

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALGILAYICIDAN BAĞIMSIZ DÖNÜŞÜM MODELLERİ İLE ÜRETİLEN
ORTOGÖRÜNTÜLERİN KONUM DOĞRULUĞUNUN BELİRLENMESİ**

GEOMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ALİ CAM

ŞUBAT 2018

BÜLENT ECEVİT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ALGILAYICIDAN BAĞIMSIZ DÖNÜŞÜM MODELLERİ İLE ÜRETİLEN
ORTOGÖRÜNTÜLERİN KONUM DOĞRULUĞUNUN BELİRLENMESİ**

GEMATİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİMDALI

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Ali CAM

DANIŞMAN: Doç. Dr. Hüseyin TOPAN

ZONGULDAK

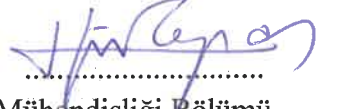
Şubat 2018

KABUL:

Ali CAM tarafından hazırlanan “Algılayıcıdan Bağımsız Dönüşüm Modelleri ile Üretilen Ortogörüntülerin Konum Doğruluğunun Belirlenmesi” başlıklı bu çalışma jürimiz tarafından değerlendirilerek Bülent Ecevit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak oybirliğiyle kabul edilmiştir. 23/02/2018

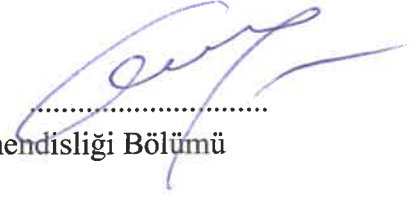
Danışman: Doç. Dr. Hüseyin TOPAN

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



Üye: Prof. Dr. Mithat Derya MAKTAV

İstanbul Teknik Üniversitesi, İnşaat Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



Üye: Yrd. Doç. Dr. Kurtuluş Sedar GÖRMÜŞ

Bülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Geomatik Mühendisliği Bölümü



ONAY:

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

..../..../2018



Doç. Dr. Ahmet ÖZARSLAN
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”



Ali CAM

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ALGILAYICADAN BAĞIMSIZ DÖNÜŞÜM MODELLERİ İLE ÜRETİLEN ORTOGÖRÜNTÜLERİN KONUM DOĞRULUĞUNUN BELİRLENMESİ

Ali CAM

Bülent Ecevit Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Geomatik Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hüseyin TOPAN

Şubat 2018, 61 sayfa

Ortogörüntü üretimi uzaktan algılama ve fotogrametride yaygın ve çoğu zaman da gerekli bir adımdır. Ortogörüntünün konum doğruluğunu belirleyen iki önemli etken vardır. Bunlardan birisi dönüşüm parametrelerinin doğruluğu, diğeri ise sayısal yükseklik modelinin çözünürlüğü ve yükseklik doğruluğudur. Bu çalışmanın amacı, yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden üretilen ortogörüntülerin konum doğruluğu üzerinde dönüşüm parametrelerinin ve sayısal yükseklik modelinin doğruluğunun etkisinin hata yayılım yasası ile belirlenmesidir.

Bu amaçla, algılayıcıdan bağımsız dönüşüm yöntemlerinden benzerlik, polinom, afin izdüşüm, projektif ve DLT (Direct Linear Transformation) yöntemleri kullanılarak Zonguldak il merkezini kapsayan bir GÖKTÜRK-2 pankromatik görüntüsü için konum doğruluğu hesaplanmıştır. Ortogörüntü üretiminde kullanılan sayısal yükseklik modeli, bindirmeli SPOT 5 pankromatik görüntülerinden oluşturulmuş ve yükseklik değerine gereksinim duyan afin izdüşüm yöntemiyle üretilen ortogörüntü için kullanılmıştır.

ÖZET (devam ediyor)

Dönüşüm katsayılarının hesaplanmasında, Baarda ve t-student yöntemleri ile uyuşumsuz ölçü çiftleri belirlenmiş ve ölçü kümesinden çıkarılmıştır. Böylece dönüşüm doğruluğu artmıştır. En kaba doğruluğu benzerlik dönüşümü, en yüksek doğruluğu ise afin izdüşüm (Model 3) vermektedir. Bu iki dönüşüm için elde edilen doğruluklar sırasıyla ± 136.09 ve ± 1.83 pikseldir.

Dönüşüm katsayılarının hesabını takiben sayısal yükseklik modelinin doğruluğu da dikkate alınarak hata yayılma yasası yardımıyla üretilecek ortogörüntünün konum doğruluğu hesaplanmıştır. Benzerlik, afin ve afin izdüşüm yöntemleri kullanılarak ortogörüntüler üretilmiş ve konum doğruluğu ortogörüntü-GNSS koordinat farkları karşılaştırılarak bulunmuştur. Ortogörüntü üretiminde kullanılan dönüşüm modellerinin konum doğrulukları benzerlik dönüşümü için ± 36.60 m, afin dönüşüm için ± 9.64 m, afin izdüşüm Model 1 için ± 6.38 m ve afin izdüşüm Model 3 için ± 6.31 m'dir. Burada en iyi doğruluk afin izdüşüm yöntemi ile elde edilmiştir. En iyi doğruluğa sahip afin izdüşüm Model 3 ile elde edilen sonuçlar karşılaştırıldığında ortogörüntü-GNSS farklarının ± 0.86 m ile ± 21.29 m aralığında olduğu görülmektedir. Oysa bu değer ± 1.55 m ile 15.30 m aralığında olması öngörülmüştür. Hesapla bulunan konum doğruluğu ile ortogörüntü üretilerek elde edilen konum doğruluğu arasındaki farkın olası nedenleri tartışılmış ve geleceğe dönük bir çalışma planı sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: algılayıcıdan bağımsız dönüşüm, uyuşumsuz ölçü tetsi, konum doğruluğu, ortogörüntü, hata yayılımı, GÖKTÜRK-2, Zonguldak, GeoTrans, GeoEtrim.

Bilim Kodu: 616.02.04

ABSTRACT

M. Sc Thesis

ESTIMATION OF GEOREFERENCING ACCURACY OF ORTHOIMAGES GENERATED BY SENSOR-INDEPENDENT ORIENTATION MODELS

Ali CAM

**Bülent Ecevit University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Geomatics Engineering**

Thesis Advisor: Assoc. Prof. Dr. Hüseyin TOPAN

February 2018, 61 pages

Orthoimage generation is generally common and indispensable process in remote sensing and photogrammetry. There are two significant factors affecting georeferencing accuracy of orthoimage, i.e. one of them is the accuracy of transformation parameters, and the other is geometric resolution and accuracy of digital elevation model (DEM). The motivation of this thesis is to estimate efficiency of both transformation parameters and DEM accuracy on the orthoimage accuracy, using error propagation law.

The georeferencing accuracy of GÖKTÜRK-2 panchromatic image covering Zonguldak city centre (Turkey) were estimated using sensor-independent orientation models (similarity, 2D affine, affine projection, projective and DLT). A SPOT 5 DEM was preferred for generation of orthoimage using affine projection model.

ABSTRACT (continued)

The outliers were estimated and removed by blunder test via Baarda and t-student. Thereby, the georeferencing accuracy increases with this process. The lowest accuracy was achieved by similarity transformation (± 136.09 pixel) whereas the highest accuracy was available via affine projection (Model 3) (± 1.83 pixel).

Following the georeferencing accuracy estimation, a posteriori accuracy considering DEM accuracy has been estimated with the help of error propagation law for the orthoimage generated by similarity, 2B affine and affine projection. The coordinate differences between orthoimage and GNSS observations were calculated at the GCPs. A posteriori accuracy was estimated as ± 36.60 m for similarity transformation, 9.64 m for 2B affine transformation, ± 6.38 m for affine projection Model 1 and ± 6.31 m for Model 3. This means the best accuracy has been estimated by affine projection Model 3. The findings via this model and orthoimage-GNSS differences were compared, and it was found that although the a posteriori accuracy was between ± 1.55 m and ± 15.30 m, the orthoimage-GNSS differences varied between ± 0.86 m and ± 21.29 m. The possible reasons of this discrepancy was also discussed, and the further studies were proposed.

Keywords: sensor-independent orientation, blunder test, georeferencing accuracy, orthoimage, error propagation, GÖKTÜRK-2, Zonguldak (Turkey), GeoTrans, GeoEtrim.

Science Code: 616.02.04

TEŞEKKÜR

Tez konusunun belirlenmesinde, gerekli altyapının sağlanmasında ve tez sürecinin ilerlemesinde her konuda yardımlarını ve deneyimlerini esirgemeyen tez danışman hocam Doç. Dr. Hüseyin TOPAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

GNSS verilerinin değerlendirilmesi ve koordinat dönüşümündeki yardımlarından dolayı Yrd. Doç. Dr. K. Sedar GÖRMÜŞ ve Yrd. Doç. Dr. Hüseyin KEMALDERE'ye, sayısal yükseklik modelinin üretiminde desteklerini esirgemeyen Uzm. Murat Oruç'a, aynı zamanda yükseklik doğruluğunun üretiminde karşılaştırma yazılımının kullanılmasını sağlayan Doç. Dr. Devrim AKÇA'ya; ortogörüntü üretiminde, bilgi birikimini ve tecrübelerini paylaşan Doç. Dr. Ali Özgün OK'a ve Caner DEMİRPOLAT'a teşekkür ederim. Tezin bir basamağı olan MATLAB ortamındaki programlama sürecinde her zaman bilgi ve birikimini paylaşan Arş. Gör. Mustafa ÖZENDİ'ye; tez dönemimde evini açarak bana destek olan Arş. Gör. Volkan AKGÜL'e, aynı zamanda Arş. Gör. Ali İhsan ŞEKERTEKİN'e, Arş. Gör. Çağlar BAYIK'a ve Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü üyelerine; görüntülerin temininden dolayı Hava Kuvvetleri Komutanlığına ve son olarak sevgilerini ve desteklerini esirgemeyen değerli ailem, Mustafa, Emine ve Çiğdem CAM'a sonsuz teşekkür ederim.



İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER.....	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xi
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ.....	xv
BÖLÜM 1 GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
1.1. GİRİŞ.....	1
1.2. AMAÇ	2
BÖLÜM 2 GÖRÜNTÜ KOORDİNATLANDIRMA.....	5
2.1 KOORDİNAT DÖNÜŞÜMÜ	5
2.2.1 Algılayıcı Bağımlı Dönüşüm Modelleri	6
2.2.2 Algılayıcı Bağımsız Dönüşüm Modelleri	7
2.2.3 Yarı Algılayıcı Bağımsız Model	13
2.3 DENGELEME.....	13
2.4 UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN BELİRLENMESİ.....	15
2.4.1 Uyuşumsuz Ölçünün Tespiti.....	16
2.4.2 Klasik Uyuşumsuz Ölçü Tespit Yöntemleri	16
2.4.3 Ölçü Çiftlerin Uyuşumsuz Ölçü Tespiti	17
2.5 ORTOGÖRÜNTÜNÜN KONUM DOĞRULUĞUNUN BELİRLENMESİ	18
2.6 ORTOGÖRÜNTÜ ÜRETİMİ	25

İÇİNDEKİLER (devam ediyor)

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3 UYGULAMA	29
3.1 ÇALIŞMA BÖLGESİ	29
3.2. KULLANILAN VERİLER	29
3.2.1 Kullanılan Görüntüler	30
3.2.2 Kullanılan YKN'ler	33
3.2.3. Kullanılan SYM	34
3.3. UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN BELİRLENMESİ.....	36
3.4. ORTOGÖRÜNTÜNÜN KONUM DOĞRULUĞUNUN HESAPLANMASI.....	43
3.5. DOĞRULUĞUN ORTOGÖRÜNTÜ ÜZERİNDEN BULUNMASI.....	45
BÖLÜM 4 SONUÇ.....	53
KAYNAKLAR.....	55
ÖZGEÇMİŞ	61

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 2.1. 3B iki koordinat sistemi arası geometrik ilişki.....	6
Şekil 2.2. Dar anlık görüş alanı durumunda izdüşüm ışınları.	7
Şekil 2.3. Dik ve merkezi izdüşüm karşılaştırması.	26
Şekil 2.4. En yakın komşuluk yöntemi ile yeniden örnekleme.	27
Şekil 2.5. Genel işlem akış şeması.	27
Şekil 3.1. Zonguldak il merkezinden panoramik bir görünüm (üstte, görüntü telif hakkı Hüseyin Topan'a aittir) ve Zonguldak şehir merkezi ve hinterlandının Google Earth'de 2.5B görünümü (altta).....	30
Şekil 3.2. Verilerin kullanımına dair akış şeması.....	31
Şekil 3.3. Değerlendirmesi yapılan Zonguldak şehir merkezi ve çevresini kapsayan L1 seviyesindeki GÖKTÜRK-2 görüntüsü (Mayıs 2014).....	32
Şekil 3.4. GNSS gözlemleri ile elde edilen YKN'nin doğruluk histogramı.....	33
Şekil 3.5. GÖKTÜRK-2 görüntüsü üzerinde YKN dağılımı.	34
Şekil 3.6. Örnek bir YKN seçimi (sol: görüntü üzerinde seçim, sağ: arazide GNSS gözlemi).....	34
Şekil 3.7. Karşılaştırmada kullanılan SYM'ler.	35
Şekil 3.8. Ortogörüntü üretiminde kullanılan SPOT 5 SYM.	36
Şekil 3.9. Benzerlik dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 136.09$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).....	38
Şekil 3.10. Afin (1° polinom) dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 3.45$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).....	38
Şekil 3.11. 2° polinom dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 2.52$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).....	39
Şekil 3.12. 3° polinom dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 2.41$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).....	39
Şekil 3.13. 4° polinom dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 2.24$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).....	40

ŞEKİLLER DİZİNİ (devam ediyor)

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Şekil 3.14. 5° polinom dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 2.10$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).....	40
Şekil 3.15. Afin izdüşüm (Model 1) dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 2.77$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).....	41
Şekil 3.16. Afin izdüşüm (Model 2) dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 1.83$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).....	41
Şekil 3.17. Afin izdüşüm (Model 3) dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 2.60$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).....	42
Şekil 3.18. Projektif dönüşüme ait hata vektörleri nün düzeltme vektörleri ($m_0 = \pm 3.33$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).	42
Şekil 3.19. DLT dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 2.58$ piksel, +: uyuşumsuz nokta)..	43
Şekil 3.20. Hata vektörlerinin rüzgar gülü diyagramı ile gösterimi.....	44
Şekil 3.21. Afin izdüşüm (Model 1) yöntemiyle üretilen ortogörüntü.....	45
Şekil 3.22. Benzerlik dönüşümüne göre soncul eş-doğruluk eğrileri ve YKN'lerin ortogörüntü-GNSS farkları.....	47
Şekil 3. 23. Afin dönüşüm yöntemine göre soncul eş-doğruluk eğrileri ve YKN'lerin ortogörüntü-GNSS farkları.....	49
Şekil 3.24. Afin izdüşüm (Model 1) dönüşümüne göre göre soncul eş-doğruluk eğrileri ve YKN'lerin ortogörüntü-GNSS farkları.	49
Şekil 3.25. Afin izdüşüm (Model 3) yöntemine göre soncul eş-doğruluk eğrileri ve YKN'lerin ortogörüntü-GNSS farkları.....	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

<u>No</u>	<u>Sayfa</u>
Çizelge 2.1. 1-5. derece polinomlar için A ve B katsayılar matrisleri.....	23
Çizelge 3.1. GÖKTÜRK-2 uydusu teknik özellikleri.....	31
Çizelge 3.2. Kullanılan ve karşılaştırılan SYM'lerin özellikleri.....	36
Çizelge 3.3. Dönüşüm sonucu elde edilen $\pm m_0$ değerleri.....	37
Çizelge 3.4. Ortogörüntü doğruluğunun hesaplanması.....	45
Çizelge 3.5. Benzerlik dönüşüm yöntemiyle üretilen ortogörüntü - GNSS koordinat farkı ve soncul doğruluk değerleri.....	46
Çizelge 3.6. Afin dönüşüm yöntemiyle üretilen ortogörüntü - GNSS koordinat farkı ve soncul doğruluk.....	48
Çizelge 3.7. Afin iz düşüm (Model 1) dönüşüm yöntemiyle üretilen ortogörüntü - GNSS koordinat farkı ve soncul doğruluk.....	50
Çizelge 3.8. Afin iz düşüm (Model 3) dönüşüm yöntemiyle üretilen ortogörüntü - GNSS koordinat farkı ve soncul doğruluk.....	51



SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

X, Y, Z	: Yer kontrol noktasının nesne (yer) koordinatları
X_0, Y_0, Z_0	: İki koordinat sistemi arasındaki öteleme
w, φ, κ	: Dönme açıları
s	: Ölçek
H	: Uydu yüksekliği
α	: Açıklık açısı
r, c	: Yer kontrol noktasının görüntü (satır, sütun) koordinatları
r_0, c_0	: Görüntü koordinatlarının öteleme değeri
a, b, c, d	: Dönüşüm katsayıları
i	: YKN için altindis
m	: Polinom derecesi
n_k	: Dönüşüm katsayı sayısı
n	: Yer kontrol noktası sayısı
n (altindis)	: Normalleştirme (örn: r_n : normalleştirilmiş satır koordinatı)
g, j, k	: Polinom dereceleri için artan indis.
F	: Dönüşüm modeli (fonksiyonel model)
P	: Dönüşüm katsayısı
l	: Ölçü
v	: Ölçülere getirilecek düzeltme
l_0	: Yaklaşık değer
\underline{A}	: Dengeleme bilinmeyenlerinin katsayılar (Jakobiyan) matrisi
dP	: Dengeleme bilinmeyeni
m_0	: Karesel ortalama hata
f	: Serbestlik derecesi veya F 'nin alt fonksiyonu
T_n	: Baarda test büyüklüğü
T_p	: Pope test büyüklüğü
T	: t-student test büyüklüğü

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ (devam ediyor)

Q_{vv}	: Düzeltmelerin ters ağırlık matrisi
c	: Uyuşumsuz ölçü testinde ölçü çifti için eşik değer
K	: Varyans-kovaryans matrisi
B	: Nesne koordinatlarına oluşan Jakobiyan matris

KISALTMALAR

ABD	: Amerika Birleşik Devletleri
BDN	: Bağımsız Denetim Noktası
CCD	: Charge Coupled Device
CNES	: Centre National d'Études Spatiales
DLT	: Direct Linear Transformation
EKK	: En Küçük Kareler
ERTS	: Earth Resources Technology Satellite
GNSS	: Global Navigation Satellite System
HRG	: High Geometric Resolution
ISPRS	: International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
NASA	: National Aeronautics and Space Administration
RFM	: Rational Functional Model
RPC	: Rational Polynomial Coefficients
RTK	: Real Time Kinematic
SSCB	: Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği
SYM	: Sayısal Yükseklik Modeli
TUSAŞ	: Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ
YKN	: Yer Kontrol Noktası
YÖA	: Yer Örnekleme Aralığı

BÖLÜM 1

GİRİŞ VE AMAÇ

1.1. GİRİŞ

Günümüzde, meteorolojik tahminlerden çevresel gözlemlere, kent planlamasından araç takibi uygulamalarına dek sayısız alanda uzaktan algılama ile elde edilen görüntü ve veriler kullanılmaktadır. Bu kullanımın çeşidi ve oranı gün geçtikçe artmaktadır. Uzaktan algılama ile yapılan çalışmalar artık sadece belli kurumların özel amaçlı uygulamaları için değil sıradan vatandaşın günlük hayatında rahatlıkla kullandığı bir yapıya kavuşmuştur.

Uzaktan algılama, genel anlamda herhangi bir cisim ile temas kurmadan onun hakkında bilgi elde etmek anlamına gelmektedir. Dolayısıyla görme ve işitmeyi uzaktan algılamaya birer örnek olarak verebiliriz (Maktav ve Sunar 1991). Uzaktan algılama için birbirine benzer pek çok bilimsel tanım yapılmaktadır. En önemli uluslararası uzaktan algılama örgütlerinden birisi olan ISPRS (International Society for Photogrammetry and Remote Sensing) tarafından yapılan tanım: uzaktan algılama, yerde, havada veya uzayda bulunan algılayıcılardan, gezegenlerin ve Dünyanın diğer fiziksel verileri ile birlikte görüntülerinin elde edilmesi, işlenmesi ve incelenmesi bilim ve teknolojisidir (Chen vd., 2016). Dolayısıyla uzaktan algılamada sadece yeryüzü değil diğer gezegenler de incelenmektedir.

Uzaktan algılamanın geçmişine göz atıldığında görülmektedir ki ABD (Amerika Birleşik Devletleri) önderliğindeki Batı Bloğu ülkeleri ile SSCB (Sovyet Sosyalist Cumhuriyetler Birliği) etkisindeki Doğu Bloğu ülkeleri arasındaki Soğuk Savaş uzaya taşınmış ve 1950'li yıllardan itibaren bu alanda sıkı bir rekabet söz konusu olmuştur. SSCB, 4 Ekim 1957'de ilk yapay uydu Sputnik-1'i (55 cm çapında, 83 kg ağırlığında ve 4 antenli) uzaya göndererek bu alanda tarihi bir ilke imza atmıştır (Cracknell ve Varotsos 2007). Esasen uzay yarışının arkasında yatan gizil gerekçelerden birisi istihbarat amaçlı görüntü toplamak idi. 23 Temmuz 1972 tarihinde gelindiğinde NASA (National Aeronautics and Space Administration-ABD)

ERTS-1 (Earth Resources Technology Satellite) uydusu ile sivil uzaktan algılama çalışmalarını başlatmış; böylece çok disiplinli araştırma yapmak mümkün hale gelmiştir (Reeves 1975). Sonradan adı Landsat olarak değiştirilen bu uydu serisi sekizinci uydusu ve açık erişimli veriler sağlaması ile uzaktan algılama çalışmalarında son derece önemli bir yer edinmiştir. 22 Şubat 1986 tarihinde CNES (Centre National d'Études Spatiales-Fransa) tarafından uzaya fırlatılan SPOT-1 ile konuma bağlı bilgi üretimi mümkün hale gelmiştir (Trinder vd., 1988). Ticari bir uydu olan IKONOS, 24 Eylül 1999 yılında Space Imaging (ABD) firması tarafından geliştirilip fırlatılarak 1 m YÖA (Yer Örnekleme Aralığı) ile yüksek çözünürlüklü görüntü devrini başlatmıştır. Günümüzde WorldView-4 uydusu ile pankromatik bantta 30 cm YÖA'ya ulaşılmıştır. Burada konuma bağlı bilgi üretimi bakımından önemli aşamaları anlatılan uzaktan algılamanın tarihçesi hakkında Reeves (1975) ve Sunar vd. (2011) ile uydular hakkındaki derlemeye Belward ve Skøien (2015) aracılığıyla ulaşılabilir.

Bu gelişmeler ışığında günümüzde konuma bağlı bilgiye SYM (Sayısal Yükseklik Modeli) veya 3B (3 boyutlu) görüş gibi ortamlarla derinlik boyutu ile ulaşmak mümkün olduğu halde, 2B (2 boyutlu) konum bilgisini sunan ortogörüntü veya bunlardan üretilen vektör haritalar da yaygın olarak kullanılmaktadır. Zira 3B veri kullanımı her zaman mümkün olamamaktadır. Bu tez kapsamında üretilen ve doğruluğu araştırılan ortogörüntü, görüntü alım sırasında algılama ve taşıyıcı sistem geometrisinden kaynaklanan görüntülerdeki eğiklik ve dönüklük gibi hataların giderilmesi ve yükseklik farklarından kaynaklanan yatay kayıklığın da en az düzeye indirilmesi ile elde edilen görüntü veya görüntü mozağına denilmektedir (Ottavianelli ve Vescovi 2018).

Ortogörüntü üretmek için uygun bir dönüşüm modeline, hem görüntüde hem de nesne uzayında bulunan ortak noktalara (YKN: Yer Kontrol Noktası) ve engebeli araziler için SYM'ne ihtiyaç vardır. Dolayısıyla bir ortogörüntünün konum doğruluğu, kullanılan dönüşüm yöntemi, YKN sayısı, dağılımı ve doğruluğu ile SYM'nin çözünürlüğüne ve doğruluğuna bağlı olacaktır.

