10	0,118	0,099	0,154	0,266	0,412	0,010	0,000	0,103	0,064	0,051	0,131	0,141	0,191	0,235	0,004	0,010	0,033	0,126
	40	15	0,091	0,102	0,137	0,272	0,434	0,002	0,003	0,070	0,069	0,067	0,107	0,126	0,231	0,235	0,004	0,009	0,047	0,113
RFM (Resimden Araziye Geçiş)	55	0	42,337	32,525	53,388	186,196	287,611	0,111	0,080	23,867	25,424	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	50	5	325,911	76,359	334,737	1.377,881	386,889	0,703	0,139	217,346	41,197	9,518	7,447	12,085	20,002	287,611	0,000	0,004	10,433	7,447
	45	10	20,307	41,407	46,118	111,298	72,782	0,249	0,758	9,286	42,288	262,048	50,029	266,781	1.274,541	287,611	0,000	0,000	18,578	50,029
	40	15	793,106	98,296	799,174	830,526	260,530	5,852	0,583	811,996	75,746	177,646	46,905	183,734	1.274,541	287,611	0,000	0,000	14,241	33,852

## **ÖZGEÇMİŞ**

1984 yılında Trabzon'da doğdu. İlköğrenimini Trabzon'da, orta ve lise öğrenimini Ankara'da tamamladı. 2003 yılında Karadeniz Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliğine girdi; 2007 yılında lisans öğrenimini tamamladı. Orta derecede İngilizce bilmektedir.