1.2. AMAÇ

Bu tezin amacı, algılayıcıdan bağımsız dönüşüm modelleri ile ortogörüntülerin konum doğruluğunun belirlenmesidir. Buradaki yaklaşım, hata yayılım yasası yardımıyla dönüşüm yönteminin, YKN'lerinin ve SYM doğruluğunun üretilen ortogörüntünün doğruluğuna olan ortak etkisinin belirlenmesidir. Bu konuda yapılan ilk çalışma, iki boyutlu afin dönüşüm

yöntemi ile BDN (Bağımsız Denetim Noktası) gereksinimini ortadan kaldırılmasına yönelik bir çalışmadır ve IRS-1D, Landsat TM ve SPOT HRV pankromatik görüntüleri için gerçekleştirilmiştir (Sertel vd. 2007). Bu çalışmayı, daha yüksek çözünürlüklü görüntüler olan IKONOS, QuickBird ve OrbView-3 pankromatik görüntüleri için nesne uzayının üçüncü boyutunu da dikkate alan afin izdüşüm ve RFM yöntemi kullanılarak yapılan çalışmalar izlemiştir (Topan 2013, Topan ve Kutoglu 2009). Günümüzün en yüksek geometrik çözünürlüklü görüntülerinden Pléiades 1A pankromatik görüntüleri için de RFM yöntemi kullanılarak YKN ve SYM doğruluklarının etkisi araştırılmıştır (Topan 2014, Topan vd. 2014, Topan vd. 2013). Ancak tüm bu çalışmalarda belirlenen ortogörüntü doğruluğu bir kestirimden ibarettir. Daha açık bir anlatımla, ortogörüntünün konum doğruluğu hesaplanmış ancak bir ortogörüntü üretilerek yaklaşımın doğrulaması yapılmamıştır. Hem çalışmaların bu eksikliğini kapatmak hem de diğer dönüşüm yöntemlerine de uyarlamak için bu çalışma aşağıdaki aşamalardan oluşmaktadır:

- a) Benzerlik, polinom, afin izdüşüm, projektif ve DLT (Direct Linear Transformation – Doğrudan Doğrusal Dönüşüm) yöntemleri kullanılarak,
- b) GNSS (Global Navigation Satellite System) ile nesne koordinatları belirlenen YKN'ları yardımıyla dönüşüm işlemi gerçekleştirilmiştir.
- c) SPOT-5 pankromatik görüntülerinden (5 m YÖA) üretilen SYM'nin doğruluk hesabı, Pléiades 1A pankromatik görüntülerinden (50 cm YÖA) üretilen SYM ile karşılaştırılarak gerçekleştirilmiştir.
- d) SPOT-5 SYM kullanılarak üretilen ortogörüntünün soncul konum doğruluğu hesaplanmıştır.
- e) YKN'ları ile belirlenen dönüşüm katsayıları ve SYM ile ortogörüntü üretilmiştir.
- f) Üretilen ortogörüntü üzerinden elde edilen yatay nesne koordinatları ile GNSS ile elde edilen koordinatlar karşılaştırılmış,
- g) Bu karşılaştırma ile elde edilen farkın d) maddesinde belirlenen doğruluk değeri ile uyuşup uyuşmadığı belirlenmiştir.

Tüm uygulama, MATLAB ortamında geliştirilen, GeoEtrim yazılım grubunun bir alt yazılımı olan ve tez kapsamında değişiklik ve eklemeler yapılan GeoTrans alt yazılımı ile gerçekleştirilmiştir.



BÖLÜM 2

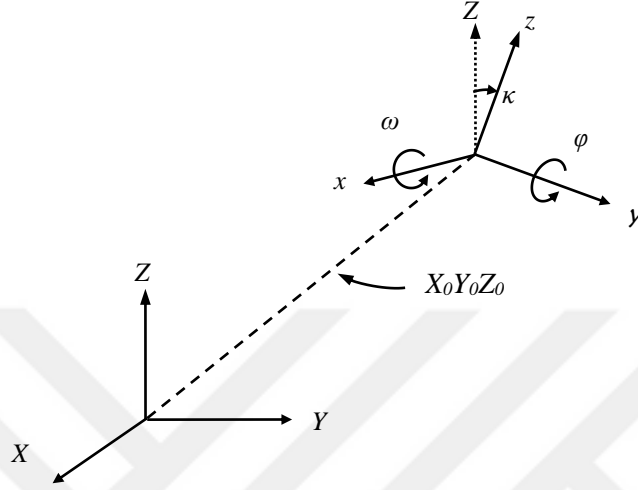
GÖRÜNTÜ KOORDİNATLANDIRMA

Uzaktan algılama ve fotogrametride temel veri olan görüntü, elektromanyetik spektrumun herhangi bir bandının kaydıdır. Bu kayıt önceleri fotoğraf filmi üzerine yapılırken, teknolojik gelişmelere koşut olarak günümüzde tamamen sayısal olarak yapılmaktadır. Sinyal işleme adım(lar)ını takiben elde edilen ham sayısal görüntüler satır ve sütunlardan oluşan kare veya dikdörtgen bir matris yapısındadır. Matrisin her bir elemanı (diğer bir ifadeyle görüntünün her bir pikseli) satır, sütun ve tamsayıdan oluşan bir gri değere sahiptir. Gri değerlerin sayısı 2^n (n : bit sayısı) ve alabileceği tamsayı değerlerin aralığı $[0, 2^{n-1}]$ şeklindedir. Konuma bağlı uygulamalarda, görüntülenen alandaki nesnelerin konumunun görüntü ve varsa ek bilgiler yardımıyla nesne (hedef) koordinat sisteminde elde edilmesi amaçlanmaktadır. Eğer nesne derinliğe sahipse yani üçüncü bir boyut varsa, iki boyutlu bir yapıya sahip olan tek bir görüntü yeterli olmamakta, bu nedenle farklı bir konumdan elde edilmiş ikinci bir görüntüye ihtiyaç duyulmaktadır. Görüntü koordinatlarından nesne koordinatlarının elde edilmesi, aynı nesnenin iki farklı sistemdeki koordinatlarının hesaplanmasını sağlayan ve genelde “koordinat dönüşümü” olarak adlandırılan bir işlemle gerçekleştirilmektedir. Ortogörüntü üretiminin ilk aşaması nesne koordinatlarının elde edilmesi olduğundan, öncelikle koordinat dönüşümü kavramından ve uzaktan algılama görüntüleri için kullanımından bahsetmek gerekmektedir.

2.1 KOORDİNAT DÖNÜŞÜMÜ

Yukarıda değinildiği gibi, koordinat dönüşümü, bir nesnenin iki koordinat sistemindeki karşılıklarının hesaplanması işlemidir. Bu işlem, en genel haliyle Şekil 2.1’de gösterildiği gibi 3B iki koordinat sistemi (X, Y, Z ve x, y, z) arasındaki üç öteleme (X_0, Y_0, Z_0), üç eksen etrafındaki dönme (ω, φ, κ) ve üç eksen yönünde ölçek (s_x, s_y, s_z) ile ifade edilir. Konuma bağlı uygulamalarda ölçek genellikle bir tane kabul edildiğinden toplam yedi dönüşüm ögesinin çözülmesi gerekir (Schofiel ve Breach, 2007). Eğer dönüşümü sayılayacak bu yedi öge bilinmiyorsa, her iki sistemde de karşılığı bilinen ortak noktalar yardımıyla hesaplanabilir.

Uzaktan algılama görüntülerinin koordinatlandırılmasında kullanılan üç tür dönüşüm yöntemi vardır. Bunlar i) Algılayıcıya bağımlı dönüşüm modelleri, ii) Algılayıcıdan bağımsız dönüşüm modelleri ve iii) Algılayıcıya yarı-bağımlı dönüşüm modelleri olarak adlandırılmaktadır. Bu tez kapsamında algılayıcıdan bağımsız dönüşüm modelleri konu edildiğinden, diğer iki yönteme göre bu kısım daha kapsamlı ele alınmıştır.



Şekil 2.1. 3B iki koordinat sistemi arası geometrik ilişki.

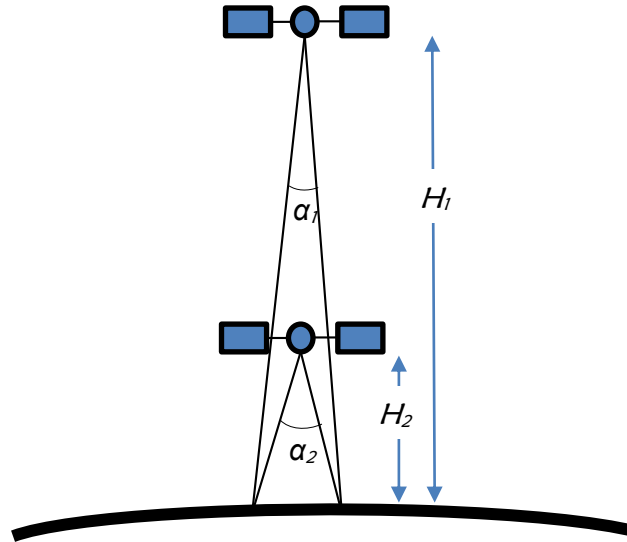
2.1.1 Algılayıcıya Bağımlı Dönüşüm Modelleri

Uzaktan algılamada görüntüleme sistemleri birbirlerine benzer özelliklere sahip olsalar da her sistemin kendine özgü bir görüntüleme geometrisi vardır. Bu görüntüleme geometrisini dikkate alan modellere “algılayıcıya bağımlı dönüşüm modelleri” adı verilmektedir. Bu modeller algılayıcıya özgü olduğundan birbirinden farklılık göstermektedir. Görüntü ve nesne koordinat sistemleri arasındaki dönüşüm modelinin eksiksiz olarak kurulabilmesi için bu iki koordinat sistemi arasında kalan diğer koordinat sistemlerinin ve aralarındaki dönüşümün belirlenmesi gerekmektedir. Elektrooptik görüntüleme sistemleri için bu koordinat sistemleri sırasıyla görüntü, satır, kamera, uydu, yörünge, inersiyal (eylemsiz) ve nesne (yer) koordinat sistemidir (Weser vd., 2008). Bu dönüşümü sağlayan tüm öğelerin yaklaşık değerlerinin olabildiğince yüksek hassasiyet ve doğrulukla belirlenmesi elde edilecek konum doğruluğunu da arttıracaktır. Örneğin SPOT-5’e ait model yardımıyla dönüşüm öğelerinin ham değerleriyle HRG düzey 1A pankromatik görüntüleri için elde edilen 3B konum doğruluğu ± 750 m (± 150 piksel) iken bu değer Pléiades 1A temel (primary) pankromatik görüntüleri için ± 8.5 m (± 17 piksel) düzeyindedir. Her iki uydunun da CNES tarafından geliştirilmiş olması, dönüşüm öğelerinin daha yüksek hassasiyet ve doğrulukla elde edilmesi yönünde deneyim kazanıldığının göstergesi sayılabilir.

Algılayıcıya bağımlı modeller de kendi aralarında konum-dönme ve yörünge-durum şeklinde iki alt gruba ayrılmaktadır (Topan ve Maktav 2014). Ayrıca algılayıcının geometrik özelliklerine bağlı olarak genel modelde değişiklikler yapılabilmekte ve böylece algılayıcıya özgü modeller ortaya çıkabilmektedir. Bununla birlikte algılayıcıya bağımlı genel modeller de geliştirilmiştir (Michalis 2005, Poli 2005).

2.1.2 Algılayıcıdan Bağımsız Dönüşüm Modelleri

İkinci tür dönüşüm modelleri ise algılayıcı geometrisini dikkate almayan yöntemlerdir. Bu modellerin genel özelliği, algılayıcı geometrisine bağlı olmadıklarından görüntü ve nesne koordinat sistemleri arasındaki dönüşümü doğrudan yani aradaki koordinat sistemlerine gereksinim duymadan gerçekleştirmeleridir. Dönüşümü sağlayan ögeler ortak noktalar yardımıyla hesaplandıklarından bu noktaların doğruluğu, sayısı ve dağılımına doğrudan bağlıdır. Benzerlik, polinom, afin izdüşüm, projektif, DLT ve algılayıcıdan bağımsız RFM gibi modeller bu tür dönüşümlere örnek olarak verilebilir. Bunlardan benzerlik, polinom ve afin izdüşüm dönüşümü, optik görüntülemenin temel ilkesi olan merkezi izdüşümden ziyade dik izdüşüm için kullanılan yöntemlerdir. Uzaktan algılama uygulamalarında bu modellerin kullanılmasının temel nedeni, uydu görüntülerinin kapladıkları alana oranla çok dar bir açıyla görüntü almasıdır (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Dar anlık görüş alanı durumunda izdüşüm ışınları.

Bu durumda merkezi izdüşüm ile H_2 yüksekliğinden alınan görüntü için birbirine yaklaşan izdüşüm doğruları H_1 yüksekliğinden alınan görüntü için paralel kabul edilebilir (Okamoto,

1992). Şekil 2.2’de, α_1 açısının α_2 açısına göre daha dar olduğu görülebilir. Yukarıda adı geçen ve bu tezde konu edilen algılayıcıdan bağımsız modeller aşağıda ayrı başlıklar altında anlatılmaktadır.

2.1.2.1 Benzerlik Dönüşümü

Benzerlik dönüşümü, 2B koordinat sistemleri arasındaki dönüşümü sağlamaktadır. Bu koordinat sistemlerinin eksenleri birbirine diktir ve iki koordinat sistemi arasındaki dönüşümde tek bir açı ve ölçek söz konusudur. Bu durumda iki koordinat sistemi arasındaki dönüşüm:

$$\begin{bmatrix} r_i \\ c_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} + s \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_i \\ Y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{00} + a_{10}X_i - a_{01}Y_i \\ b_{00} + a_{01}X_i + a_{10}Y_i \end{bmatrix} \quad (2.1 \text{ a, b})$$

şeklinde yazılabilir. Burada r , c sırasıyla görüntünün satır ve sütun koordinatını, X , Y nesne koordinatını ve a , b katsayıları ifade etmektedir. Dört ögeye sahip benzerlik dönüşümünün çözümü için her iki koordinat sisteminde, koordinatları bilinen en az iki YKN’ye ihtiyaç vardır. Benzerlik dönüşümü şekil koruyan bir yöntemdir. Yani geometrik bir şekle sahip alanlar sabit oranda değişir ve dönüşüm sonrasındaki şekil esas şekline benzerdir. Bunun sebebi dönüşüm öncesi ve sonrası kenarlar arasında sabit bir ölçek katsayısının ve açının bulunmasıdır. Benzerlik dönüşümde açı değerleri korunur (Kurt, 2002). Bu durum, dönüşümde şeklin korunumunu zorlayıcı bir özellik olduğundan, uydu görüntüleri için benzerlik dönüşümü kullanılarak elde edilen hata değeri diğer yöntemlere göre daha yüksek olmaktadır (Topan vd., 2016a).

2.1.2.2 Afin Dönüşüm

Afin dönüşümde, 2B iki koordinat sistemi arasındaki dönüşüm iki öteleme, iki açı ve bir ölçek yardımıyla gerçekleştirilir. Bu nedenle afin dönüşüm, her iki eksen için farklı ölçek ve dönme açısına sahiptir. Böylece, görüntülerde satır ve sütun yönünde farklı geometrik bozulmaları dikkate aldığı için afin dönüşüm uzaktan algılama ve fotogrametride kullanılabilir (Turgut ve İnal, 2003). Afin dönüşümünde bir doğru dönüşüm sonrası, yine bir doğrudur. Dolayısıyla her iki koordinat sistemindeki iki doğru parçasının oranı ve paralellikleri dönüşüm sonrası da aynı kalır. Afin dönüşümün matematik modeli:

$$\begin{bmatrix} r_i \\ c_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} s_1 & 0 \\ 0 & s_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos w & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos w \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{00} + a_{10}X_i + a_{01}Y_i \\ b_{00} + b_{10}X_i + b_{01}Y_i \end{bmatrix} \quad (2.2 \text{ a, b})$$

şeklindedir. Burada s_1 ve s_2 iki eksen yönündeki ölçeği, w ve φ ise iki eksen etrafındaki farklı dönme açılarını temsil etmektedir. Toplam altı ögenin çözümü için en az üç YKN'ye ihtiyaç vardır.

2.1.2.3 Polinom Dönüşümü

Polinom dönüşümü de 2B dönüşüm için kullanılabilen bir dönüşümdür (Zoej, 1997). Polinom dönüşümünün genel bağıntısı:

$$\begin{aligned} r_i &= \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^m a_{jk} X_i^j Y_i^k \\ c_i &= \sum_{j=0}^m \sum_{k=0}^m b_{jk} X_i^j Y_i^k \end{aligned} \quad (2.3 \text{ a, b})$$

Burada $j + k \leq m$ olması gerektiği ve polinom dönüşümünün derecesinin (m) kuramsal olarak sonsuz bir değer olabileceği hatırlatılmalıdır. Ancak bu tez kapsamında bu değer 5 olarak alınmış ve bu durumda oluşan açılım aşağıda gösterilmiştir.

$$\begin{aligned} r_i &= a_{00} & m &= 0 \\ &+ a_{10}X_i + a_{01}Y_i & m &= 1 \\ &+ a_{11}X_iY_i + a_{20}X_i^2 + a_{02}Y_i^2 & m &= 2 \\ &+ a_{21}X_i^2Y_i + a_{12}X_iY_i^2 + a_{30}X_i^3 + a_{03}Y_i^3 & m &= 3 \\ &+ a_{31}X_i^3Y_i + a_{13}X_iY_i^3 + a_{40}X_i^4 + a_{04}Y_i^4 + a_{22}X_i^2Y_i^2 & m &= 4 \\ &+ a_{32}X_i^3Y_i^2 + a_{23}X_i^2Y_i^3 + a_{50}X_i^5 + a_{05}Y_i^5 + a_{41}X_i^4Y_i + a_{14}X_iY_i^4 & m &= 5 \\ &+ \dots & m &> 5 \end{aligned} \quad (2.4 \text{ a, b})$$

$$\begin{aligned}
c_i &= b_{00} & m &= 0 \\
&+ b_{10}X_i + b_{01}Y_i & m &= 1 \\
&+ b_{11}X_iY_i + b_{20}X_i^2 + b_{02}Y_i^2 & m &= 2 \\
&+ b_{21}X_i^2Y_i + b_{12}X_iY_i^2 + b_{30}X_i^3 + b_{03}Y_i^3 & m &= 3 \\
&+ b_{31}X_i^3Y_i + b_{13}X_iY_i^3 + b_{40}X_i^4 + b_{04}Y_i^4 + b_{22}X_i^2Y_i^2 & m &= 4 \\
&+ b_{32}X_i^3Y_i^2 + b_{23}X_i^2Y_i^3 + b_{50}X_i^5 + b_{05}Y_i^5 + b_{41}X_i^4Y_i + b_{14}X_iY_i^4 & m &= 5 \\
&+ \dots & m &> 5
\end{aligned} \tag{2.4 a, b}$$

Her bir katsayının görüntünün satır ve sütun (r ve c) koordinatlarına olan geometrik etkisi Petrie ve Kennie (1990) tarafından tanımlanmıştır (Zoej'den 1997).

Afin dönüşüm aslında birinci derece bir polinom dönüşümü, benzerlik dönüşümü de afin dönüşümün özel bir halidir (tek bir ölçek ve dönme açısı kullanımı durumudur). İkinci ve daha yüksek dereceden dönüşümler, görüntüdeki doğrusal olmayan bozulmaların düzeltilmesi için kullanılmaktadır. Polinom derecesine göre katsayıların toplam adedi $n_k = (m + 1)(m + 2)$ olacağından, gerekli YKN sayısı en az $n_{YKN} = n_k/2$ adet olacaktır.

2.1.2.4 Afin İzdüşüm Dönüşümü

3B nesne uzayının 2B görüntü uzayına izdüşümü afin izdüşüm yöntemiyle modellenebilir (Yamakawa 2004). Bu dönüşüme yükseklik düzeltilmesi getiren afin dönüşüm adı da verilmektedir (Büyüksalih vd. 2003). Yukarıda anlatılan yöntemlerden farklı olarak, YKN'lerin yükseklik değeri de dikkate alınarak yüksek nesnelerin görüntü uzayındaki kayıklığı bu dönüşüm ile modellenmeye çalışılmaktadır. Bu dönüşümün matematik modeli aşağıdaki gibidir.

$$\begin{aligned}
r_i &= a_{000} + a_{100}X_i + a_{010}Y_i + a_{001}Z_i \\
c_i &= b_{000} + b_{100}X_i + b_{010}Y_i + b_{001}Z_i
\end{aligned} \tag{2.5 a, b}$$

Bu model, büyük bakış doğrultusu ve yavaşlatma etkisi ile görüntülemekten kaynaklanan geometrik bozulmaları gidermek için ek katsayılar kullanılarak QuickBird OrthoReady Standard ve IKONOS Geo görüntüleri için aşağıdaki gibi uyarlanmıştır (Jacobsen 2003):

$$\begin{aligned}
r_i &= a_{000} + a_{100}X_i + a_{010}Y_i + a_{001}Z_i + a_{101}X_iZ_i + a_{011}Y_iZ_i \\
c_i &= b_{000} + b_{100}X_i + b_{010}Y_i + b_{001}Z_i + b_{101}X_iZ_i + b_{011}Y_iZ_i
\end{aligned}
\tag{2.6 a, b}$$

Ancak OrbView-3 görüntülerinin birbirine paralel olmayan kenarlara sahip olmasından kaynaklanan geometrik etkiyi gidermek için iki ek katsayı daha eklenerek aşağıdaki gibi yazılabilir (Büyüksalih 2006):

$$\begin{aligned}
r_i &= a_{000} + a_{100}X_i + a_{010}Y_i + a_{001}Z_i + a_{101}X_iZ_i + a_{011}Y_iZ_i + a_{200}X_i^2 \\
c_i &= b_{000} + b_{100}X_i + b_{010}Y_i + b_{001}Z_i + b_{101}X_iZ_i + b_{011}Y_iZ_i + b_{110}X_iY_i
\end{aligned}
\tag{2.7 a, b}$$

2.1.2.5 Projektif Dönüşüm

Projektif dönüşüm, fotogrametride en genel dönüşüm modelini içermektedir. İzdüşüm düzlemleri birbirlerine paralel olabilir, keşişebilir veya merkezi bir izdüşüm söz konusu olabilir. Bu durumlarda ve izdüşüm sistemleri farklı olan koordinat sistemlerinin dönüşümlerinde kullanılmaktadır (Yaşayan 1978). 2B afin dönüşüm, projektif dönüşümün özel bir durumudur. Projektif dönüşüm eşitliği

$$\begin{aligned}
r_i &= \frac{a_{00} + a_{10} \cdot X_i + a_{01} \cdot Y_i}{1 + c_{10} \cdot X_i + c_{01} \cdot Y_i} \\
c_i &= \frac{b_{00} + b_{10} \cdot X_i + b_{01} \cdot Y_i}{1 + c_{10} \cdot X_i + c_{01} \cdot Y_i}
\end{aligned}
\tag{2.8 a, b}$$

şeklinde. Burada 2B koordinat sistemleri arasındaki bir dönüşüm söz konusu olduğundan, 3B nesne uzayından 2B görüntü uzayına geçiş, projektif dönüşüme benzer bir şekilde DLT yöntemiyle gerçekleştirilmektedir.

2.1.2.6 DLT

DLT yöntemi, Abdel-Aziz ve Karara (1971) tarafından geliştirilen ve doğrudaşlık (kolinearite) eşitliklerinin yeniden düzenlenerek, iç ve dış yönelme değerlerine ihtiyaç duymadan nesne ve görüntü koordinat sistemleri arasındaki dönüşümü sağlayan bir dönüşüm modelidir ve bağıntısı aşağıdaki gibidir:

$$\begin{aligned}
f_1 &= a_{000} + a_{100} \cdot X_i + a_{010} \cdot Y_i + a_{001} \cdot Z_i \\
f_2 &= b_{000} + b_{100} \cdot X_i + b_{010} \cdot Y_i + b_{001} \cdot Z_i \\
f_3 &= 1 + c_{100} \cdot X_i + c_{010} \cdot Y_i + c_{001} \cdot Z_i \\
r_i &= \frac{f_1}{f_3} \quad c_i = \frac{f_2}{f_3}
\end{aligned} \tag{2.9}$$

Bu model, iç ve dış yöneltme elemanlarına gereksinim duymadan doğrudanlık ilkesi ile dönüşüm yapmaya olanak sağladığından özellikle bilgisayarla görme işlemlerinde çokça tercih edilmektedir.

2.1.2.7 RFM

RFM, 2000’li yıllara kadar özellikle ABD tarafından kullanılan ve genel bir dönüşüm modeli olarak önerilen bir dönüşüm yöntemidir (Dowman ve Dolloff 2000, OGC 1999). Bu model sayesinde, görüntünün alındığı andaki uydu yörünge bilgileri yerine RFM’lere ait katsayı değerleri tedarikçi firmalar tarafından üretilerek kullanıcılara dağıtılmaktadır. Ayrıca katsayı değerleri YKN’ları kullanılarak da üretilmektedir. Bu katsayıların hesaplanmasında YKN’larına ait yükseklik bilgileri de işleme katılmaktadır (Topan 2004). Ancak YKN’ları ile elde edilen doğruluğun, algılayıcıdan bağımlı yöntemlere oranla daha düşük doğrulukta olacağı ortaya konulmuştur (Hu ve Tao 2002, Jacobsen 2006). Günümüzde RFM standart bir dönüşüm modelidir. Bu sayede kullanıcılar yarı algılayıcıdan bağımsız bir matematik model ile dönüşüm yapmaktadır. RFM’nin genel bağıntısı aşağıdaki gibidir:

$$f = \sum_{g=0}^{m_g} \sum_{j=0}^{m_j} \sum_{k=0}^{m_k} P_{gjk} X_i^g Y_i^j Z_i^k \tag{2.10}$$

$$\begin{aligned}
f_1 &= a_{000} + a_{100}X_{n_i} + a_{010}Y_{n_i} + a_{001}Z_{n_i} + a_{110}X_{n_i}Y_{n_i} + a_{011}Y_{n_i}Z_{n_i} \\
&\quad + a_{101}X_{n_i}Z_{n_i} + a_{200}X_{n_i}^2 + a_{020}Y_{n_i}^2 + a_{002}Z_{n_i}^2 + a_{111}X_{n_i}Y_{n_i}Z_{n_i} \\
&\quad + a_{030}Y_{n_i}^3 + a_{210}X_{n_i}^2Y_{n_i} + a_{012}Y_{n_i}Z_{n_i}^2 + a_{120}X_{n_i}Y_{n_i}^2 + a_{300}X_{n_i}^3 \\
&\quad + a_{102}X_{n_i}Z_{n_i}^2 + a_{021}Y_{n_i}^2Z_{n_i} + a_{201}X_{n_i}^2Z_{n_i} + a_{003}Z_{n_i}^3
\end{aligned} \tag{2.11}$$

$$r_{n_i} = \frac{f_1}{f_2}, \quad c_{n_i} = \frac{f_3}{f_4} \tag{2.12}$$

$$r_n = (r - r_0)/s_r, \quad c_n = (c - c_0)/s_c \quad (2.13)$$

$$X_n = (X - X_0)/s_X, \quad Y_n = (Y - Y_0)/s_Y, \quad Z_n = (Z - Z_0)/s_Z \quad (2.14)$$

Burada altındisler olan ‘ n ’ normalleştirme yapıldığını, ‘ 0 ’ ötelemeyi; ‘ s ’ ölçeği ve ‘ a, b, c, d ’ ise katsayıları ifade eder. Buradaki derecelerin toplamı $(g + j + k) \leq 3$ koşulunu sağlamalıdır.

2.1.3 Yarı Algılayıcıdan Bağımsız Model

Esasen literatürde yarı algılayıcıdan bağımsız model kavramı sadece Topan (2012) tarafından kullanılmaktadır. Bu tür bir modele verilecek örnek ise algılayıcıdan bağımlı RFM’dir. Bu tür bir RFM’nin kullanılması durumunda RPC’ler (Rational Polynomial Coefficients) YKN yardımıyla değil, algılayıcıdan bağımlı dönüşüm yöntemi ile elde edilir. Haliyle görüntü ve nesne koordinat sistemleri arasındaki dönüşümü RFM gibi bir matematik modelle temsil eden bu katsayılar ne tam olarak algılayıcıdan bağımlıdır, ne de tamamen algılayıcıdan bağımsızdır. Bu nedenle yarı algılayıcıdan bağımsız model kullanımı yanlış olmayacaktır. Algılayıcıdan bağımsız RFM ile aynı bağıntıya sahip olan bu modelin katsayıları, görüntüleme sistemine ait ögeler yardımıyla hesaplandıklarından bazen düzenli bir etkiye neden olabilir. Bu tür etkilerin giderilmesi ve RPC’lerin YKN’ler yardımıyla dengeleme ile düzeltilmeleri sayesinde piksel altı düzeyde konum doğruluğuna ulaşmak mümkündür (Topan vd. 2016b).

2.2 DENGEME

Görüntülerden konuma bağlı bilgi üretiminde dengeleme işleminin gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Zira hem görüntünün kendisi hem de dönüşümü sağlayan katsayı veya ögelerin hatasız olmadığı bilinmektedir ve bunlara düzeltme getirilmelidir. Dengeleme işlemi sadece hataların düzeltilmesi için değil, aynı zamanda katsayı veya ögeye getirilecek düzeltmenin ne kadar anlamlı olup olmadığını, bunların sonuç doğruluk üzerindeki etkisini, aralarındaki korelasyonu, görüntünün ne derece bozunuma uğramış olduğu gibi özellikleri de ortaya koyabilmektedir (Topan ve Maktav 2014).

Yukarıda da değinildiği gibi görüntüleme sisteminden, taşıyıcı sistemin görüntüleme sırasında değişen konum ve dönüklüklerinden, Dünyanın küreselliği ve kendi etrafında dönmesinden kaynaklanan etkiler nedeniyle görüntüler bazı geometrik hatalarla yüklüdür. Bu hatalardan düzenli yapıda olanlar genellikle görüntü sağlayan kurumlar tarafından düzeltilerek kullanıcıya verilir. Fakat düzensiz (rastgele) hataların kullanıcılar tarafından düzeltilmesi gerekir. Burada çeşitli dengeleme yöntemlerini kullanmak mümkündür. Bu tez kapsamında dolaylı ölçüler dengelemesi ile çözüm yapmak mümkün olduğundan, bu yöntem ile dengeleme işlemi gerçekleştirilmiştir. Görüntü ve nesne koordinat sistemleri arası dönüşümün genel bağıntısı:

$$(r, c)_i = F\{P_j, (X, Y, Z)_i\} \quad (2.15)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada F dönüşüm modelini, P dönüşüm katsayısını veya ögesini. i ve j ise sırasıyla YKN ve katsayılarla veya ögelerle ilgili olan indisleri, üst çizgi ise dengeli koordinatları ifade etmektedir. Algılayıcıdan bağımlı bir modelde P iç ve dış yöneltme ögelerini, yarı algılayıcıdan bağımlı bir RFM'de RPC'leri veya algılayıcıdan bağımsız bir modelde YKN'ları yardımıyla belirlenen dönüşüm katsayılarını ifade etmektedir. YKN'larının nesne koordinatları hatasız (dengeli) kabul edilir ve 2 boyutlu bir dönüşüm modelinde Z koordinat bileşeni kullanılmaz. Dengeleme işleminde hem görüntü koordinatlarına (r, c) hem de katsayılarla veya ögelere (P) getirilecek düzeltme değerleri EKK (En Küçük Kareler) yöntemiyle dögüsel olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\bar{l} = \underline{l} + \underline{v} = \underline{l}|_0 + \underline{AdP} \quad (2.16)$$

$$\underline{dP} = (\underline{A}^T \underline{A})^{-1} \underline{A}^T (\underline{l} - \underline{l}|_0) \quad (2.17)$$

$$\bar{P} = \underline{P}|_0 + \underline{dP} \quad (2.18)$$

$$\underline{v} = \underline{l}|_0 - \underline{l} + \underline{A} \underline{dP} \quad (2.19)$$

$$m_0 = \pm \sqrt{\frac{\underline{v}^T \underline{v}}{f}} \quad (2.20)$$

Burada sıfır (0) katsayıların yaklaşık değerleri ile hesaplanan görüntü koordinatlarını, dP katsayılara getirilecek düzeltmeyi (dengeleme bilinmeyenleri), A dengeleme bilinmeyenlerinin katsayılar (Jakobiyen) matrisini, m_0 birim ağırlıklı ölçünün koh'unu, v ölçülere (görüntü koordinatlarına) getirilecek düzeltmeleri, f ise serbestlik derecesini ifade etmektedir ve $f = 2n - u$ (n : YKN sayısı, u : katsayı veya öge sayısı) şeklinde hesaplanır. Dengeleme sonucunda $[v^T v] = \min$ ve $m_0 \leq 1$ piksel olması beklenir (Leprince vd. 2007).

Algılayıcıdan bağımsız dönüşüm yöntemleri ile yapılan işlemlerde katsayıların yaklaşık değeri bilinmediğinden (2.18) bağıntısından ilk döngü için $\bar{P} = dP$ eşitliği yazılabilir. Ancak diğer döngülerde $P|_0 = \bar{P}$ kabulü yapılarak dengeleme hesabı tekrarlanır.

YKN'larının görüntü koordinatları ölçü olarak kabul edildiğinden, görüntü üzerinde YKN işaretlenirken yapılacak hatanın belirli bir sınırdan olması gerekir. Bu sınırı aşan durumlarda ölçü uyumsuz kabul edilir. Bu tez kapsamında, aşağıda ayrıntıları anlatılan uyumsuz ölçüler de belirlenmiştir.

2.3 UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN BELİRLENMESİ

Bir ölçünün beklenenden farkına ölçü hatası denilmektedir. Ölçü hataları, yapılan ölçümler sırasında doğal veya kullanıcı müdahalesiyle ölçüde oluşan istenilmeyen hatalardır. Bu hatalar, kaba, düzenli ve rastgele hatalar olmak üzere üç gruba ayrılmıştır. Ölçü sayısı artırılarak veya tekrarlı ölçümler yapılarak belirlenen kaba hatalar ölçü kümesinden çıkarılır. Düzenli hatalar ise matematik modellerle ifade edilir ve düzeltme denklemleri oluşturularak ölçüler düzeltilir. Rastgele hatalar ise dengelemeye konu olan ve uyumsuz ölçü kavramını ortaya çıkaran rastlantısal hatalardır (Demirel 2003).

Ölçüdeki rastgele hata, dengelemede varyans-kovaryans dağılımına göre oluşmakta ve stokastik modelin hatalı olmasına neden olmaktadır. Bu durumda ölçüdeki kaba hatayı tespit etmek veya hatalı ölçüyü, ölçü kümesinden çıkarmak ya da dengelemeyi yinelemek gerekmektedir. Bu nedenlere dayalı olarak kurulan hipotezlerin, istatistiksel test kuramlarının sınır değerini aşan düzeltme değerlerine uyumsuz ölçü denilmektedir. Bu uyumsuz ölçüyü tespit etmek için uyumsuz ölçü testlerinden yararlanılmaktadır (Yetkin vd. 2009).

2.3.1 Uyuşumsuz Ölçünün Tespiti

Ölçü kümesindeki uyuşumsuz ölçülerin tespitinde birçok yöntem kullanılmaktadır. Yaygın olarak kullanılan yöntemler, geleneksel test yöntemleri ve robust yöntemleridir (İnal ve Yetkin 2006). Doğası gereği ölçülerin kaba ve sistematik hata içermediği ve normal dağılımlı oldukları kabul edilmiştir. Fakat her ölçünün bir hata içerdiği bilinmektedir. Bu sebeple kaba hatalı ölçülerin tespiti için ölçü sayıları artırılmıştır. Rastlantısal hatanın tespiti içinse dolaylı ölçüler dengelemesi ve hipotez testi yaklaşımı kullanılmıştır. Bu yaklaşıma geleneksel (klasik) uyuşumsuz ölçü testi denilmektedir ve bu tür ölçüler

- Baarda yöntemi (Normal dağılım),
- Pope yöntemi (Tau testi) ve
- t-student yöntemi olarak üç yöntemle tespit edilir. Bu yöntemler ölçü kümesindeki sadece bir uyuşumsuz ölçüyü tespit etmektedir (İnal ve Yetkin 2006).

2.3.2 Klasik Uyuşumsuz Ölçü Tespit Yöntemleri

Uyuşumsuz ölçülerin tespit edilmesinde kullanılan pekçok test yöntemi geliştirilmiştir. Aşağıda test büyüklüğü hesapları sunulan üç yöntem arasında Baarda yöntemi normal dağılıma göre öncül ve soncul varyans değerini EKK yöntemi ile karşılaştırarak ölçü ağırlığının doğruluğunu test eder. Her bir ölçü için test büyüklükleri Baarda yöntemi için

$$T_{n_i} = \frac{|v_i|}{\sigma_o \sqrt{Q_{vv_{i,i}}}} \quad (2.21)$$

Pope yöntemi için

$$T_{p_i} = \frac{|v_i|}{s_o \sqrt{Q_{vv_{i,i}}}} \quad (2.22)$$

t-student yöntemi için

$$T_i = \frac{|v_i|}{s_o \sqrt{Q_{vv_{i,i}}}} \quad (2.23)$$

$$s_o = \frac{\underline{v}^T \underline{v} - \frac{v_i^2}{Q_{vv_{i,i}}}}{f - 1} \quad (2.24)$$

şeklinde hesaplanır. Burada T_n Baarda test büyüklüğünü, T_p Pope test büyüklüğünü, T t-student test büyüklüğünü, v_i ölçülerin düzeltmesini, σ_i ölçü düzeltmelerinin standart sapmasını ve Q_{vv} düzeltmelerin ters ağırlık matrisini, ifade eder σ_o öncül varyansı, s_o ise soncul varyansı ifade etmektedir (Demirel 2003).

Kaba hatalı ölçülerin düzeltme değerlerine katkısı doğal olarak daha büyüktür. Bu yüzden soncul varyans hesabında kullanılan $\underline{v}^T \underline{v}$ ifadesinde her bir ölçünün ayrı ayrı katkısı vardır ve en büyük katkıyı uyuşumsuz ölçü sağlar. Dolayısıyla bu ölçü dışındaki ölçülerden faydalanılarak hesaplanan değer daha az etkilenmiş olacaktır. Bu yüzden t testi Pope yönteminden daha iyi bir yöntemdir (İnal ve Yetkin 2006).

2.3.3 Ölçü Çiftlerin Uyuşumsuz Ölçü Tespiti

Yukarıda ifade edilen test büyüklükleri, her bir ölçü çiftinin sadece bir ölçüsünün uyumunu irdeler ve ölçü çiftlerindeki uyuşumsuz ölçü büyüklüğü sınır değere çok yakın olduğunda tek tek uyuşumsuz ölçü testi başarılı olmayabilir. Bu yüzden her iki testin yapılması uyuşumsuz ölçünün tespitinde daha başarılı bir sonuç verecektir (Kurt 2002). Dolayısıyla ölçü çiftlerinin uyuşumsuz ölçü tespitindeki önemi büyüktür. Ölçü çiftlerinin test büyüklüğü

$$m_{v_i} = m_o \sqrt{Q_{vv_{i,i}}} \quad (2.25)$$

$$T_{\zeta_i} = \sqrt{\frac{\underline{v}_r^T \underline{v}_r + \underline{v}_c^T \underline{v}_c}{2m_{v_i}^2}} \quad (2.26)$$

Burada T_{ζ} ölçü çifti için test büyüklüğü ve v_r ve v_c sırasıyla görüntünün satır ve sütun koordinatlarına getirilecek düzeltmeleri ifade etmektedir. Buradaki testin eşik değeri (c) (2.27)'daki bağıntı ile hesaplanır. Bu eşik değerinin büyüklüğünü aşan ölçüler uyumsuz kabul edilir. Bu işlem uyumsuz ölçü çifti kalmayınca kadar devam ettirilir.

$$c = \sqrt{(n-2) \left(1 - \frac{(n-3) \sqrt{0.05}}{\sqrt{n}} \right)} \quad (2.27)$$

Buradaki n YKN sayısını ifade eder. Dolayısıyla eşik değerinin büyüklüğü ölçü sayısına doğrudan bağlıdır.

2.4 ORTOGÖRÜNTÜNÜN KONUM DOĞRULUĞUNUN BELİRLENMESİ

Ortogörüntü, çeşitli etkilerle görüntüdeki geometrik bozulmaların giderildiği ve yatay nesne koordinatlarının elde edilebildiği görüntü temelli bir üründür. Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere koşut olarak ortogörüntü üretimi 1970'lerden beri üzerinde çalışılan bir konudur ve konuma bağlı güncel bilgi edinilmesinde temel kaynak olarak kullanılmaktadır (Keating ve Boston 1979, Mayr ve Heipke 1988). Kullanılacak ortogörüntülerin konum doğruluğunun belirlenmesi gerekmektedir ve bu doğruluğu etkileyen pekçok bileşen vardır. Chen ve Teo (2002) ile (Zhang vd. 2016) YKN doğruluğunun ve dönüşüm modelinin ortogörüntü doğruluğuna olan katkısını araştırmışlar; bazı araştırmacılar SYM doğruluğunun ve çözünürlüğünün sonuçlar üzerine olan etkisini irdelemişler (Aguilar vd. 2007, Chmiel vd 2004; Kulur vd. 2016, Lingua ve Mondino 2003, Passini ve Jacobsen 2004); bazı çalışmalarda ise üretilen ortogörüntü üzerinden toplanan noktalarla ya da otomatik eşleme ile ortogörüntü doğruluğu hesaplanmaya çalışılmıştır (Henrico vd. 2016, Hohle ve Potuckova 2005, Yang ve Zhu 2013). Ancak bu çalışmaların ortak özelliği, ortogörüntünün konum doğruluğunu öncül bir hesaplama bulmaktan ziyade, ortogörüntü üretildikten sonra bazı noktalarda (YKN veya BDN) ile konum doğruluğu hesabı yapılmıştır.

Bu tez kapsamında ise ortogörüntünün konum doğruluğu öncül olarak hesaplanıp, soncul bir test ile sonuçlar karşılaştırılmaktadır. Bu tez kapsamında üretilen ortogörüntülerin konum doğruluğunu etkileyen iki bileşen vardır. Bunlardan birincisi, YKN doğruluğuna, dağılımına ve sayısına bağlı olarak belirlenen dönüşüm katsayılarının doğruluğu, diğeri ise ortogörüntü üretiminde kullanılan SYM'nin doğruluğudur. Dolayısıyla bir ortogörüntünün doğruluğunun hesaplanması için öncelikle hata yayılım yasası yardımıyla (2.15) bağıntısının katsayılar (P) ve SYM'yi oluşturan nesne koordinatlarına (l_{gr}) göre kısmi türevi aşağıdaki gibi alınır:

$$\underline{\partial l} = \underline{A} \underline{dP} + \underline{B} \underline{dl}_{gr} \quad (2.28)$$

Burada \underline{B} , nesne koordinatlarına göre oluşturulan katsayılar (Jakobiyen) matristir. Bu bağıntı yardımıyla ölçülere ait soncul varyans-kovaryans değerleri

$$\underline{K}_{ll} = \underline{A} \underline{K}_{dPdP} \underline{A}^T + \underline{B} \underline{K}_{grgr} \underline{B}^T \quad (2.29)$$

ile hesaplanabilir. Burada dönüşüm katsayıları veya ögelerine ait varyans-kovaryans matrisi

$$\underline{K}_{dPdP} = m_0^2 (\underline{A} \underline{A}^T)^{-1} \quad (2.30)$$

şeklinde hesaplanır. \underline{K}_{grgr} ise SYM'nin koordinat bileşenlerine ait olan konum doğruluğu yardımıyla

$$\underline{K}_{grgr} = \begin{bmatrix} m_x^2 & & \\ & m_y^2 & \\ & & m_z^2 \end{bmatrix} \quad (2.31)$$

şeklinde hesaplanır. Bir noktaya ait konum doğruluğu değeri ise \underline{K}_{grgr} matrisinin köşegen elemanları yardımıyla

$$m_p = \pm \sqrt{m_r^2 + m_c^2} \quad (2.32)$$

şeklinde hesaplanır. \underline{A} ve \underline{B} katsayılar matrisleri ise (2.15) bağıntısında genel hali verilen her bir dönüşüm modelinin sırasıyla i) dönüşüm katsayıları veya ögeleri ile ii) nesne

koordinatlarına göre (2.28) bağıntısında olduğu gibi kısmi türevi alınarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

Benzerlik dönüşümü için (2.1 a, b) bağıntısı yardımıyla

$$\underline{A}_i = \begin{bmatrix} 1 & X_i & -Y_i & 0 \\ 0 & Y_i & X_i & 1 \end{bmatrix} \quad (2.33)$$

$$\underline{dP} = [a_{00} \ a_{10} \ a_{01} \ b_{00}]^T \quad (2.34)$$

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} a_{10} & -a_{01} \\ a_{01} & a_{10} \end{bmatrix} \quad (2.35)$$

$$\underline{dl}_{gr} = [X \ Y]^T \quad (2.36)$$

şeklinde yazılabilir. (2.36) bağıntısı benzerlik, afin, polinom ve projektif dönüşüm için aynıdır.

Afin dönüşümü için (2.2 a, b) bağıntısı yardımıyla

$$\underline{A}_i = \begin{bmatrix} 1 & X_i & Y_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & X_i & Y_i \end{bmatrix} \quad (2.37)$$

$$\underline{dP} = [a_{00} \ a_{10} \ a_{01} \ b_{00} \ b_{10} \ b_{01}]^T \quad (2.38)$$

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} a_{10} & a_{01} \\ b_{10} & b_{01} \end{bmatrix} \quad (2.39)$$

yazılabilir.

Polinom dönüşümü için ise m polinom katsayısını göstermek kaydıyla

$$\underline{A}_i^m = \begin{bmatrix} \frac{\partial^m}{\partial P_j^a} & [0]_{1 \times n_k} \\ [0]_{1 \times n_k} & \frac{\partial^m}{\partial P_j^b} \end{bmatrix}, j = 1(1)n_k \quad (2.40)$$

$$\underline{dP} = [\underline{dP}^a \ \underline{dP}^b]^T \quad (2.41)$$

$$\underline{B}_i^m = \begin{bmatrix} \frac{\partial^m}{\partial r_i} & \frac{\partial^m}{\partial r_i} \\ \frac{\partial^m}{\partial X_i} & \frac{\partial^m}{\partial Y_i} \\ \frac{\partial^m}{\partial c_i} & \frac{\partial^m}{\partial c_i} \\ \frac{\partial^m}{\partial X_i} & \frac{\partial^m}{\partial Y_i} \end{bmatrix} \quad (2.42)$$

şeklinde olacaktır. Farklı polinom derecelerine göre \underline{A} ve \underline{B} katsayılar matrislerinin açılımları Çizelge 3.1’de gösterilmiştir.

Afin izdüşüm için bu katsayılar matrisleri (2.5 a,b) bağıntısı yardımıyla

$$\underline{A}_i = \begin{bmatrix} 1 & X_i & Y_i & Z_i & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & X_i & Y_i & Z_i \end{bmatrix} \quad (2.43)$$

$$\underline{dP} = [a_{000} \ a_{100} \ a_{010} \ a_{001} \ b_{000} \ b_{100} \ b_{010} \ b_{001}]^T \quad (2.44)$$

$$\underline{B} = \begin{bmatrix} a_{100} & a_{010} & a_{001} \\ b_{100} & b_{010} & b_{001} \end{bmatrix} \quad (2.45)$$

şeklinde olacaktır.

Farklı algılayıcılar için iki farklı afin izdüşüm bağıntısından bahsedilmiştir. (2.6 a, b) bağıntısı için bu katsayılar

$$\underline{A}_i = \begin{bmatrix} 1 & X_i & Y_i & Z_i & X_i Z_i & Y_i Z_i & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & X_i & Y_i & Z_i & X_i Z_i & Y_i Z_i \end{bmatrix} \quad (2.46)$$

$$\underline{dP} = [a_{000} \ a_{100} \ a_{010} \ a_{001} \ a_{101} \ a_{011} \ b_{000} \ b_{100} \ b_{010} \ b_{001} \ b_{101} \ b_{011}]^T \quad (2.47)$$

$$\underline{B}_i = \begin{bmatrix} (a_{100} + a_{101} Z_i) & (a_{010} + a_{011} Z_i) & (a_{001} + a_{101} X_i + a_{011} Y_i) \\ (b_{100} + b_{101} Z_i) & (b_{010} + b_{011} Z_i) & (b_{001} + b_{101} X_i + b_{011} Y_i) \end{bmatrix} \quad (2.48)$$

ve (2.7 a, b) bağıntısı için ise

$$\underline{A}_i = \begin{bmatrix} 1 & X_i & Y_i & Z_i & X_i Z_i & Y_i Z_i & X_i^2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & X_i & Y_i & Z_i & X_i Z_i & Y_i Z_i & X_i Y_i \end{bmatrix} \quad (2.49)$$

$$\underline{dP} = [a_{000} \quad a_{100} \quad a_{010} \quad a_{001} \quad a_{101} \quad a_{011} \quad a_{200} \quad b_{000} \quad b_{100} \quad b_{010} \quad b_{001} \quad b_{101} \quad b_{011} \quad b_{110}]^T \quad (2.50)$$



Çizelge 2.1. 1-5. derece polinomlar için A ve B katsayılar matrisleri.

		Derece (m)				
		1	2	3	4	5
\underline{A}^{m_i}	$\frac{\partial r_i^m}{\partial P_j^a} =$	1 X_i Y_i	... $X_i Y_i$ X_i^2 Y_i^2	... $X_i^2 Y_i$ $X_i Y_i^2$ X_i^3 Y_i^3	... $X_i^3 Y_i$ $X_i Y_i^3$ X_i^4 Y_i^4 $X_i^2 Y_i^2$	... $X_i^3 Y_i^2$ $X_i^2 Y_i^3$ X_i^5 Y_i^5 $X_i^4 Y_i$ $X_i Y_i^4$
	$\frac{\partial c_i^m}{\partial P_j^a} =$	1 X_i Y_i	... $X_i Y_i$ X_i^2 Y_i^2	... $X_i^2 Y_i$ $X_i Y_i^2$ X_i^3 Y_i^3	... $X_i^3 Y_i$ $X_i Y_i^3$ X_i^4 Y_i^4 $X_i^2 Y_i^2$	... $X_i^3 Y_i^2$ $X_i^2 Y_i^3$ X_i^5 Y_i^5 $X_i^4 Y_i$ $X_i Y_i^4$
\underline{dP}	$(\underline{dP}^a)^T$	a_{00} a_{10} a_{01}	... a_{11} a_{20} a_{02}	... a_{21} a_{12} a_{30} a_{03}	... a_{31} a_{13} a_{40} a_{04} a_{22}	... a_{32} a_{23} a_{50} a_{05} a_{41} a_{14}
	$(\underline{dP}^b)^T$	b_{00} b_{10} b_{01}	... b_{11} b_{20} b_{02}	... b_{21} b_{12} b_{30} b_{03}	... b_{31} b_{13} b_{40} b_{04} b_{22}	... b_{32} b_{23} b_{50} b_{05} b_{41} b_{14}
\underline{B}^{m_i}	$\frac{\partial r_i^m}{\partial X_i} =$	a_{10}	... + $a_{11} Y_i$ + $2a_{20} X_i$	... + $2a_{21} X_i Y_i$ + $a_{12} Y_i^2$ + $3a_{30} X_i^2$	... + $3a_{31} X_i^2 Y_i$ + $a_{13} Y_i^3$ + $4a_{40} X_i^3$ + $2a_{22} X_i Y_i^2$	... + $3a_{32} X_i^2 Y_i^2$ + $2a_{23} X_i Y_i^3$ + $5a_{50} X_i^4$ + $4a_{41} X_i^3 Y_i$ + $a_{14} Y_i^4$
	$\frac{\partial r_i^m}{\partial Y_i} =$	a_{01}	... + $a_{11} X_i$ + $2a_{02} Y_i$	... + $a_{21} X_i^2$ + $2a_{12} X_i Y_i$ + $3a_{03} Y_i^2$	... + $a_{31} X_i^3$ + $3a_{13} X_i Y_i^2$ + $4a_{04} Y_i^3$ + $2a_{22} X_i^2 Y_i$	... + $2a_{32} X_i^3 Y_i$ + $3a_{23} X_i^2 Y_i^2$ + $5a_{05} Y_i^4$ + $a_{41} X_i^4$ + $4a_{14} X_i Y_i^3$
	$\frac{\partial c_i^m}{\partial X_i} =$	b_{10}	... + $b_{11} Y_i$ + $2b_{20} X_i$	... + $2b_{21} X_i Y_i$ + $b_{12} Y_i^2$ + $3b_{30} X_i^2$	... + $3b_{31} X_i^2 Y_i$ + $b_{13} Y_i^3$ + $4b_{40} X_i^3$ + $2b_{22} X_i Y_i^2$	... + $3b_{32} X_i^2 Y_i^2$ + $2b_{23} X_i Y_i^3$ + $5b_{50} X_i^4$ + $4b_{41} X_i^3 Y_i$ + $b_{14} Y_i^4$
	$\frac{\partial c_i^d}{\partial Y_i} =$	b_{01}	... + $b_{11} X_i$ + $2b_{02} Y_i$	... + $b_{21} X_i^2$ + $2b_{12} X_i Y_i$ + $3b_{03} Y_i^2$	... + $b_{31} X_i^3$ + $3b_{13} X_i Y_i^2$ + $4b_{04} Y_i^3$ + $2b_{22} X_i^2 Y_i$	... + $2b_{32} X_i^3 Y_i$ + $3b_{23} X_i^2 Y_i^2$ + $5b_{05} Y_i^4$ + $b_{41} X_i^4$ + $4b_{14} X_i Y_i^3$

$$\underline{B}_i = \begin{bmatrix} (a_{100} + a_{101}Z_i + 2a_{200}X_i) & (a_{010} + a_{011}Z_i) & (a_{001} + a_{101}X_i + a_{011}Y_i) \\ (b_{100} + b_{101}Z_i + b_{110}Y_i) & (b_{010} + b_{011}Z_i + b_{110}X_i) & (b_{001} + b_{101}X_i + b_{011}Y_i) \end{bmatrix} \quad (2.51)$$

şeklinde olacaktır.

Projektif dönüşüm için ise (2.8) bağıntısı yardımıyla

$$\underline{A}_i = \begin{bmatrix} 1 & X_i & Y_i & 0 & 0 & 0 & -r_i \cdot X_i & -r_i \cdot Y_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 & X_i & Y_i & -c_i \cdot X_i & -c_i \cdot Y_i \end{bmatrix} \quad (2.52)$$

$$\underline{dP} = [a_{00} \quad a_{10} \quad a_{01} \quad b_{00} \quad b_{10} \quad b_{01} \quad c_{01} \quad c_{10}]^T \quad (2.53)$$

$$\underline{B}_i = \begin{bmatrix} \left(\frac{a_{10}}{(f_3)_i} - \frac{c_{10} \cdot (f_1)_i}{(f_3)_i^2} \right) & \left(\frac{a_{01}}{(f_3)_i} - \frac{c_{01} \cdot (f_1)_i}{(f_1)_i^2} \right) \\ \left(\frac{b_{10}}{(f_3)_i} - \frac{c_{10} \cdot (f_1)_i}{(f_3)_i^2} \right) & \left(\frac{b_{01}}{(f_3)_i} - \frac{c_{01} \cdot (f_2)_i}{(f_3)_i^2} \right) \end{bmatrix} \quad (2.54)$$

şeklinde yazılabilir. DLT yönteminde ise (2.9) bağıntısı yardımıyla aşağıdaki gibi çözüm yapılır.

$$\underline{A}_i = \begin{bmatrix} 1 & X_i & Y_i & Z_i & 0 & 0 & 0 & 0 & -r_i \cdot X_i & -r_i \cdot Y_i & -r_i \cdot Z_i \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & X_i & Y_i & Z_i & -c_i \cdot X_i & -c_i \cdot Y_i & -c_i \cdot Z_i \end{bmatrix} \quad (2.55)$$

$$\underline{dP} = [a_{000} \quad a_{100} \quad a_{010} \quad a_{001} \quad b_{000} \quad b_{100} \quad b_{010} \quad b_{001} \quad c_{100} \quad c_{010} \quad c_{001}]^T \quad (2.56)$$

$$\underline{B}_i = \begin{bmatrix} \left(\frac{a_{100}}{(f_3)_i} - \frac{c_{100} \cdot (f_1)_i}{(f_3)_i^2} \right) & \left(\frac{a_{010}}{(f_3)_i} - \frac{c_{010} \cdot (f_1)_i}{(f_3)_i^2} \right) & \left(\frac{a_{001}}{(f_3)_i} - \frac{c_{001} \cdot (f_1)_i}{(f_3)_i^2} \right) \\ \left(\frac{b_{100}}{(f_3)_i} - \frac{c_{100} \cdot (f_2)_i}{(f_3)_i^2} \right) & \left(\frac{b_{010}}{(f_3)_i} - \frac{c_{010} \cdot (f_2)_i}{(f_3)_i^2} \right) & \left(\frac{b_{001}}{(f_3)_i} - \frac{c_{001} \cdot (f_2)_i}{(f_3)_i^2} \right) \end{bmatrix} \quad (2.57)$$

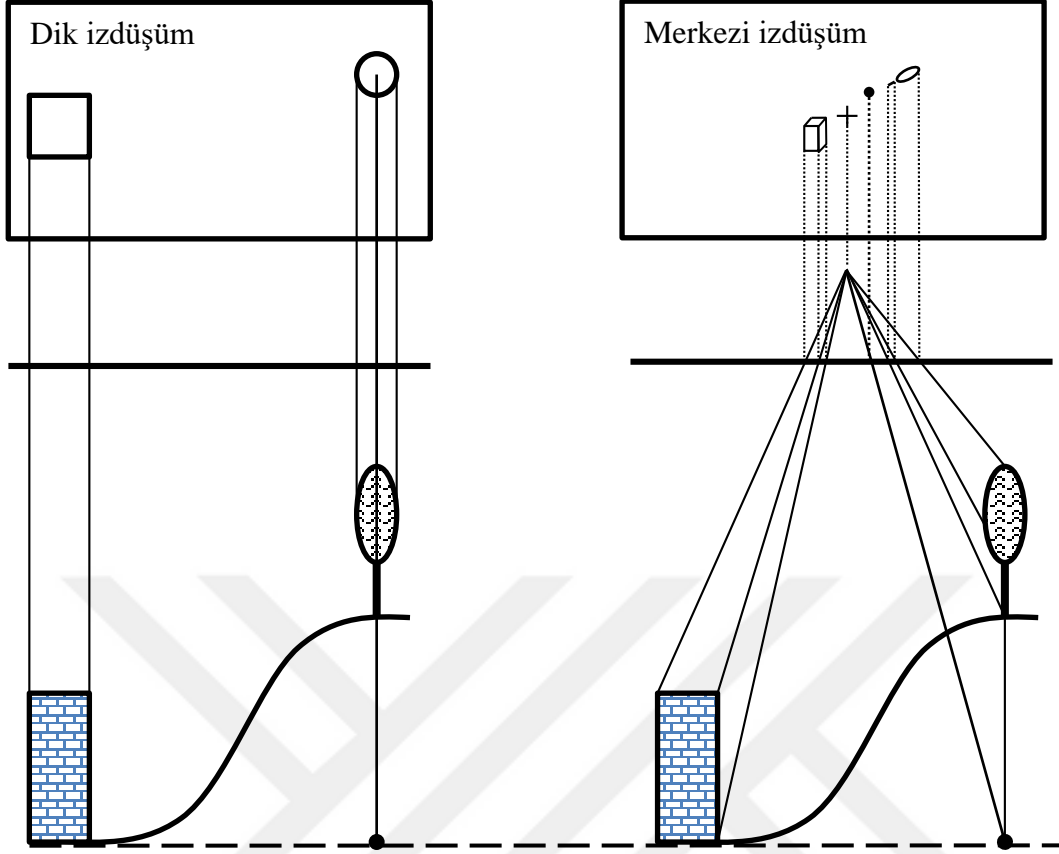
Bu tez kapsamında RFM yöntemi ile ortogörüntü üretimi yapılmadığından bu yöntem kapsam dışında tutulmuştur.

2.5 ORTOGÖRÜNTÜ ÜRETİMİ

Daha önce de açıklandığı gibi algılanan bölgede yükseklik farkları ve görüntülemenin ayakucu doğrultusu dışında yapılması gibi görüntü geometrisini bozan etkenlerin etkisi ile görüntü ideal bir geometriye sahip olmayacaktır. Bunun giderildiği ürüne ortogörüntü denir ve görüntü alım sırasında algılama ve taşıyıcı sistem geometrisinden kaynaklanan görüntülerdeki eğiklik ve dönüklük gibi hataların giderilmesi ve yükseklik farklarından kaynaklanan yatay kayıklığın da en az düzeye indirilmesi ile elde edilen görüntü veya görüntü mozaığı olarak tanımlanmaktadır (Ottavianelli ve Vescovi 2018). Görüntülenen alandaki nesnelerin yükseklik farkından kaynaklanan etkinin ortogörüntü üzerindeki etkisi Şekil 2.3'de gösterilmektedir. Şekil 2.3'ün solunda farklı yüksekliklerde bulunan ve bulunduğu zemin ile arasında yükseklik farkı bulunan nesnelerin dik izdüşüm durumunda izdüşüm düzlemindeki karşılıkları gösterilmektedir. Şekilden de görülebileceği gibi dik izdüşümde hem yeryüzündeki yükseklik farkı, hem de nesnelerin zeminden olan yüksekliklerinin neden olduğu bir bozukluk bulunmamaktadır. Ancak şeklin sağında gösterildiği gibi merkezi izdüşüm durumunda ise hem yeryüzündeki yükseklik farkı hem de nesnelerin yükseklikleri, görüntüde farklı yerlerde gösterilmesine neden olmaktadır. Ortogörüntü, yükseklikten kaynaklanan bu etkinin giderildiği bir üründür. Şekilde, sadece optik eksen doğrultusunda kalan nesnelere için bu bozulma söz konusu olmazken, bunun dışındaki yerlerde bu etkiden söz etmek mümkündür. Eğer algılayıcının optik sisteminden kaynaklanan bozulmalar da söz konusu ise ortogörüntünün tüm bu etkilerden arındırılmış olarak üretilmesi gerekmektedir.

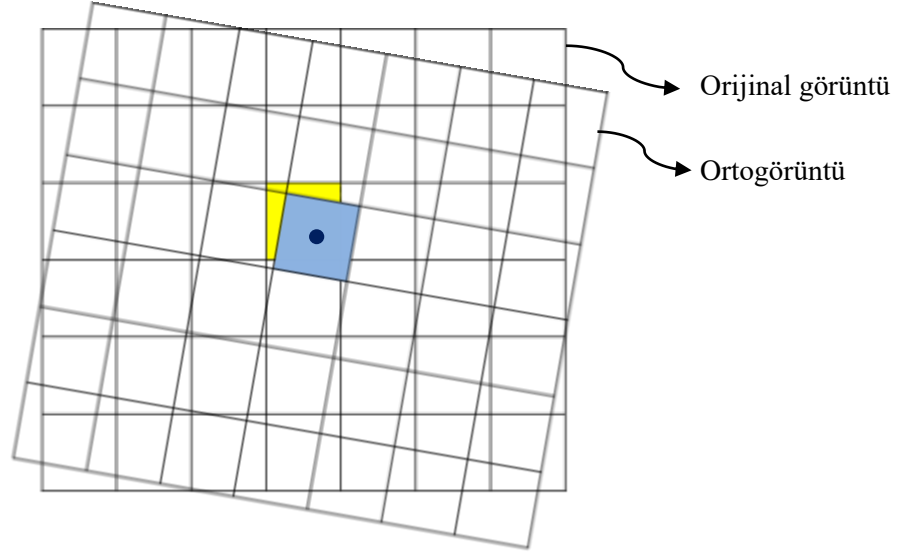
Ortogörüntü üretimi algılayıcıdan bağımlı ve bağımsız modellerde farklılık gösterebilir. Zira algılayıcıdan bağımlı bir modelde nesne ve görüntü arasındaki geometrik dönüşüm iç ve dış yöneltme öğeleri yardımıyla gerçekleştirildiğinden, eğer doğruluğuna güvenilir bir SYM mevcutsa, nesnenin doğru görüntü koordinatları algılayıcıdan bağımlı bir modelde daha doğru belirlenebilir. Zira bu tezde ele alınan algılayıcıdan bağımsız yaklaşımlar yükseklik farkından kaynaklanan etkiyi tam olarak modelleyememektedir.

Görüntü geometrisini bozan etkilerin giderildiği bu dengeli görüntü koordinatlarının sahip olması gereken gri değerlerin yeniden örnekleme yöntemi ile atanması ile ortogörüntü üretilmiş olacaktır. Yeniden örneklemede pek çok yöntem bulunmaktadır (Schowengerdt 2007). Bu tezde asıl amaç farklı yeniden örnekleme yöntemlerine göre ortogörüntü üretmek olmadığından en basit yöntem olan en yakın komşuluk yöntemi kullanılmıştır. En yakın komşuluk



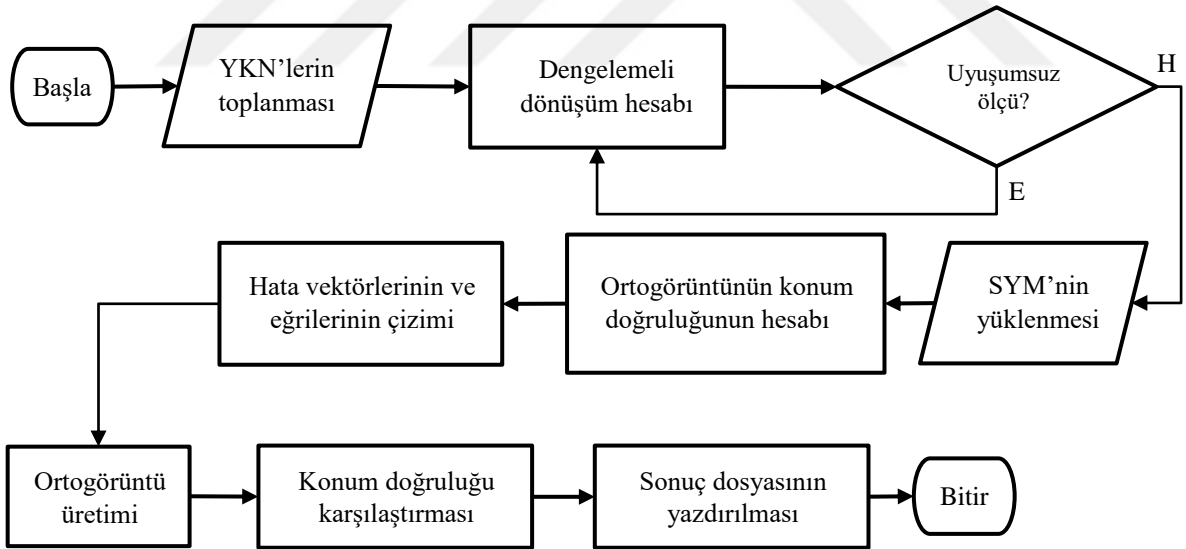
Şekil 2.3. Dik ve merkezi izdüşüm karşılaştırması.

yönteminde yeni görüntüdeki bir pikselin merkezine en yakın merkeze sahip orijinal görüntü pikselinin gri değeri doğrudan yeni gri değer olarak atanır (Şekil 2). Ortogörüntü farklı geometrik çözünürlüklerde üretilebilir. Bu tezde üretilen ortogörüntüler ise SYM ile aynı YÖA değerine sahiptir.



Şekil 2.4. En yakın komşuluk yöntemi ile yeniden örnekleme.

Bu bölümde ele alınan görüntü koordinatlandırma işlemi bir akış şeması ile Şekil 2.5’de gösterilebilir.



Şekil 2.5. Genel işlem akış şeması.



BÖLÜM 3

UYGULAMA

Bu bölümde, uygulamanın yapıldığı çalışma bölgesi, kullanılan görüntü, YKN ve SYM hakkında bilgiler ile ön hazırlık çalışmaları, geliştirilen Matlab uygulaması ve bulgulara yer verilmektedir.

3.1 ÇALIŞMA BÖLGESİ

Bu tez kapsamında kullanılan görüntü Zonguldak şehir merkezi ve yakın çevresini kapsamaktadır. Zonguldak ilinin tamamı ve özellikle şehir merkezine dair pek çok uzaktan algılama görüntüsü ve ilişkili veriler üzerinde 2000’li yıllardan beri araştırmalar yapılmaktadır (Bayık vd. 2016). Bu bölgenin uzaktan algılama görüntüleri için önemli bir test alanı olmasının temel nedeni, konuma bağlı uygulamalar açısından en zor şartlara sahip bir bölge olmasıdır. Çünkü bu bölge oldukça engebeli bir yapıda kurulmuş olan Zonguldak şehir merkezini, dik yamaçlarda kurulmuş yüksek binaları, dik yamaçlara sahip kıyıları, fabrika gibi karmaşık dokulu yapıları, yoğun ormanları, çeşitli tarım arazilerini, akarsu, göl ve deniz gibi farklı hidrografik yapıları içermektedir. Zonguldak şehir merkezinin altında hala devam eden taşkömürü madencilik çalışmaları ise çeşitli yer hareketlerine (tasman) neden olmaktadır (Abdikan vd. 2014). Dolayısıyla hem konuma bağlı uygulamalar açısından görüntülerin başarımını incelemede hem de farklı sınıflandırma çalışmaları yapmada bu bölgenin özellikleri önem kazanmaktadır. Ayrıca bu bölgeye ait pek çok uydu görüntüsü ile karşılaştırmalı araştırmalar yapılabilir olması da bu bölgeyi ayrıcalıklı yapmaktadır (Bayık vd. 2016). Şekil 3.1’de Zonguldak il merkezinin ve iç bölgelerinin dağlık yapısına ait görüntülere yer verilmiştir.

3.2. KULLANILAN VERİLER

Bu bölümde, kullanılan görüntülere, YKN ve SYM’ye ait bilgilere yer verilmektedir.

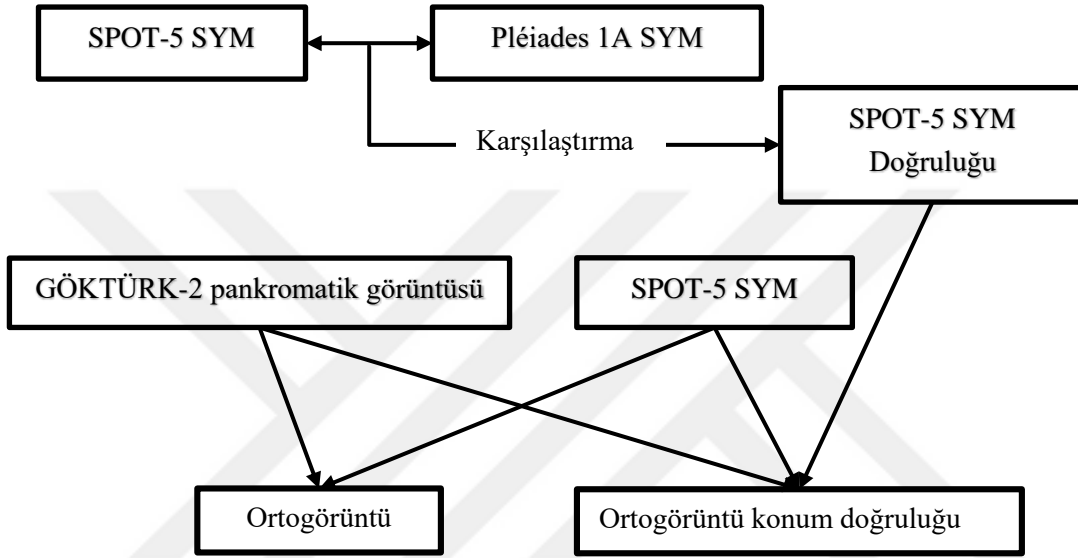


Şekil 3.1. Zonguldak il merkezinden panoramik bir görünüm (üstte, görüntü telif hakkı Hüseyin Topan'a aittir) ve Zonguldak şehir merkezi ve hinterlandının Google Earth'de 2.5B görünümü (altta).

3.2.1 Kullanılan Görüntüler

Bu tez kapsamında, Ülkemizin üçüncü uzaktan algılama uydusu GÖKTÜRK-2'ye ait pankromatik görüntü kullanılmıştır. Bu görüntünün tercih edilmesinin temel nedenlerinden birisi, GÖKTÜRK-2 görüntülerine ait algılayıcı geometrisine dair ögelerin veya RPC'lerin mevcut olmaması, dolayısıyla bu tez kapsamında ele alınan yöntemlerle çözüme ulaşmaya uygun bir görüntü olmasıdır. GÖKTÜRK -2 uydusu Bilsat ve RASAT'tan sonra Ülkemizin üçüncü uzaktan algılama uydusudur. Bu uydunun yapımına 2007 yılında Savunma Bakanlığı, TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü ve TUSAŞ (Türk Havacılık ve Uzay Sanayii AŞ) ortaklığında başlanmış ve 18 Aralık 2012 tarihinde fırlatılmıştır. Uydunun teknik

özellikleri Çizelge 3.1’de gösterilmektedir (Çınar 2014). Uyduda iki adet CCD (Charge Coupled Device) bulunmaktadır ve 35x20 km boyutlarında görüntü çekebilmektedir. Pankromatik bant, görünür bantlara göre 1 mm, yakın kızılötesi bandına göre ise 15 mm ötelenmiş olarak tasarlanmıştır ve bu da pankromatik görüntü ile görünür veya yakın kızılötesi görüntüler arasında bir kayıklık oluşmasına sebep olmaktadır (Atak vd. 2015). Verilerin uygulamadaki kullanım durumu Şekil 3.2’de görülebilir.



Şekil 3.2. Verilerin kullanımına dair akış şeması

Çizelge 3.1. GÖKTÜRK-2 uydusu teknik özellikleri.

Yörünge türü	: Güneş eş zamanlı
Yörünge eğimi	: 98.2°
Yörünge yüksekliği	: ~685 km
Yörünge periyodu	: 98.20 dk
Dünya etrafında dönme sayısı	: 14-15 kez (24 saatte)
Yerel geçiş zamanı	: 10.30 (Yerel zaman)
Yer istasyonu ile iletişim süresi	: ~60 dk (24 saatte)
Ağırlık	: <400 kg
Hafıza	: 8 GB
Pankromatik bant için YÖA	: 2.5 m
Görünür ve YKÖ bantlar için YÖA	: 5 m
Radyometrik çözünürlük	: 11 bit
Zamansal çözünürlük	: ±5° görüntüleme açısına göre 11 gün ±30° görüntüleme açısına göre 2-3 gün
Tayfsal çözünürlük	: Kırmızı : 0.596-0.75 µm Mavi : 0.422-0.512 µm Yeşil : 0.5-0.584 µm SWIR : 0.8-1.7 µm

GÖKTÜRK-2 görüntüleri TÜBİTAK Uzay Teknolojileri Araştırma Enstitüsü tarafından geliştirilen Gezgın-2 modülü sayesinde farklı görüntü işleme seviyelerinde JPEG2000 sıkıştırma yöntemleri uygulanarak dağıtılmaktadır. GÖKTÜRK-2 geliştirme projesi Atak vd. (2015) tarafından gerçekleştirilen testler ile sonlandırılmıştır. Bu testler radyometrik kalite, konuma bağılı bilgi üretimi başarımı, 2 ve 3 boyutlu doğruluk araştırmaları ve SYM oluşturma gibi uygulamalardan oluşmaktadır. Farklı görüntü seviyeleri için uygulanan görüntü işleme adımları Teke (2016) tarafından sunulmuştur. Teke vd. (2016) ve Sakarya vd. (2016) tarafından ise mutlak ve çapraz radyometrik kalibrasyon çalışmalarının sonuçları sunulmaktadır.

Küpçü vd. (2014), Küpçü (2015) ve Efendioğlu vd. (2016) tarafından konum doğruluğu araştırmaları yapılmıştır. Ok (2016) tarafından görüntü eşleme başarımı araştırılmış; SYM doğruluğu üzerine araştırmalar ise Ok (2017) ve Mutluoğlu ve Güven (2017) tarafından yapılmıştır. Zonguldak test alanına ait farklı seviyelere ait GÖKTÜRK-2 pankromatik görüntüleri için radyometrik ve geometrik değerlendirme ise Topan vd. (2016a) tarafından gerçekleştirilmiştir.

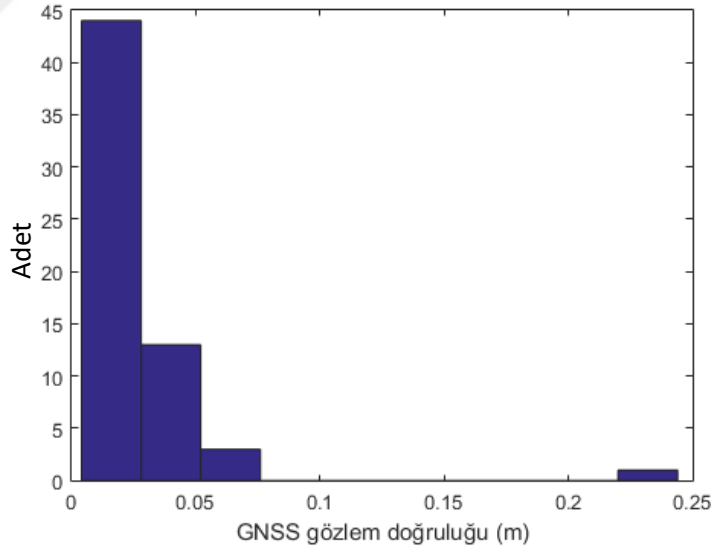
GÖKTÜRK-2 görüntüleri farklı görüntü ürün seviyelerinde üretilebilmektedir. Bu tez çalışmasında kullanılan seviye ise L1'dir. Bu görüntü seviyesinde görüntüye sadece radyometrik düzeltme getirilmekte, görüntünün orijinal seviyesi ise korunmaktadır. Şekil 3.3, bu çalışmada kullanılan L1 düzeyindeki görüntüyü göstermektedir.



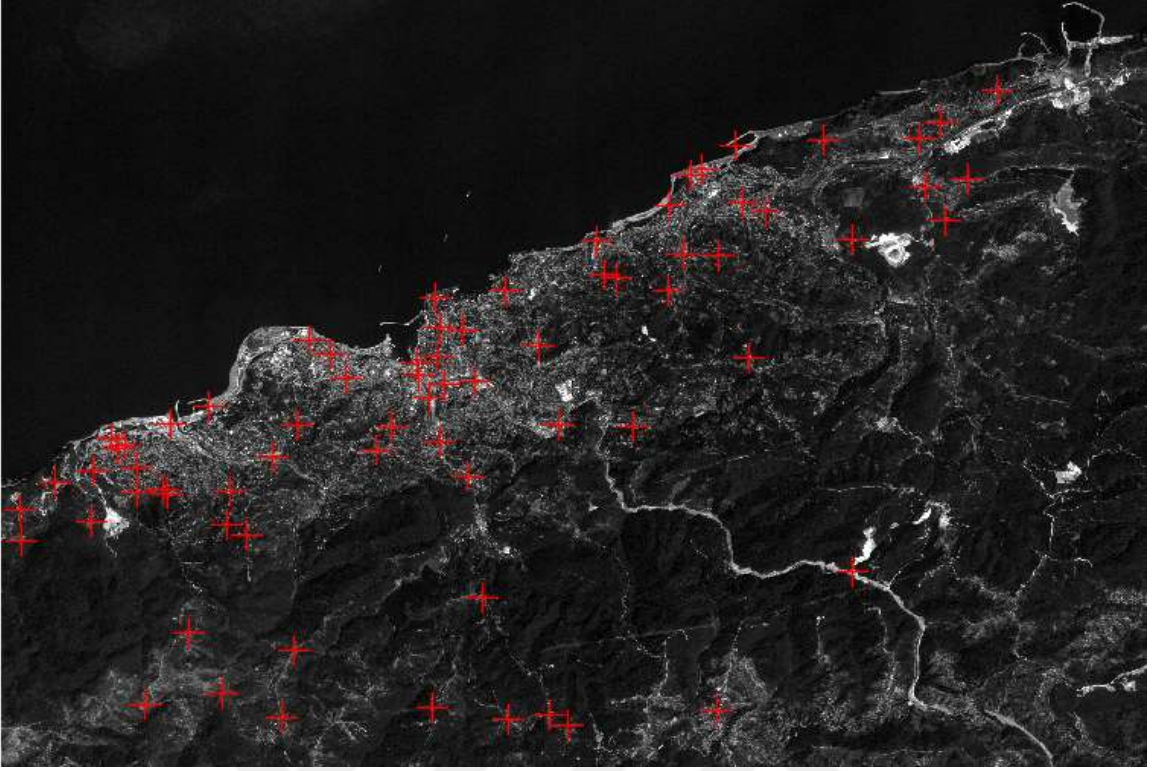
Şekil 3.3. Değerlendirmesi yapılan Zonguldak şehir merkezi ve çevresini kapsayan L1 seviyesindeki GÖKTÜRK-2 görüntüsü (Mayıs 2014).

3.2.2 Kullanılan YKN'ler

YKN'nin, hem görüntü hem de nesne koordinatları bilinen ve görüntüde ve nesne uzayında rahatlıkla belirlenebilen noktalar olduğu daha önce belirtilmişti. Burada kastedilen nesne uzayı sadece yeryüzü değil, görüntülenen herhangi bir nesne (örneğin bina cephesi) olabilir. YKN'lerin nesne uzayındaki konumlarının doğruluğu, hedeflenen doğruluğun 1/5 ile 1/3'ü arasında bir düzeyde olması gerekmektedir (Kapnias vd., 2008). Leprince vd. (2007) tarafından belirtildiği üzere hedeflenen doğruluğun ± 1 piksel olduğu göz önüne alındığında YKN'nin nesne uzayındaki doğruluğunun GÖKTÜRK-2 görüntüleri için ± 50 cm ile ± 83 cm aralığında olması gerekmektedir. Arazi çalışmalarında Leica Viva GS15 marka algılayıcılar ile RTK (Real-Time Kinematic) ölçüm tekniği kullanılarak yatayda ve düşeyde elde edilen konum doğruluğu ± 4 cm ile ± 24 cm aralığındadır. GNSS gözlemleri ile elde edilen 72 adet YKN'lerin doğruluk histogramı Şeki 3.4'deki gibidir. YKN seçiminde Topan vd. (2007) tarafından yapılan öneriler doğrultusunda YKN'ler, yatayda ve düşeyde uygun dağılmış, hem görüntüde hem de arazide rahat tespit edilebilen, doğal topoğrafya üzerinde bulunan simetrik nesnelerin merkezinde alınmışlardır. YKN'lere ait örnek Şekil 3.5'de verilmektedir.



Şekil 3.4. GNSS gözlemleri ile elde edilen YKN'nin doğruluk histogramı.



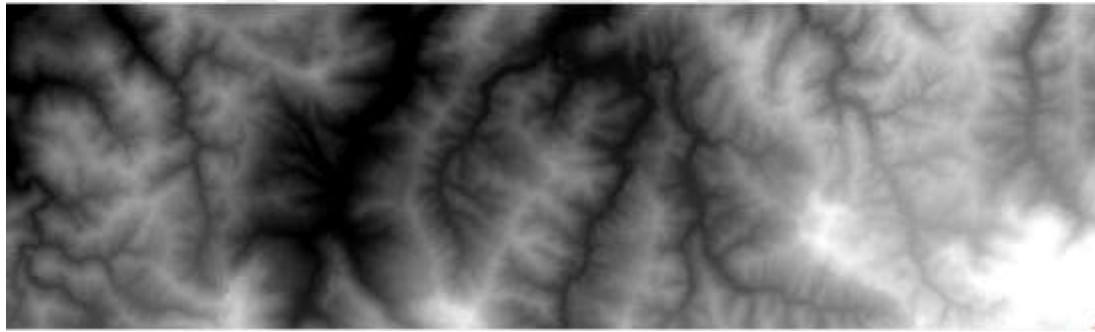
Şekil 3.5. GÖKTÜRK-2 görüntüsü üzerinde YKN dağılımı.



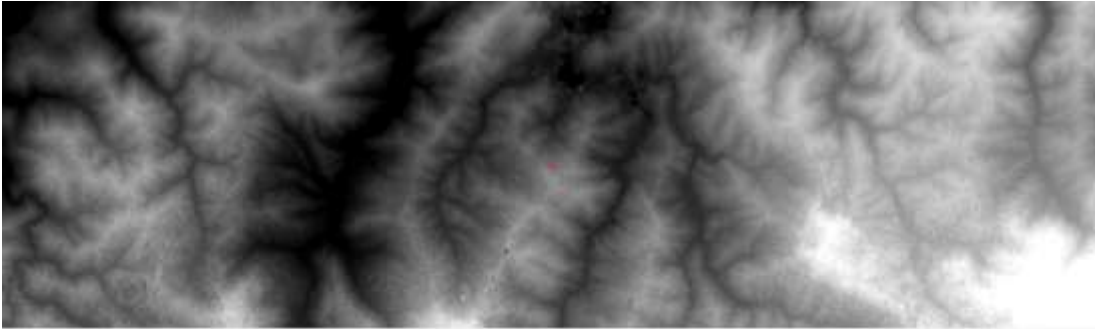
Şekil 3.6. Örnek bir YKN seçimi (sol: görüntü üzerinde seçim, sağ: arazide GNSS gözlemi).

3.2.3. Kullanılan SYM

Tez kapsamında ortogörüntü üretiminde kullanılan SYM, SPOT-5 HRG (High Geometric Resolution) seviye 1A stereo görüntülerinden üretilmiştir ve bundan sonra SPOT-5 SYM olarak adlandırılacaktır. Bu SYM, TÜBİTAK'ın 104Y050 numaralı projesi kapsamında edinilen görüntülerden ticari bir yazılım olan PCI Geomatica yazılımında üretilmiştir (Şekil 3.7 a). Üretilen bu SYM'nin doğruluğunu belirlemek için, yine bir Fransız uydusu olan Pléiades 1A ile yine aynı yazılımda üretilen SYM ile karşılaştırılmıştır (Şekil 3.7 b). SYM'ler hakkında özet bilgi Çizelge 3.2'de sunulmaktadır. Her iki SYM de ED50 (European Datum 1950) elipsoidinde ve TM (Transversal Mercator) projeksiyonunda üretilmiştir (Büyüksalih vd. 2005, Jacobsen ve Topan, 2015, Topan vd. 2016b).



a) SPOT-5 SYM



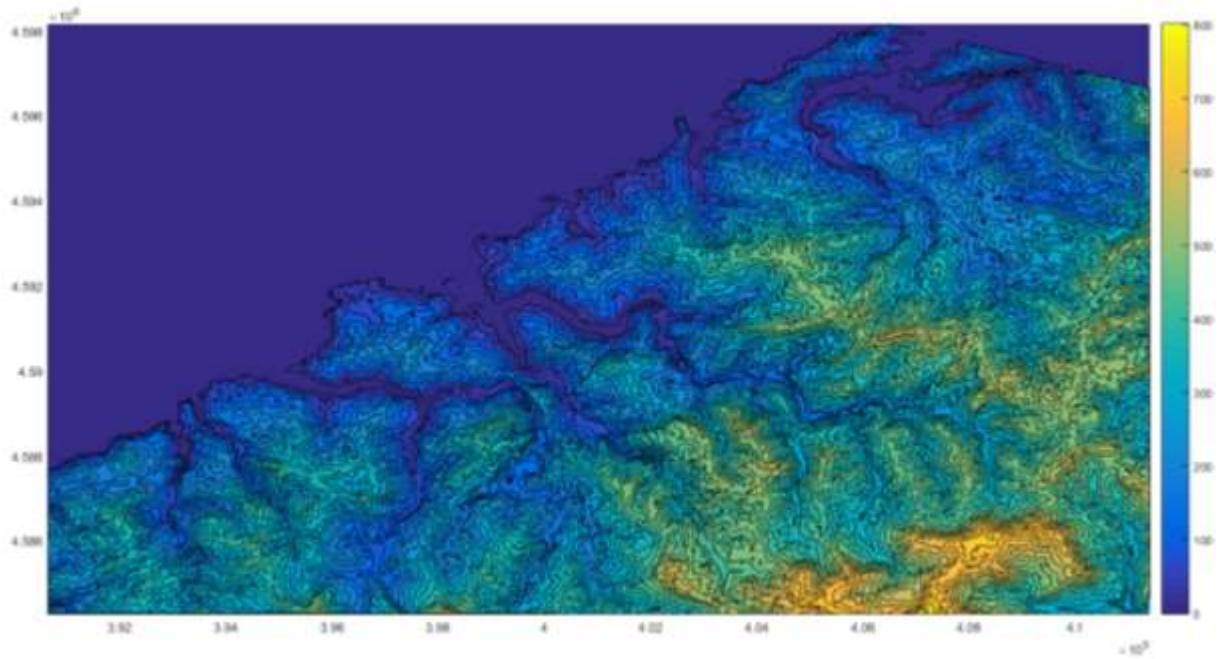
b) Pléiades 1A SYM

Şekil 3.7. Karşılaştırmada kullanılan SYM'ler.

Karşılaştırma işleminde, 4Dixplorer şirketine ait LS3D yazılımının bir aylık deneme sürümü kullanılmıştır. Bu yazılım, noktalarla ifade edilmiş iki yüzeyi EKK 3B yüzey eşleme yöntemiyle karşılaştırma yapmakta ve iki koordinat sistemi arasındaki yedi parametrelilik benzerlik dönüşümü katsayılarını hesaplamaktadır (Akça, 2007; Gruen ve Akca, 2005). Karşılaştırma işlemi sonucunda SPOT 5 SYM'nin doğruluğu $m_x = \pm 0.00642$ m, $m_y = \pm 0.45643$ m ve $m_z = \pm 8.643360$ m olarak hesaplanmıştır. Ortogörüntü üretiminde kullanılan SYM ise Şekil 3.8'da gösterilmektedir. Bu SYM için yükseklik aralığı 0-833.13 m'dir.

Çizelge 3.2. Kullanılan ve karşılaştırılan SYM'lerin özellikleri.

	Kullanılan SYM	Karşılaştırılan SYM
Uydu	SPOT-5	Pléiades 1A
Algılayıcı :	HRG (High Geometric Resolution)	
Band :	Pankromatik"	Pankromatik
Görüntü seviyesi :	1A	Primary
Orijinal görüntü için YÖA :	5 m (ayakucu doğrultusunda)	50 cm (ayakucu doğrultusunda)
Görüntüleme tarihi :	13 Ağustos 2003 (sol) 14 Ağustos 2003 (sağ)	24 Nisan 2013
SYM için YÖA :	5 m	1 m



Şekil 3.8. Ortogörüntü üretiminde kullanılan SPOT 5 SYM.

3.3. UYUŞUMSUZ ÖLÇÜLERİN BELİRLENMESİ

Algılayıcıdan bağımsız yöntemler kullanılarak gerçekleştirilen nesne uzayından görüntü uzayına koordinat dönüşümü işleminde Baarda ve t-student yöntemleri ile uyumsuz ölçü çiftleri belirlenmiştir. Pope yöntemi ise, test büyüklüğünün uyumsuz ölçüden etkilenmesi nedeniyle dikkate alınmamıştır. Uyumsuz ölçülerin tespitinde tüm ölçüler $[-1 +1]$ aralığına normalleştirilerek matrislerin tersinin alınması sırasında oluşabilecek kötü kondüsyon sorunu önlenmiştir. Uyumsuz ölçüler hesaba katılmadığında doğruluğun yükseldiği Çizelge 3.3'den görülebilir. Çizelge 3.3 incelendiğinde görülmektedir ki en kaba doğruluk benzerlik dönüşümü

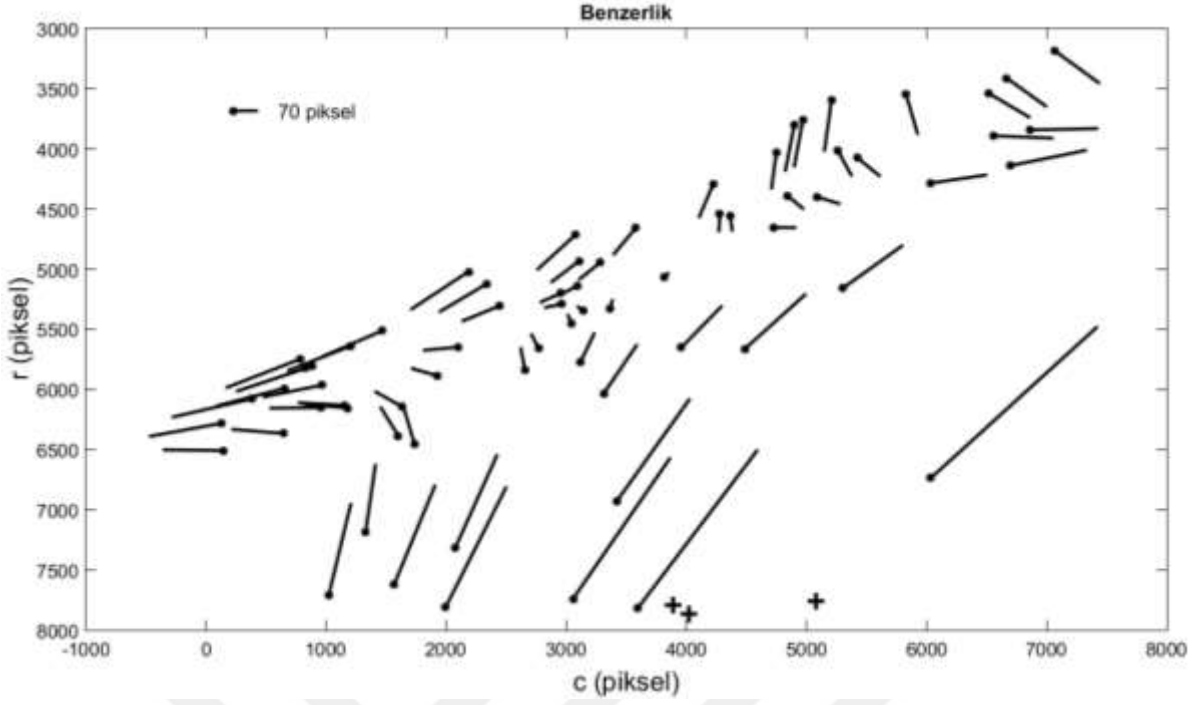
ile (± 136.09 piksel), en yüksek doğruluk ise afin izdüşümün Model 2 ile (± 1.83 piksel) elde edilebilmektedir. Dönüşüm modeli YKN'larının yüksekliğini dikkate aldığına doğruluk yükselmektedir. Ancak beklenilenin aksine afin izdüşüm ile karşılaştırıldığında DLT yöntemi ile daha kaba bir doğruluk elde edilmiştir.

Çizelge 3.3. Dönüşüm sonucu elde edilen $\pm m_0$ değerleri

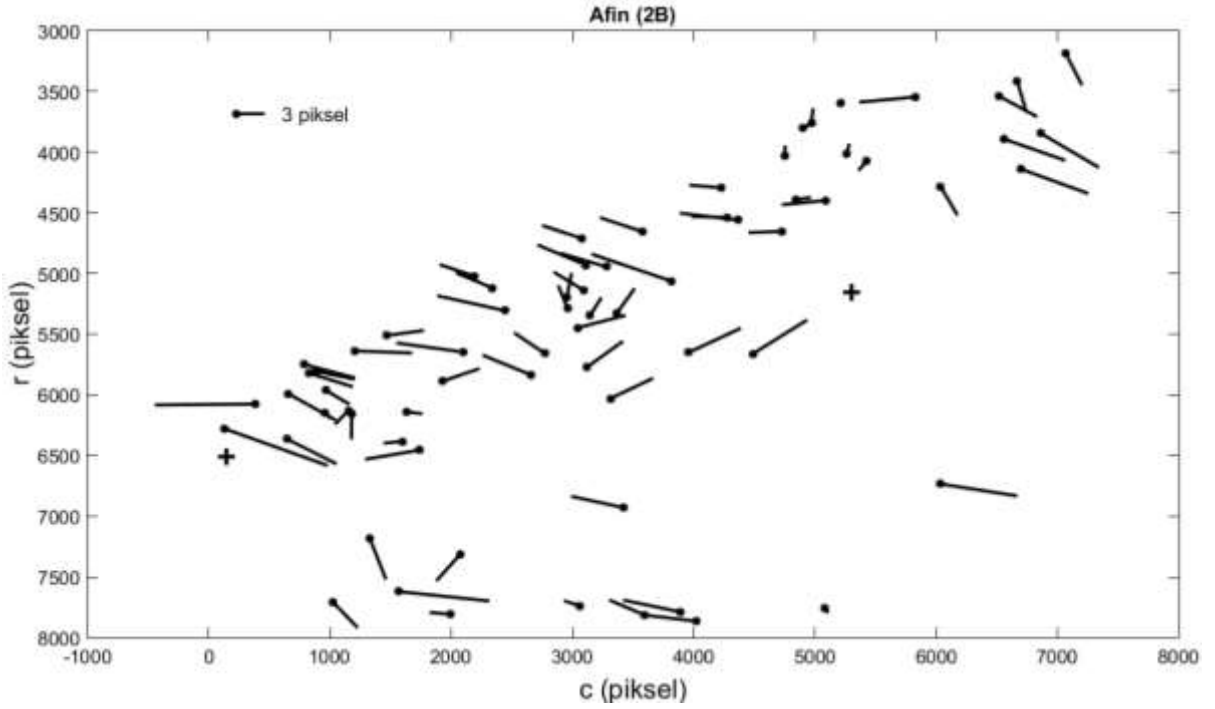
Dönüşüm Modeli		Uyuşumsuz ölçü testi öncesi (72 YKN)		Uyuşumsuz ölçü testi sonrası		
		$\pm piksel$	$\pm m$	# YKN	$\pm piksel$	$\pm m$
Benzerlik		155.89	389.73	69	136.09	340.23
Afin (2B) / 1° Polinom		3.86	9.65	70	3.45	8.63
Polinom	2°	3.26	8.15	69	2.52	6.30
	3°	3.30	8.25	69	2.41	6.03
	4°	3.31	8.28	69	2.24	5.60
	5°	3.03	7.58	67	2.10	5.25
Afin izdüşüm	Model 1 (Genel)	3.24	8.10	70	2.77	6.93
	Model 2 (OrbView-3)	2.62	6.55	69	1.83	4.58
	Model 3	3.00	7.50	70	2.60	6.50
Projektif		3.77	9.43	70	3.33	8.33
DLT		2.98	7.45	69	2.58	6.45

Uydu görüntüleri için gerçekleştirilen dönüşüm işlemlerinde sadece karesel ortalama hata ile bulunan doğruluk değeri değil, hesapta kullanılan ölçülere (l , görüntü koordinatları) getirilen düzeltmelerin (v) miktarı ve yönü de irdelenmelidir. Şekil 3.9-3.19 hata vektörlerini ve ayrıca hangi noktaların uyuşumsuz olduğunu (+ işareti ile) göstermektedir. Hata vektörleri incelendiğinde benzerlik dönüşümü dışında diğer tüm yöntemlerde sistematik bir hatanın olmadığı görülmektedir. Benzerlik dönüşümündeki sistematiklik ise görüntüden değil yöntemin kendisinden kaynaklanmaktadır. Bununla birlikte tüm yöntemlerde bazı yakın noktaların birbiriyle aynı yönde hataya sahip olduğu görülmektedir. Ancak genel olarak sistematik olmayan bir dağılım görülmektedir.

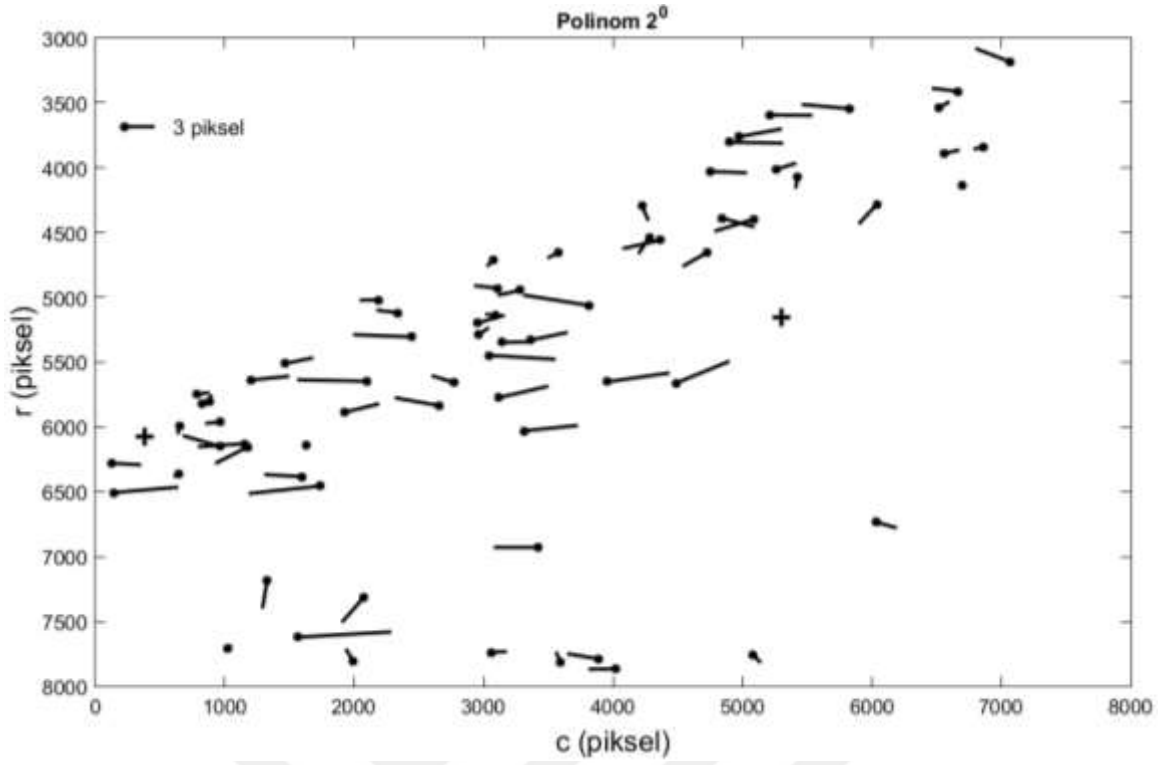
Hata vektörleri her bir YKN için ayrı ayrı çizdirildiği gibi Şekil 3.20'de olduğu gibi tüm vektörler tek bir noktadan başlayacak şekilde rüzgar gülü diyagramı şeklinde de çizdirilmiştir. Bu şekilde bir gösterim ile hatanın baskın yönü ortaya çıkartılabilir. Şekil 3.20 incelendiğinde benzerlik dönüşümüne ait büyük hataların görüntünün sol-yukarı yönünde ve 2°-4° polinom dönüşümünde sağ-sol yönünde olduğu; yükseklik değerimi kullanan afin izdüşüm ve DLT modellerinde ise hataların yönünün diğerlerine oranla daha farklı yönlerde dağıldığı söylenebilir.



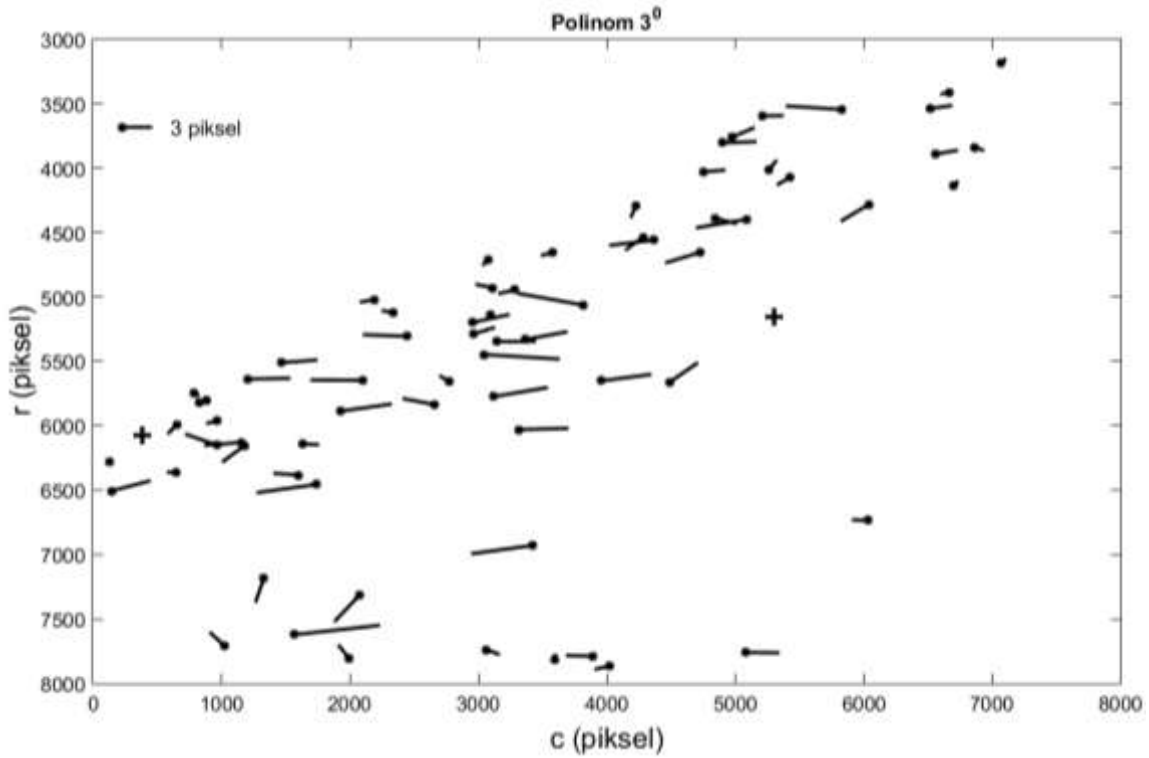
Şekil 3.9. Benzerlik dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 136.09$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).



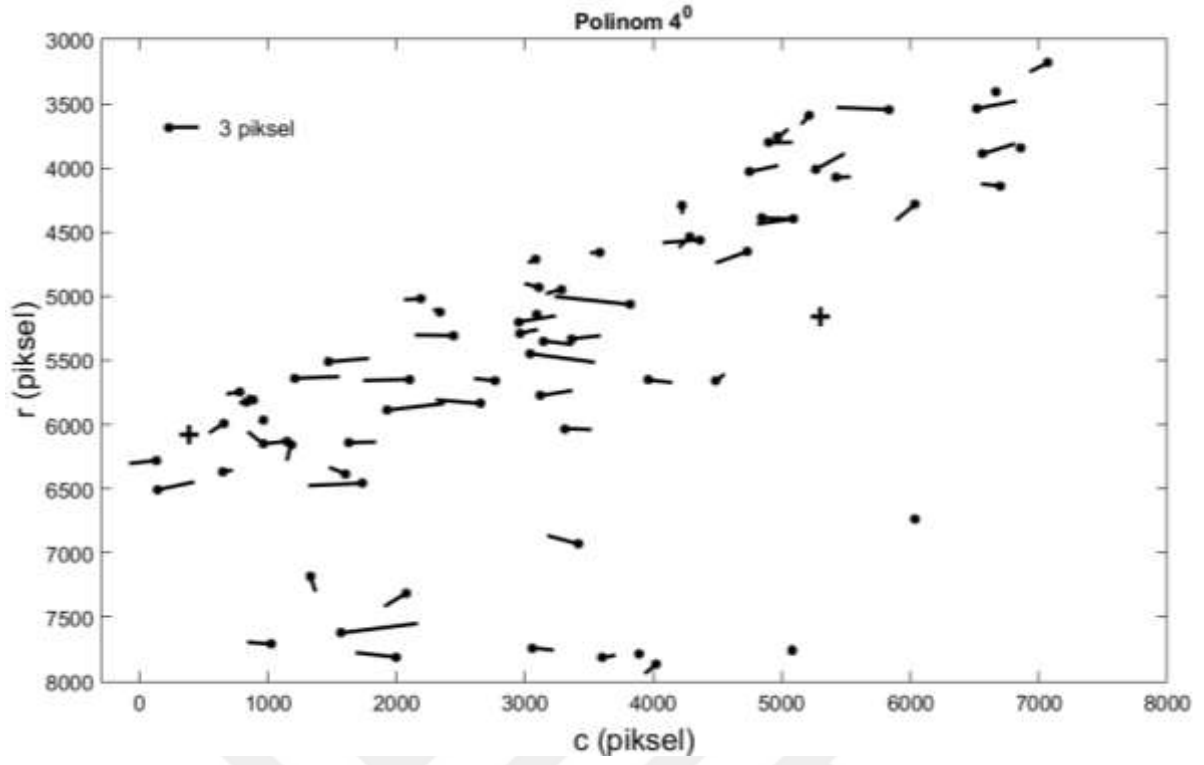
Şekil 3.10. Afin (1° polinom) dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 3.45$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).



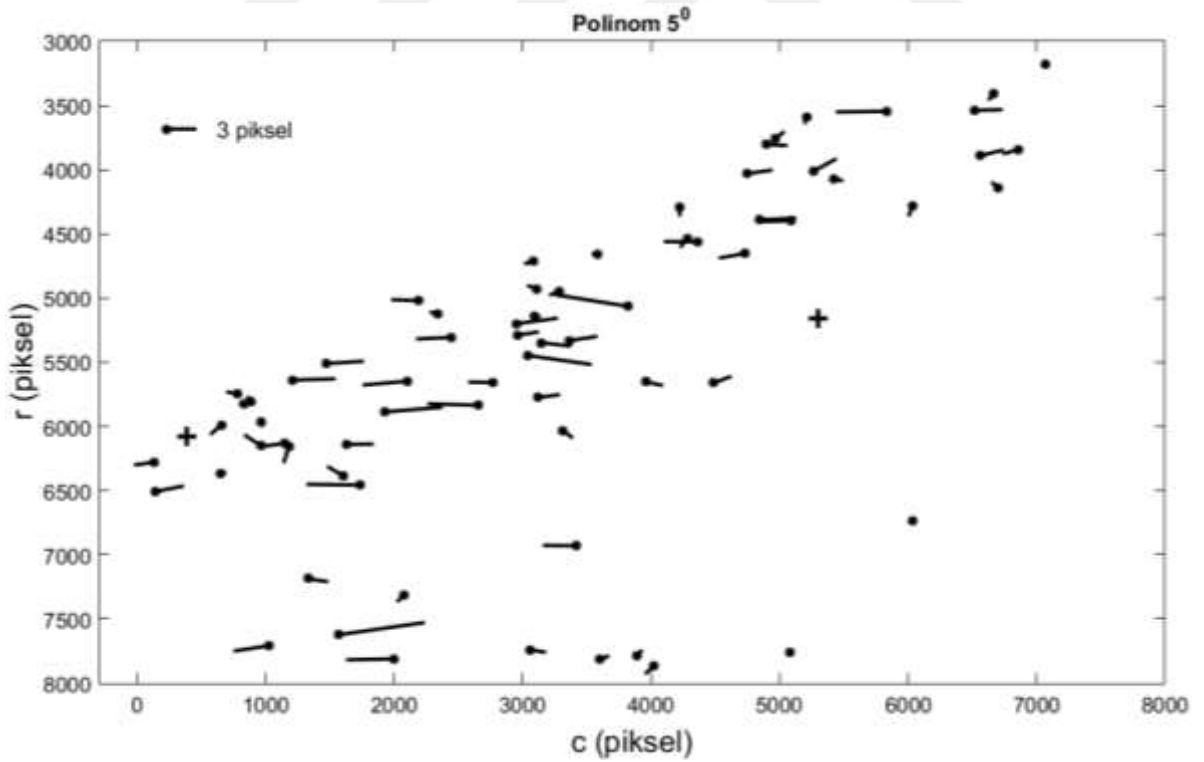
Şekil 3.11. 2° polinom dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 2.52$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).



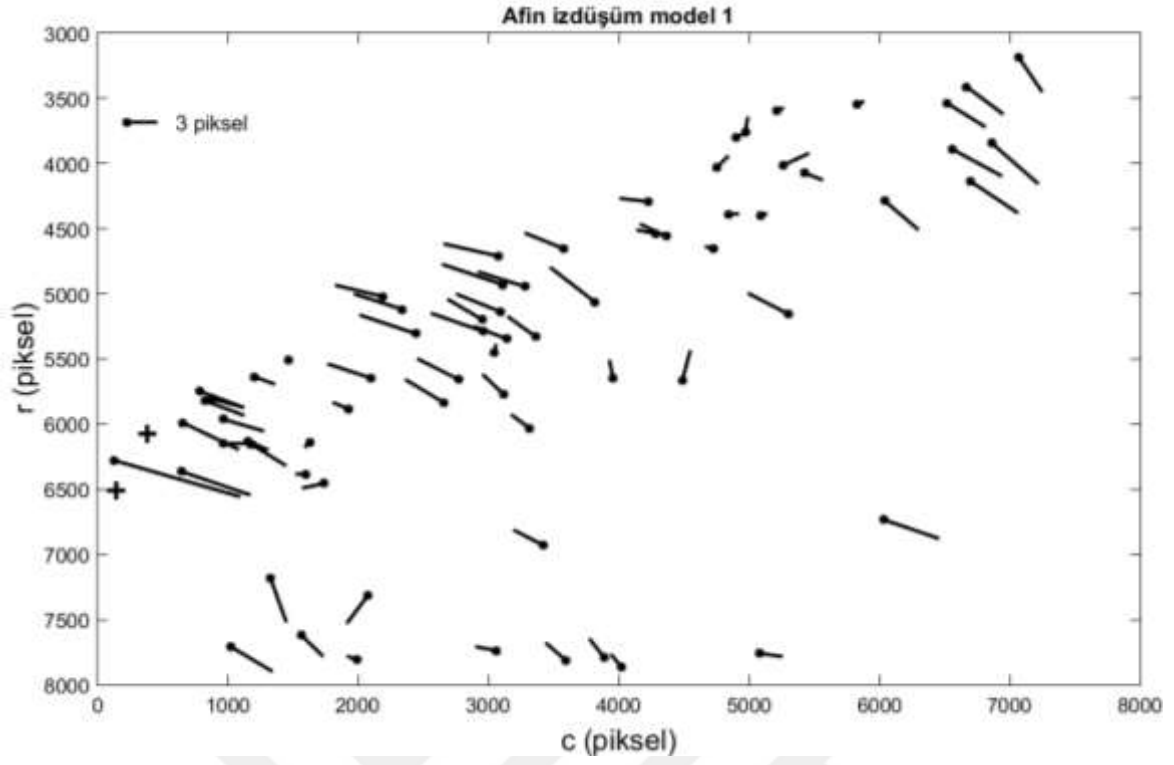
Şekil 3.12. 3° polinom dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 2.41$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).



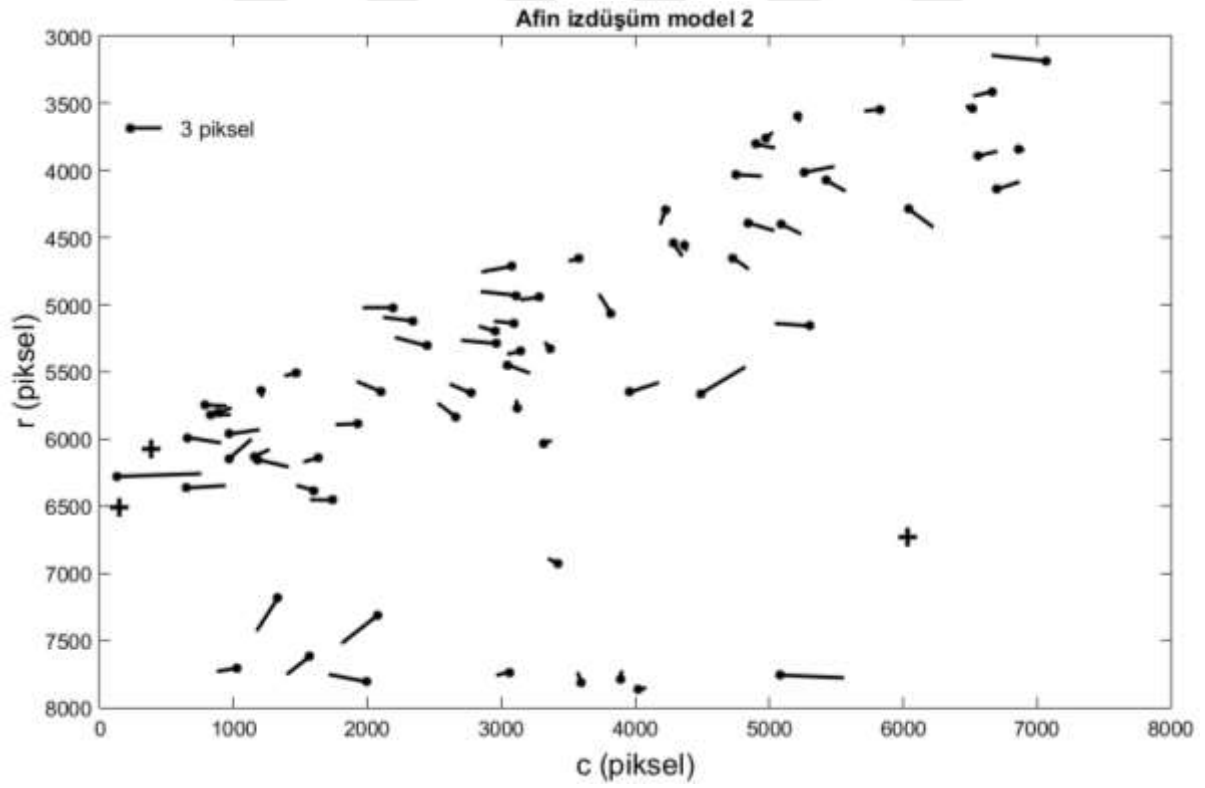
Şekil 3.13. 4° polinom dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 2.24$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).



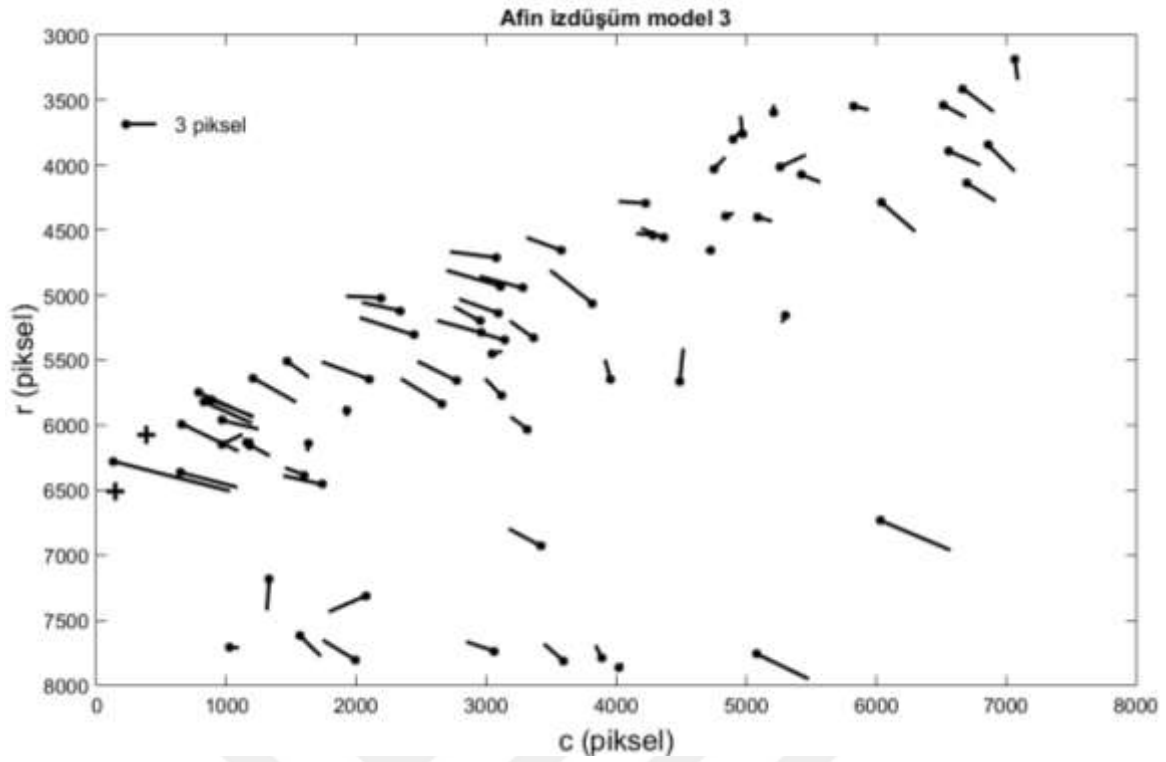
Şekil 3.14. 5° polinom dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 2.10$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).



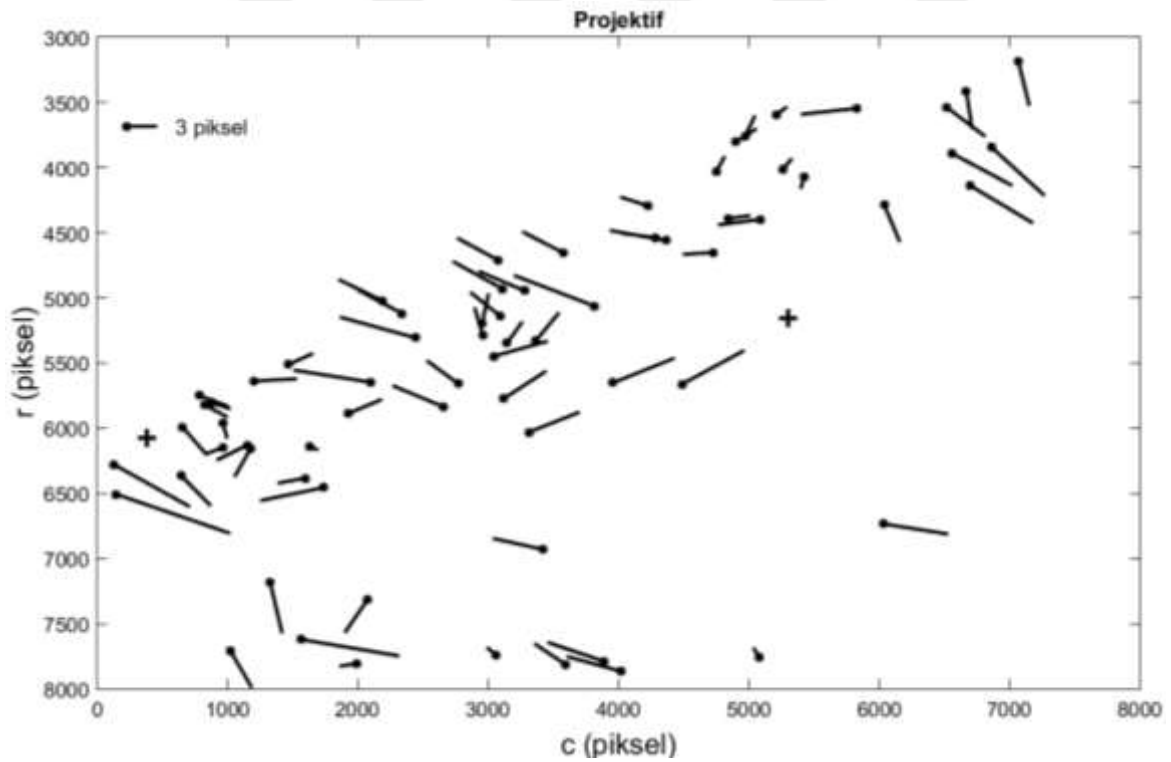
Şekil 3.15. Afin izdüşüm (Model 1) dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 2.77$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).



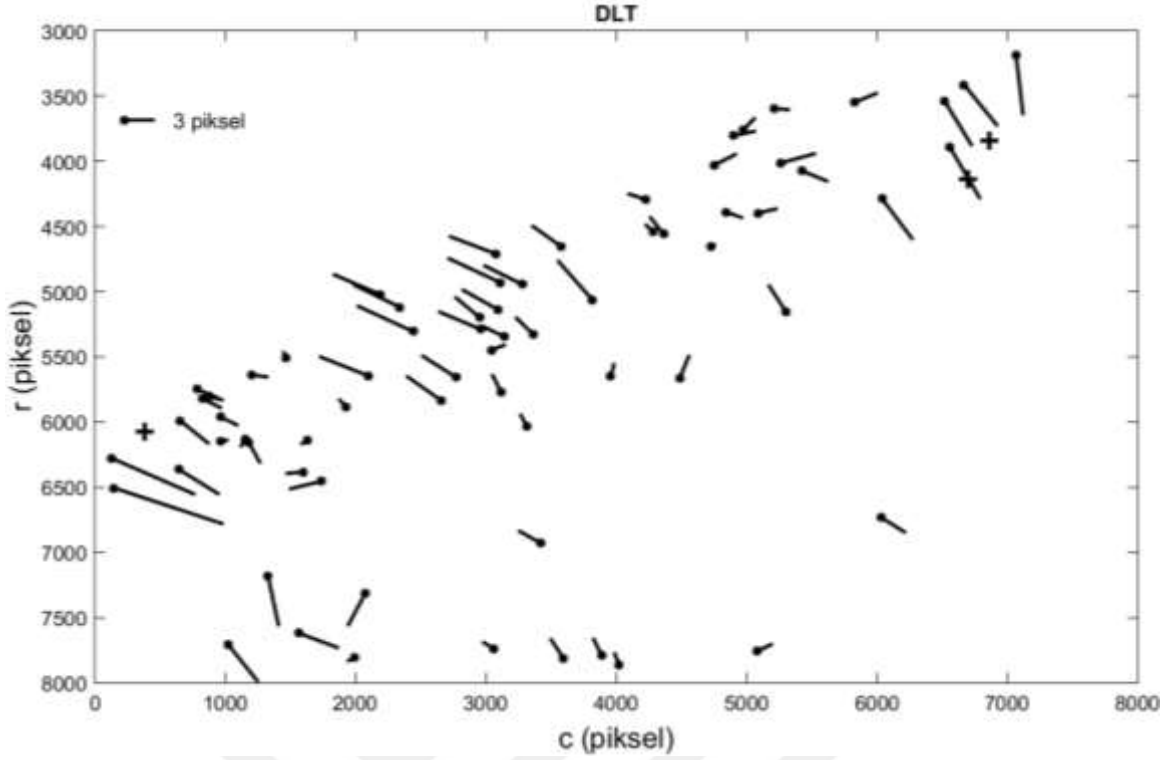
Şekil 3.16. Afin izdüşüm (Model 2) dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 1.83$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).



Şekil 3.17. Afin izdüşüm (Model 3) dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 2.60$ piksel, +: uyşumsuz nokta).



Şekil 3.18. Projektif dönüşüme ait hata vektörleri nün düzeltme vektörleri ($m_0 = \pm 3.33$ piksel, +: uyşumsuz nokta).

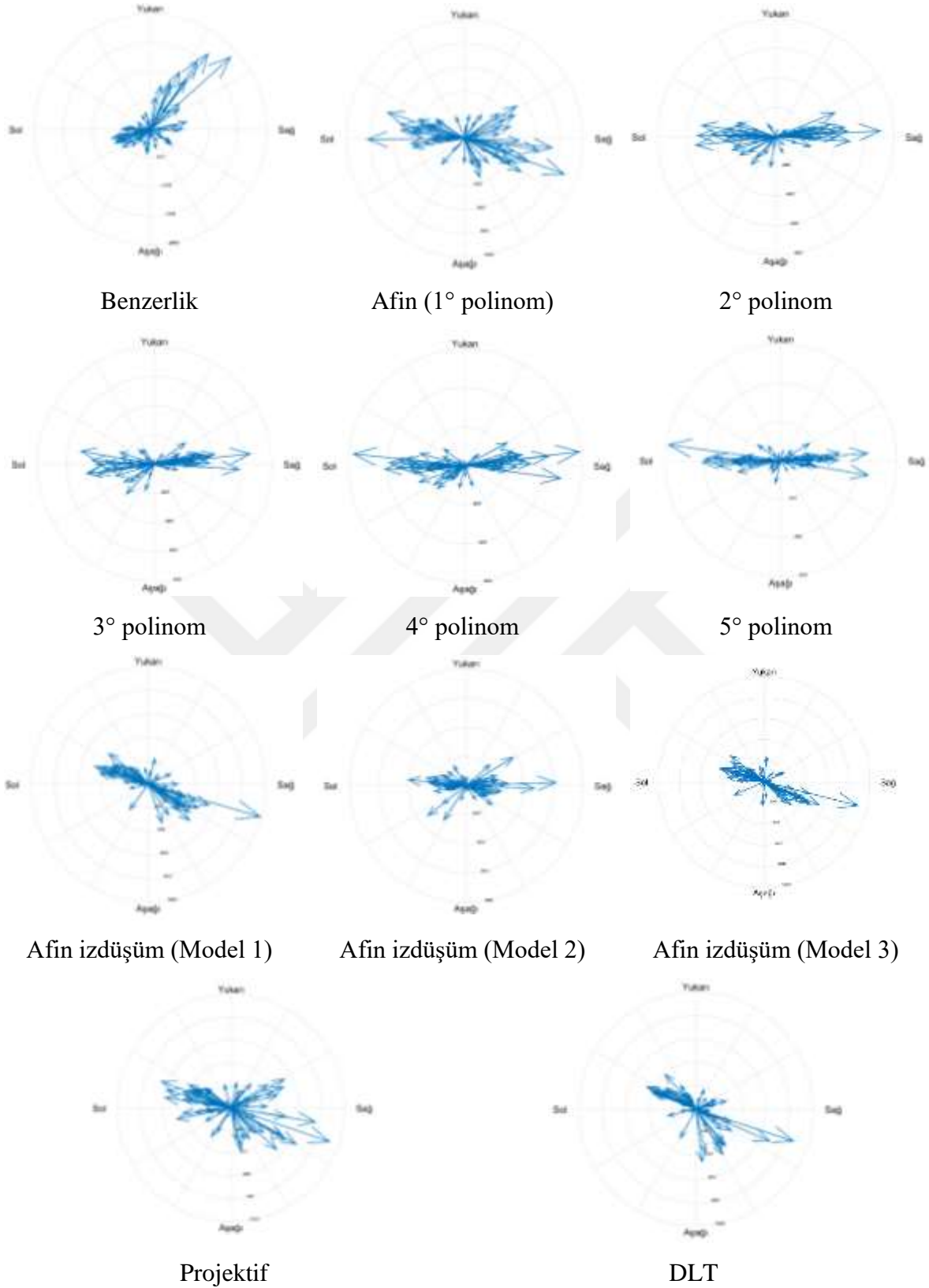


Şekil 3.19. DLT dönüşümüne ait hata vektörleri ($m_0 = \pm 2.58$ piksel, +: uyuşumsuz nokta).

3.4. ORTOGÖRÜNTÜNÜN KONUM DOĞRULUĞUNUN HESAPLANMASI

Öncelikle ortogörüntülerin konum doğruluğu 2.5 Ortogörüntünün Konum Doğruluğunun Belirlenmesi konusunda anlatıldığı üzere hesapla bulunmuştur. Bu hesapta, bir önceki bölümdeki uyuşumsuz ölçülerin belirlenmesindekinden farklı olarak koordinatlar orijinal değerleri ile hesaba katılmış, dolayısıyla $[-1, +1]$ aralığına getirilerek normalleştirme yapılmamıştır. Bunun nedeni, normalleştirme işlemi sonrası geri normalleştirmeye ihtiyaç duyulması ve bunun özellikle soncul varyans-kovaryans hesabında ve ortogörüntü üretiminde hesap karmaşıklığına neden olmasıdır. Çizelge 3.4, benzerlik, afın (2B) ve afın izdüşüm (Model 1 ve 3) için normalleştirme yapmadan hesaplanan dönüşüm doğruluğunu ve soncul doğruluk hesabı sonuçlarını göstermektedir. Sonuçlar irdelendiğinde, benzerlik ve 2B afın gibi yöntemlerle elde edilen doğruluğun, afın izdüşüm gibi yüksekliği dikkate alan modellere göre daha kaba sonuçlar elde ettiği ve dönüşüm doğruluğunun soncul doğruluk hesabı ile elde edilen değerlerin arasında kaldığı görülmektedir.

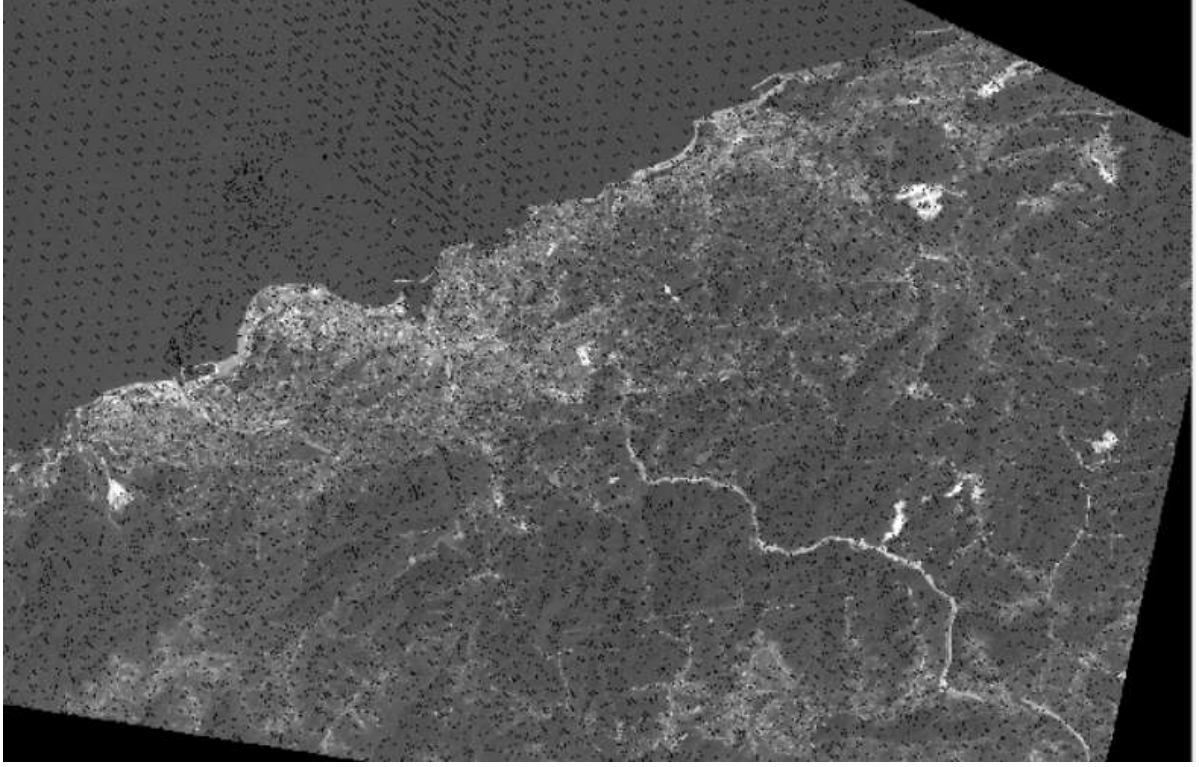
Bu hesabı takiben, Çizelge 3.4'de kullanılan yöntemlerin her biri için ayrı ayrı ortogörüntüler üretilmiştir. Şekil 3.21'da afın izdüşüm (Model 1) ile üretilen ortogörüntü gösterilmektedir.



Şekil 3.20. Hata vektörlerinin rüzgar gülü diyagramı ile gösterimi

Çizelge 3.4. Ortogörüntü doğruluğunun hesaplanması.

Dönüşüm Modeli		Uyuşumsuz ölçü testi sonrası dönüşüm doğruluğu			Soncul doğruluk hesabı	
		# YKN	\pm piksel	$\pm m$	<i>min-mak</i> \pm piksel	<i>min-mak</i> $\pm m$
Benzerlik		69	14.64	36.60	5.25 – 30.80	13.12 – 77.01
Afin (2B) / 1° Polinom		70	3.86	9.64	0.67 – 3.32	1.67 – 8.30
Afin izdüşüm	Model 1 (Genel)	70	2.55	6.38	0.59 – 3.64	1.47 – 9.10
	Model 3	70	2.52	6.31	0.62 – 6.12	1.55 – 15.30



Şekil 3.21. Afin izdüşüm (Model 1) yöntemiyle üretilen ortogörüntü.

3.5. DOĞRULUĞUN ORTOGÖRÜNTÜ ÜZERİNDEN BULUNMASI

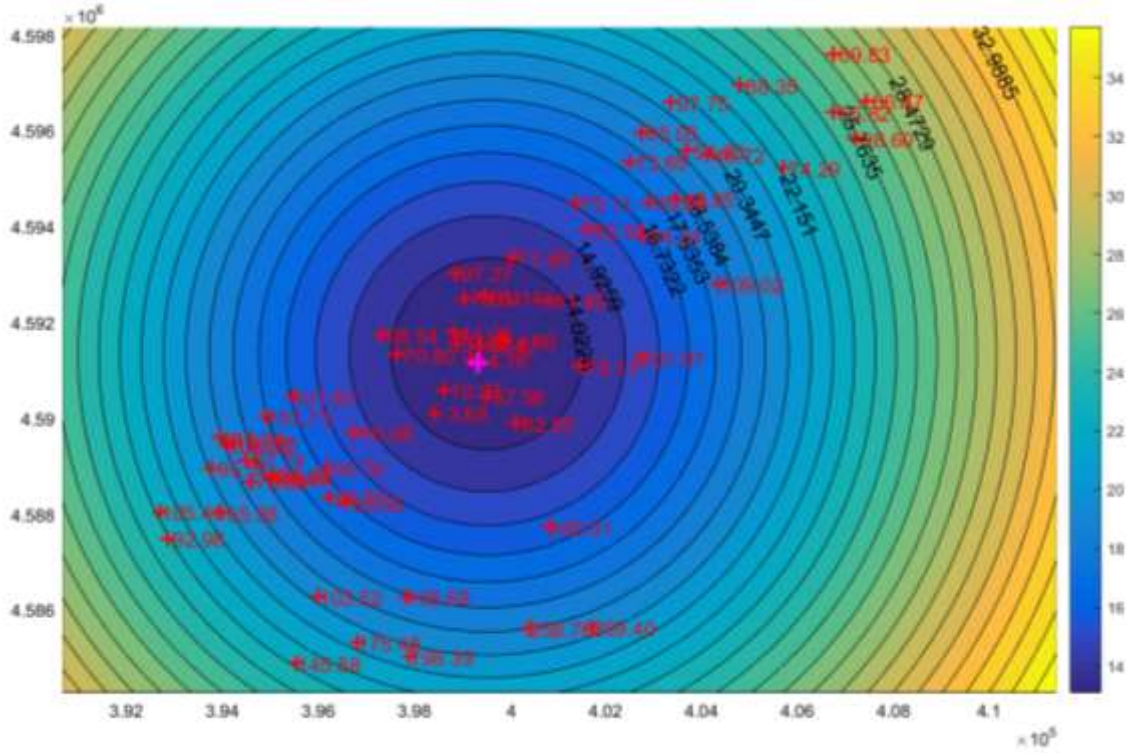
Bu bölümde, Çizelge 3.4'deki her bir dönüşüm modeline göre üretilen ortogörüntülerin üzerinden yatay nesne koordinatları elde edilmiş ve bu değerler GNSS ile elde edilen koordinatları ile karşılaştırılmıştır. Çizelge 3.5. incelendiğinde, ortogörüntü-GNSS koordinat farkının ± 3.68 m ile ± 299.40 m aralığında olduğu görülmektedir. Oysa bu değer ± 13.12 m ile ± 77.01 m aralığında olması öngörülmektedir.

Çizelge 3.5. Benzerlik dönüşüm yöntemiyle üretilen ortogörüntü - GNSS koordinat farkı ve soncul doğruluk değerleri.

YKN No	Ortogörüntü – GNSS ($\pm m$)	YKN No	Ortogörüntü – GNSS ($\pm m$)
184	3.68	2631	74.29
106	4.86	175	75.11
85	10.02	104	75.13
89	14.76	122	81.74
93	16.42	186	82.55
46	26.55	195	85.05
146	30.29	2601	86.47
108	31.45	248	88.35
71	33.56	26	92.98
171	34.24	35	95.51
90	34.88	95	97.27
66	36.70	114	97.75
98	37.58	80	98.54
68	40.48	2621	98.60
133	43.95	62	101.57
91	44.06	42	103.52
276	46.72	59	103.73
43	49.64	27	105.40
178	50.93	55	106.35
272	54.63	167	107.97
51	56.04	54	108.57
96	61.14	299	109.02
28	65.58	37	117.34
255	65.82	214	145.58
247	69.83	72	156.68
52	70.59	40	175.48
185	70.80	100	182.91
111	71.49	160	198.39
94	73.64	261	258.70
137	73.65	259	299.40

Soncul doğruluk		
	$\pm piksel$	$\pm m$
Maksimum	30.80	77.01
Minimum	5.25	13.12
$\pm m_0$	14.64	36.60

Şekil 3.22’de ise soncul doğruluk değerlerine göre çizdirilmiş olan eş-doğruluk eğrileri ve Çizelge 3.5’deki YKN’lerin yatay koordinat farkları gösterilmektedir. Beklenildiği üzere soncul doğruluk değerleri YKN’lerinin ağırlık merkezinden dışarıya doğru artmaktadır. Ancak YKN’lerin koordinat farkları için bunu söylemek mümkün değildir.



Şekil 3.22. Benzerlik dönüşümüne göre soncul eş-doğruluk eğrileri ve YKN'lerin ortogörüntü-GNSS farkları.

Afin dönüşüm için elde edilen soncul doğruluk değerleri ise $\pm 1.67-8.30$ m aralığında hesaplanırken, YKN'lerin koordinat farkı ise $0.63-29.29$ m aralığında hesaplanmıştır. Benzerlik dönüşümüne göre sonuçlar iyileşmiş ve özellikle ortogörüntü ile daha yüksek doğruluklu koordinatlar elde edilmiştir (Çizelge 3.6). Şekil 3.23 incelendiğinde doğruluğun yine YKN'lerin ağırlık merkezinden başladığı ancak benzerliktekinden farklı olarak elips yapısında dışarıya doğru arttığı görülmektedir. YKN'lerin koordinat farkları ise yine rastgele bir dağılıma sahiptir.

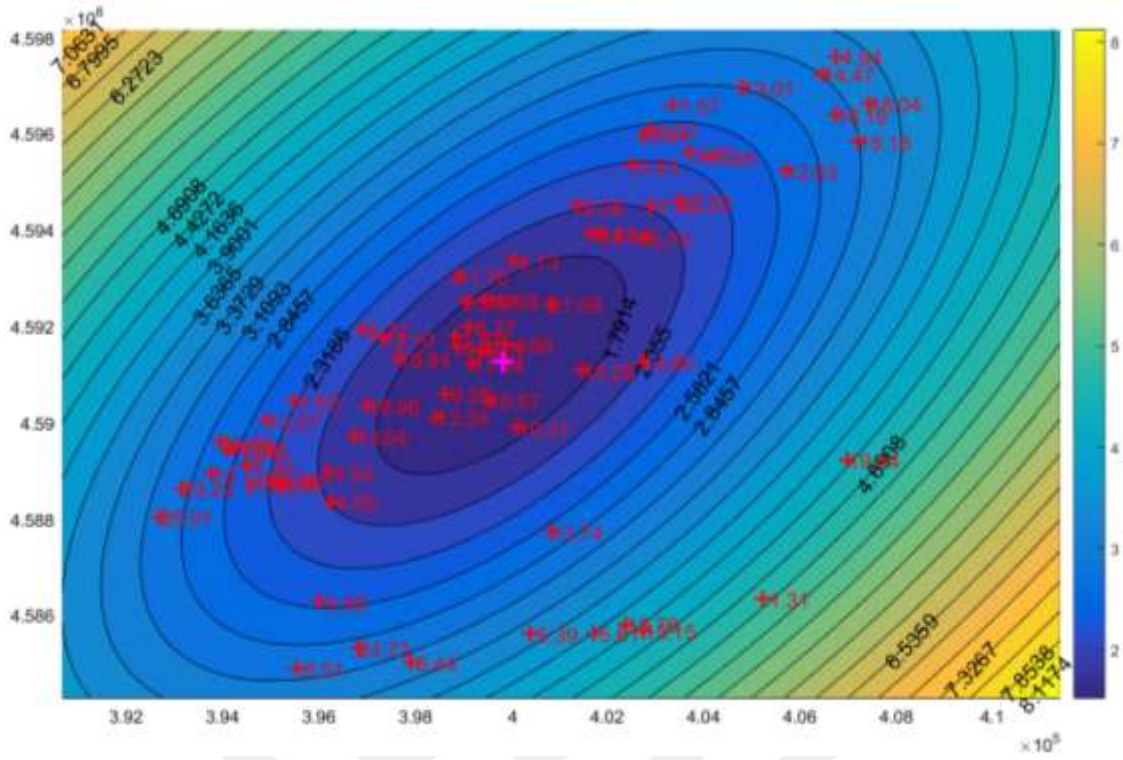
Afin izdüşüm (Model 1) yöntemi ile $\pm 1.47-9.10$ m soncul doğruluk hesabı yapılmış ve ± 1.12 m ile ± 15.07 m koordinat farkı bulunmuştur (Çizelge 3.7). Birbirine yakın çıkan bu sonuçlar benzerlik ve afin dönüşüme oranla daha önemli ve anlamlıdır. Zira ilk iki yöntemde hem hesapta yükseklik doğruluğu dikkate alınmamakta, hem de ortogörüntü üretimi yükseklik kullanılmadan yapılmaktadır. Haliyle yükseklikten kaynaklanan kayıklıklar ilk iki modelde giderilememektedir. Oysa afin izdüşümde bu hata giderilmiş ve daha tutarlı sonuçlara ulaşılmıştır.

Şekil 3.24 incelendiğinde görülmektedir ki Çizelge 3.7’de soncul doğruluk aralığı ile ortogörüntünün en küçük ve büyük koordinat farkları birbirine yakın olduğu halde bu farklar soncul doğruluğa ait aralıkta yer almamakta ve rastgele bir dağılım göstermektedir. Soncul doğruluğa ait eğriler ise yükseklik değişimi ile uyumludur.

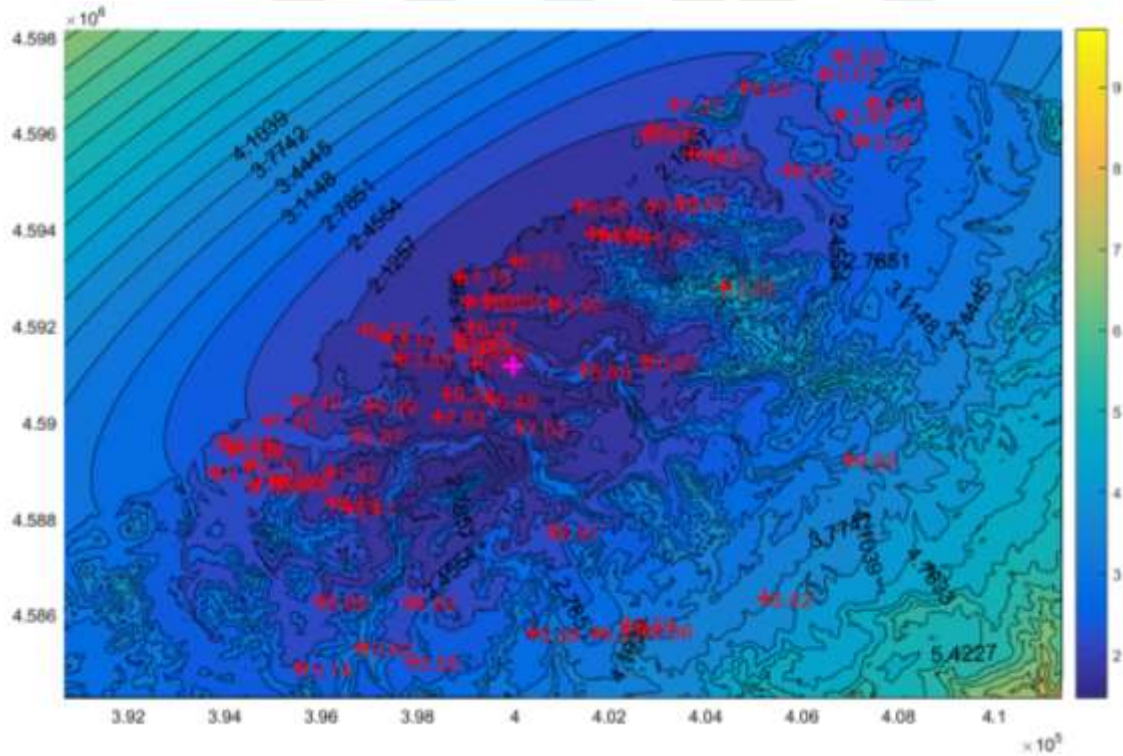
Çizelge 3.6. Afin dönüşüm yöntemiyle üretilen ortogörüntü - GNSS koordinat farkı ve soncul doğruluk.

YKN No	Ortogörüntü – GNSS ($\pm m$)	YKN No	Ortogörüntü – GNSS ($\pm m$)
137	0.63	55	10.54
146	1.12	98	10.57
289	1.31	96	10.68
52	1.41	89	11.34
114	1.57	54	11.54
91	1.91	95	11.70
276	1.95	37	11.85
272	2.05	184	12.24
51	3.96	59	12.27
46	4.08	133	12.29
66	4.54	2631	12.83
106	4.86	248	13.01
247	4.94	68	13.04
261	5.39	80	13.10
214	5.51	258	13.15
259	5.61	100	13.74
115	6.02	168	13.76
43	6.06	249	14.47
93	6.07	35	14.72
90	6.32	167	14.80
97	6.37	176	14.94
195	6.61	94	15.07
79	6.72	2621	15.18
122	7.30	104	15.28
62	7.83	2601	18.04
178	8.21	255	18.16
160	8.44	185	18.84
111	8.73	74	18.96
175	9.08	305	19.84
85	9.28	108	21.59
171	9.70	40	24.72
42	9.88	27	25.91
186	10.31	119	29.29

Soncul Varyans - Kovaryans		
	$\pm piksel$	$\pm m$
Maksimum	3.32	8.30
Minimum	0.67	1.67
$\pm m_0$	3.86	9.64



Şekil 3.23. Afın dönüşüm yöntemine göre soncul eş-doğruluk eğrileri ve YKN'lerin ortogörüntü-GNSS farkları.



Şekil 3.24. Afın izdüşüm (Model 1) dönüşümüne göre göre soncul eş-doğruluk eğrileri ve YKN'lerin ortogörüntü-GNSS farkları.

Çizelge 3.7. Afin iz düşüm (Model 1) dönüşüm yöntemiyle üretilen ortogörüntü - GNSS koordinat farkı ve soncul doğruluk.

YKN No	Ortogörüntü – GNSS ($\pm m$)	YKN No	Ortogörüntü – GNSS ($\pm m$)
146	1.12	111	8.73
66	1.32	100	8.91
114	1.57	175	9.08
171	1.80	85	9.28
46	2.30	91	9.45
71	2.41	42	9.88
68	2.87	305	9.92
258	3.36	2631	9.95
62	3.49	51	9.98
160	3.56	74	9.99
133	3.66	249	10.01
178	3.85	214	10.14
93	3.96	2621	10.34
89	4.56	167	10.52
248	4.63	90	10.54
176	4.99	40	10.60
276	5.21	96	10.68
261	5.39	52	11.30
289	5.42	122	11.35
98	5.48	55	11.51
259	5.61	54	11.54
168	5.69	95	11.70
115	6.02	37	11.85
272	6.23	299	12.03
97	6.37	43	13.08
195	6.61	80	13.10
247	6.69	2601	13.44
79	6.72	185	13.85
72	6.82	108	13.90
104	6.88	255	13.99
186	7.03	35	14.72
59	7.40	94	15.07
184	7.83		

Soncul doğruluk		
	\pm piksel	$\pm m$
Maksimum	3.64	9.10
Minimum	0.59	1.47
$\pm m_0$	2.55	6.38

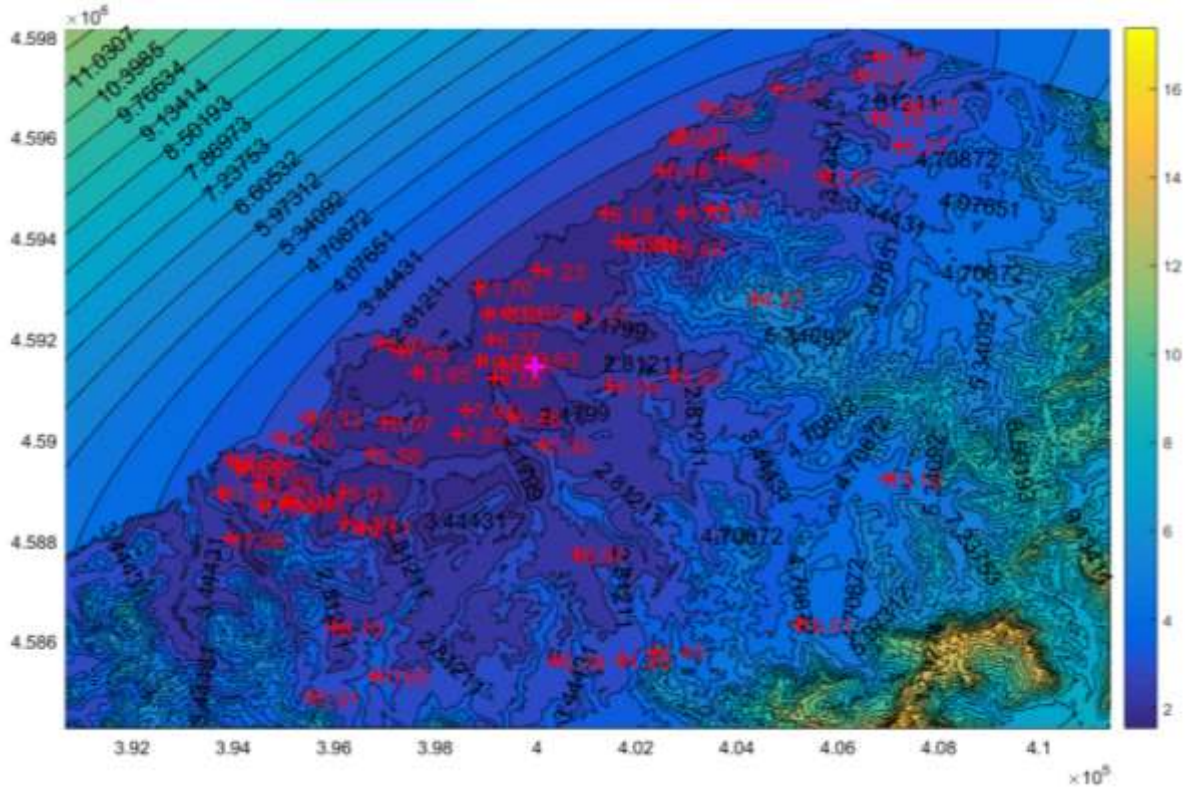
Afin iz düşüm (Model 1) ile elde edilen sonuçlara benzer şekilde soncul doğruluk değerleri ± 1.55 - 15.30 m olarak bulunmuş ve ortogörüntü-GNSS koordinat farkları ± 0.86 m ile ± 21.29 m aralığında bulunmuştur.

Çizelge 3.8. Afin izdüşüm (Model 3) dönüşüm yöntemiyle üretilen ortogörüntü - GNSS koordinat farkı ve soncul doğruluk.

YKN No	Ortogörüntü – GNSS ($\pm m$)	YKN No	Ortogörüntü – GNSS ($\pm m$)
176	0.86	97	6.37
146	1.12	195	6.61
115	1.31	247	6.69
168	1.45	184	7.83
259	1.88	80	7.88
46	2.30	85	7.94
186	2.34	42	8.10
248	2.51	255	8.16
68	2.98	100	8.91
178	3.59	74	8.97
106	3.63	2601	9.27
93	3.96	249	10.01
104	4.04	62	10.33
79	4.07	90	10.54
71	4.17	40	10.60
111	4.23	96	10.68
114	4.38	52	11.30
89	4.56	95	11.70
299	4.57	108	11.77
51	5.04	122	11.88
175	5.18	59	12.40
276	5.21	2631	12.83
261	5.39	43	13.08
137	5.46	185	13.85
171	5.48	94	14.33
98	5.48	305	15.12
214	5.51	55	16.21
167	5.53	54	16.47
2621	5.77	289	16.51
272	5.81	37	17.56
66	5.83	28	17.98
133	5.95	35	21.29

Soncul doğruluk		
	$\pm piksel$	$\pm m$
Maksimum	6.12	15.30
Minimum	0.62	1.55
$\pm m_0$	2.52	6.31

Ancak Şekil 3.25 incelendiğinde, Model 1'dekine benzer şekilde, yükseklik değişimine uygun bir soncul doğruluk dağılımı görülmektedir. Ancak ortogörüntü-GNSS koordinat farkları beklenen aralıkta değildir ve rastgele dağılmaktadır.



Şekil 3.25. Afin izdüşüm (Model 3) yöntemine göre soncul eş-doğruluk eğrileri ve YKN'lerin ortogörüntü-GNSS farkları.

BÖLÜM 4

SONUÇ

Bu tez kapsamında, algılayıcıdan bağımsız dönüşüm modelleri kullanılarak üretilecek ortogörüntülerin konum doğruluğuna, ortogörüntü üretiminde kullanılan ek verilerin ve yöntemlerin katkısı kuramsal ve deneysel olarak araştırılmıştır. En yaygın kullanılan algılayıcıdan bağımsız dönüşüm modelleri olan benzerlik, afin, afin izdüşüm (iki farklı model) yöntemleri kullanılarak GÖKTÜRK-2 pankromatik görüntüsünden (2.5 m YÖA) SPOT-5'den üretilen SYM kullanılarak 5 m YÖA değerine sahip ortogörüntüler üretilmiştir. Üretilen ortogörüntülerin soncul doğruluk değeri, kuramsal olarak YKN'ler ile bulunan dönüşüm katsayılarının doğruluğundan ve SYM'nin doğruluğundan etkilenmektedir ve bu soncul doğruluk hesapla bulunabilir. Bu soncul doğruluk değerleri üretilen ortogörüntüdeki koordinat farkları ile karşılaştırılmıştır ve bu konuda bir kanıya varılmaya çalışılmıştır.

Elde edilen sonuçlara göre görülmektedir ki benzerlik ve afin gibi YKN'nin yüksekliğini kullanmayan modellerle hem kuramsal hem de deneysel olarak elde edilen doğrulukların kaba olduğu görülmüştür ki bu beklenen bir sonuçtur. Çünkü bu iki model yükseklikten kaynaklanan kayıklığı modellememektedirler. Afin izdüşüm ise bu durumu dikkate almaktadır ve soncul doğruluk değerleri ile ortogörüntü-GNSS farklarının hemen hemen birbirine yakın bir aralığa sahip olduğu görülmektedir. Ancak, beklenenin aksine, YKN'leri için ortogörüntü-GNSS koordinat farkları hesapla bulunan soncul doğruluk aralığında kalmamaktadır. Bunun olası sebepleri aşağıda listelenmektedir:

1. SYM doğruluğunun doğru belirlenmesi son derece önemlidir. Zira SYM'nin yatay ve düşey doğruluğuna göre hesaplanan kuramsal olarak bulunan soncul doğruluk değerleri ortogörüntü-GNSS farklarına göre daha yüksek doğruluğa (daha düşük koh değerine) sahiptir.

2. En önemli etkenlerden birisi olan yükseklik doğruluğu çalışma bölgesinin heryeri için aynı olmadığı halde tek bir değer olarak kabul edilmiştir. Oysa SYM'nin her bir pikseli için farklı bir doğruluk değerinin alınması daha doğru bir yaklaşımdır.
3. Dönüşüm hesabında tüm koordinatları normlandırmak, özellikle ters alma işlemlerinde matrisin olası kötü kondüsyonundan kaynaklanacak sorunu ortadan kaldırabilir veya kötü kondüsyonlu matrislerin tersi hesaplanırken kullanılabilir olan pivotlama veya Cholesky gibi ters alma yöntemleri kullanılarak daha doğru bir dönüşüm ve doğruluk hesabı yapılabilir.

Tüm bunlara rağmen, daha önceki çalışmalara ek olarak ortogörüntü üretimi yapılabilmektedir ve yukarıda sıralanan maddeler ışığında ileriye dönük olarak çalışmalar sürdürülebilir.



KAYNAKLAR

- Abdel-Aziz Y I and Karara M** (1971) Direct Linear Transformation from Comparator Co-ordinates into Objectspace Co-ordinates in Close-range Photogrammetry. *American Society of Photogrammetry Symposium*, 26-29 January 1971, Virginia, United States, 420-475.
- Abdikan S, Arıkan M, Sanli F B and Cakir Z** (2014) Monitoring of coal mining subsidence in peri-urban area of Zonguldak city (NW Turkey) with persistent scatterer interferometry using ALOS-PALSAR. *Environmental Earth Sciences*, 71 (9): 4081-4089.
- Aguilar M A, Aguilar F J, Agüera F and Sánchez J A** (2007) Geometric accuracy assessment of QuickBird basic imagery using different operational approaches. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73 (12): 1321-1332.
- Akça D** (2007) Least Squares 3D Surface Matching. *PhD Thesis*, ETH (Eidgenössische Technische Hochschule), Institute of Geodesy and Photogrammetry, Zürich, 78.
- Atak V O, Erdoğan M and Yılmaz A** (2015) Göktürk-2 Uydu Görüntü Testleri. *Harita Dergisi*, 153: 18-33.
- Bayık Ç, Topan H, Özendi M, Oruç M, Cam A and Abdikan S** (2016) Uzaktan Algılama Görüntülerinden Konuma Bağlı Bilgi Üretimi Araştırmalarında Zonguldak Test Alanının Önemi. *VI. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, 5-7 Ekim 2016, Adana, Türkiye, 957-967.
- Belward A S and Skøien J O** (2015) Who launched what, when and why; trends in global land-cover observation capacity from civilian earth observation satellites. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 103: 115-128.
- Büyüksalih G Akcin H and Jacobsen K Büyüksalih G, Akcin, H., Jacobsen, K.** (2006) Geometry of OrbView-3 Images. *ISPRS Topographic Mapping From Space (with Special Emphasis on Small Satellites)*, 14-16 Feb. 2006, Ankara, Turkey.
- Büyüksalih G, Koçak G, Topan H, Oruç M and Marangoz A** (2005) SPOT Revisited: Accuracy Assessment, DEM Generation and Validation from Stereo SPOT 5 HRG Images. *Photogrammetric Record*, 20 (110): 130-146.
- Büyüksalih G, Oruç M and Koçak G** (2003) Geometric Accuracy Testing of Ikonos Geo-Product Mono Imagery Using Different Sensor Orientation Models. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 27 (2003): 347-360.
- Chen J, Dowman I, Li S, Li Z, Madden M, Mills J, Pappadimitis N, Rottensteiner F, Sester M, Toth C, Trinder J and Heipke C** (2016) Information from imagery: ISPRS

scientific vision and research agenda. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 115: 3-21.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Chen L-C and Teo T-A (2002) Rigorous generation of digital orthophotos from EROS-A high resolution satellite images. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing And Spatial Information Sciences*, 9-12 July 2002, Ottawa, Canada, 620-625.

Chmiel J, Kay S and Spruyt P (2004) Orthorectification and geometric quality assessment of very high spatial resolution satellite imagery for Common Agricultural Policy purposes. *XXth ISPRS Congress - The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 12-23 July 2004, Istanbul, Turkey, 1019-1024.

Cracknell A P and Varotsos C A (2007) Editorial and cover: Fifty years after the first artificial satellite: from Sputnik 1 to ENVISAT. *International Journal of Remote Sensing*, 28 (10): 2071-2072.

Çınar E (2014) GÖKTÜRK-2 Uydu Sisteminin Operasyonel Kabiliyetleri. *Yer Gözlem Uydu Teknolojileri ve Veri Kıymetlendirme Çalıştayı*, 19-20 Mart 2014, Ankara, Türkiye.

Demirel H (2003) *Dengeleme Hesabı / Hüseyin DEMİREL*, ISBN: 975-461-375-3, Yıldız Teknik Üniversitesi Basım-Yayın Merkezi, İstanbul.

Dowman I and Dolloff J T (2000) An evaluation of rational functions for photogrammetric restitution. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, XXXIII (B3/1): 254-266.

Efendioğlu M, Teke M, Topan H, İmre S E and Cam A (2016) Göktürk-2 Uydu Görüntülerinin Orantısal İşlev Modeli Kullanılarak Konum Doğruluğunun Değerlendirilmesi. *24. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, 16-19 Mayıs 2016, Zonguldak, Türkiye.

Gruen A and Akca D (2005) Least squares 3D surface and curve matching. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 59 (3): 151-174.

Henrico I, Combrinck L and Eloff C (2016) Accuracy comparison of Pléiades satellite ortho-images using GPS device based GCPs against TerraSAR-X-based GCPs. *South African Journal of Geomatics*, 5 (3): 358-372.

Hohle J K and Potuckova M (2005) Automated quality control for orthoimages and DEMs. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 71 (1): 81-87.

Hu Y and Tao C V (2002) Updating solutions of the rational function model using additional control information. *Photogrammetric engineering and remote sensing*, 68 (7): 715-724.

Jacobsen K (2003) Geometric Potential of IKONOS and QuickBird Images. *Photogrammetric Week*, 01-05 September 2003, Stuttgart, Germany, 10.

Jacobsen K (2006) Pros and Cons of the Orientation of Very High Resolution Optical Space Images. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXVI (Part 1, Com. 1): 7.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Jacobsen K and Topan H (2015) DEM Generation With Short Base Length Pléiades Triplet. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Informaiton Sciencies*, XL-3/W2: 81-86.

Kapnias D, Milenov P and Kay S (2008) *Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery*, ISBN: 978-92-79-10969-0, European Commission, Joint Research Centre, Institute for the Protection and Security of the Citizen, 36 pp.

Keating T J and Boston D R (1979) Digital Orthophoto Production Using Scanning Microdensitometers. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 45 (6): 735-740.

Kulur S, Yildiz F, Selcuk O and Yildiz M A (2016) The Effect of Pixel Size on the Accuracy of Orthophoto Production. *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, 53-57.

Kurt O (2002) *İki Boyutlu Benzerlik ve Afin Dönüşümü*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Joedezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Zonguldak.

Küpçü R (2015) RASAT ve GÖKTÜRK-2 Uydu Görüntülerinin Uzaktan Algılama Yazılımları İle Farklı Referans Verileri Kullanarak Geometrik Düzeltme Doğruluğunun Araştırılması.Yüksek Lisans Tezi, Anadolu University, Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 123.

Küpçü T, Teke M and Çabuk A (2014) RASAT ve GÖKTÜRK-2 Görüntülerinin Ortorektifikasyon Başarımına Referans ve Sayısal Yükseklik Modeli Seçiminin Etkisi. *5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, 14-17 Ekim 2014, İstanbul, Türkiye.

Leprince S, Barbot S, Ayoub F and Avouac J P (2007) Automatic and precise orthorectification, coregistration, and subpixel correlation of satellite images, application to ground deformation measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 45 (6): 1529-1558.

Lingua A and Mondino E B (2003) High-resolution satellite imagery orthoprojection using dense DEM. *Image and Signal Processing for Remote Sensing VIII*, 13 March 2003, 433-444.

Maktav D and Sunar F (1991) *Uzaktan Algılama: Kantitatif Yaklaşım*. 1. edition, Hürriyet Ofset AŞ, İstanbul, 429 s.

Mayr W and Heipke C (1988) A contribution to digital orthophoto generation. *International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing*, 27 (B11): 430-439.

Michalis P (2005) Generic Rigorous Model For Along Track Stereo Satellite Sensors. *Tehsis*, University Colloge London, Department of Geomatic Engineering, London, United Kingdom, 258.

Mutluoğlu O and Güven M (2017) Accuracy Investigation of DEM Based on GÖKTÜRK-2 Stereo Images. *Selcuk University Journal of Engineering, Science and Technology*, 5 (2): 220-227.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

OGC (1999) *The OpenGIS® Abstract Specification Topic 6: The Coverage Type and its Subtypes Version 4*, Adres: http://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=7198.

Ok A Ö (2016) Göktürk-2 Stereoskopik Görüntülerinin Otomatik Eşlenmesi. *24. Sinyal İşleme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı*, 16-19 Mayıs, Zonguldak.

Ok A Ö (2017) GÖKTÜRK-2 Stereoskopik Görüntülerinden Sayısal Yüzey Modeli Üretimi. *TUFUAB IX. Teknik Sempozyumu*, 27-29 Nisan, Afyonkarahisar, Türkiye.

Okamoto A (1992) *Ultra-Precise Measurement Using Affine Transformation*, Washington, D. C., 318-322 pp.

Ottavianelli G and Vescovi F D (2018) Harmonisation of optical product types in relation to geometric corrections. *Remote Sensing Letters*, 9 (3): 258-264.

Passini R and Jacobsen K (2004) Accuracy analysis of digital orthophotos from very high resolution imagery. *Int. Archives of the Photogramm., Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XXXV (Part 4B): 695-700.

Poli D (2005) Modelling of spaceborne linear array sensors. *PhD Thesis*, ETH (Eidgenössische Technische Hochschule), Institute of Geodesy and Photogrammetry, Zürich, 186.

Reeves R (1975) *Manual of Remote Sensing*. 1 st edition, American Society of Photogrammetry. Falls Church, Va., 867 pp.

Sakarya U, Demirhan İ H, Devci H S, Teke M, Demirkesen C, Küpçü R, Öztoprak A F, Efendioğlu M, Şimşek F F, Berke E and Gürbüz S Z (2016) Absolute Radiometric Calibration of The GÖKTÜRK-2 Satellite Sensor Using Tuz Gölü (Landnet Site) From NDVI Perspective. *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLI-B1: 373-377.

Schofiel W and Breach M (2007) *Engineering Surveying*. Sixth edition, ISBN: 9780750669498, CRC Press, e-book, 638 pp.

Schowengerdt R A (2007) *Remote sensing: models and methods for image processing*, ISBN: 0080480586, Academic press, 515 pp.

Sertel E, Kutoglu S H and Kaya S (2007) Geometric correction accuracy of different satellite sensor images: application of figure condition. *International Journal of Remote Sensing*, 28 (20): 4685-4692.

Sunar F, Özkan C and Osmanoğlu B (2011) *Uzaktan Algılama*. 1. edition, ISBN: 978-975-06-0995-4, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir, 210 s.

Teke M (2016) Satellite Image Processing Workflow for Rasat and Göktürk-2. *Havacılık ve Uçay Teknolojileri Dergisi*, 9 (1): 1-13.

Teke M, Demirkesen C, Haliloğlu O and İmre E (2016) Göktürk-2 Uydusunun Bağlı ve Mutlak Çapraz Radyometrik Kalibrasyonu. *Harita Dergisi* (155): 32-52.

Topan H (2004) Yörünge Düzeltmeli IRS-1C/1D Pankromatik Mono Görüntüsünün Geometrik Doğruluk ve Bilgi İçeriği Açısından İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, 77.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

Topan H (2012) Yüksek Çözünürlüklü Uydu Görüntülerinin Koordinatlandırılmasında RFM Kullanımı. *IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012)*, 16-19 Kasım, Zonguldak, Türkiye, 127.

Topan H (2013) First Experience with Figure Condition Analysis Aided Bias Compensated Rational Function Model for Georeferencing of High Resolution Satellite Images. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 41 (4): 807-818.

Topan H (2014) Dönüşüm Katsayılarının ve Sayısal Yükseklik Modelinin Konum Doğruluğunun Ortogörüntülerin Konum Doğruluğu Üzerindeki Etkisinin Belirlenmesi: İkonos, QuickBird, OrbView-3 ve Pléiades-1A Görüntüleri ile Örnek Uygulama. *5. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, 14-17 Ekim, İstanbul, Türkiye.

Topan H, Cam A, Oruç M and Teke M (2016a) GÖKTÜRK-2 Görüntülerinin Geometrik ve Radyometrik Açından Değerlendirilmesi. *VI. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu*, 5-7 Ekim, Adana, Türkiye, 804-809.

Topan H, Cam A, Özendi M, Oruç M, Jacobsen K and Taşkanat T (2016b) Pléiades Project: Assessment of Georeferencing Accuracy, Image Quality, Pansharpening Performance and DSM/DTM Quality. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Prague (Czech Republic), 503-510.

Topan H and Kutoglu H S (2009) Georeferencing Accuracy Assessment of High-Resolution Satellite Images Using Figure Condition Method. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 47 (4): 1256-1261.

Topan H and Maktav D (2014) Efficiency of Orientation Parameters on Georeferencing Accuracy of SPOT-5 HRG Level-1A Stereoimages. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 52 (6): 3683-3694.

- Topan H, Oruç M and Koçak M G** (2007) Ortogörüntü Üretiminde Yer Kontrol Noktası Seçimi ve Sonuçlara Etkisi. *11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara, Türkiye, 2-6 Nisan 2007.
- Topan H, Oruç M, Taşkanat T and Cam A** (2014) Combined Efficiency of RPC and DEM Accuracy on Georeferencing Accuracy of Orthoimage: Case Study With Pléiades Panchromatic Mono Image. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 11 (6): 1148-1152.
- Topan H, Taşkanat T and Cam A** (2013) Georeferencing Accuracy Assessment of Pléiades 1A Images Using Rational Function Model. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 11-17 November 2013, 251-256.
- Trinder J, Donnelly B and KEONG K** (1988) SPOT mapping software for Wild Aviolyt BC 2 analytical plotter. *ESA, Proceedings of the 1988 International Geoscience and Remote Sensing Symposium(IGARSS)'88 on Remote Sensing: Moving Towards the 21 st Century*, 12-16 September 1988, Edinburgh, Scotland, 1801-1086.
- Turgut B and İnal C** (2003) Nokta Konum Duyarlıklarının İki ve Üç Boyutlu Koordinat Dönüşümüne Etkisi. *Coğrafi Bilgi Sistemleri ve Jeodezik Ağlar Çalıştayı*, 24-26 Eylül 2003, Konya, Türkiye, 155-161.

KAYNAKLAR (devam ediyor)

- Weser T, Rottensteiner F, Willneff J, Poon J and Fraser C S** (2008) Development and Testing of a Generic Sensor Model for Pushbroom Satellite Imagery. *The Photogrammetric Record*, 23 (123): 255-274.
- Yamakawa T** (2004) Linear Orientation Models for High-Resolution Satellite Line Scanner Imagery. *PhD Thesis*, The University of Melbourne, Department of Geomatics, Melbourne, 191.
- Yang G D and Zhu X** (2013) *Ortho-Rectification of SPOT 6 Satellite Images Based on RPC Models*, ISBN: 3037858346, Trans Tech Publ, 808-814 pp.
- Yaşayan A** (1978) *Hava Fotogrametrisinde İki Boyutlu Doğrusal Dönüşümler ve Uygulamalar*, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Yer Bilimleri Fakültesi, 106 s.
- Yetkin M, İnal C and Yiğit C Ö** (2009) Ölçülerin Korelasyonlu Olması Durumunda Robust Kestirim. *Jeoinformasyon ve Arazi Yönetimi Dergisi*, 1 (100).
- Zhang H, Pu R and Liu X** (2016) A New Image Processing Procedure Integrating PCI-RPC and ArcGIS-Spline Tools to Improve the Orthorectification Accuracy of High-Resolution Satellite Imagery. *Remote Sensing*, 8 (10): 827.
- Zoej M J V** (1997) Photogrammetric Evaluation of Space Linear Array Imagery For Medium Scale Topographic Mapping. *PhD Thesis*, Glasgow University, Faculty of Science, Scotland, 303.

ÖZGEÇMİŞ

Ali CAM, 1988 yılında Ödemiş'te doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini Ödemiş'te tamamladı. 2014 yılında Bülent Ecevit Üniversitesi Geomatik Mühendisliği Bölümü'nü bitirdi. Temmuz 2014 – Eylül 2017 yılları arasında 114Y380 ve 115Y239 numaralı TÜBİTAK projelerinde, burslu öğrenci olarak Bülent Ecevit Üniversitesi'nde görev aldı. Eylül 2017'den sonra İçişleri Bakanlığı'nın MAKS (Mekansal Adres Kayıt Sistemi) projesi kapsamında ASELSAN AŞ'de Bölge Sorumlusu olarak çalışmaktadır.

ADRES BİLGİLERİ:

Adres: Atatürk Mahallesi

Yarbay Caddesi No: 52 Kat: 3

35750 ÖDEMiŞ / İZMiR

E-posta: alicam193@gmail.com