

**TOPOGRAFİK VE TEMATİK HARİTALARIN YAPIMINA  
VERİ KAYNAĞI OLUŞTURACAK UYDU  
GÖRÜNTÜLERİNİN DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ ANALİZİ**

**DOKTORA TEZİ**  
**Yük. Müh. Cengizhan İPBÜKER**  
**(5019400210012)**

100658 100658

**Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 20 Şubat 1999**  
**Tezin Savunulduğu Tarih : 15 Haziran 1999**

**Tez Danışmanı : Prof.Dr. Oğuz MÜFTÜOĞLU (İTÜ)**

**Diğer Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Cankut ÖRMECİ (İTÜ)**

**Prof.Dr. Doğan UÇAR (İTÜ)**

**Prof.Dr. Turgut UZEL (YTÜ)**

**Prof.Dr. Semih DEDEOĞLU (İÜ)**

**HAZİRAN 1999**

## ÖNSÖZ

Yeryüzü kaynaklarını araştıran, topografik ve tematik haritalama çalışmaları için veri sağlayan uydu görüntülerinin amaca uygun geometrik düzeltilmeleri ve bir harita projeksiyon sisteminde tanımlanabilmeleri algoritmalarına uygun bir yöntem önermek ve konuya farklı bir tartışma getirmeyi amaçlayan bu çalışmanın konu ile ilgilenen araştırmacılara bir katkısı olması dileğiyle, yol göstericim ve kaynak pınarım Prof. Dr. Oğuz Müftüoğlu'na, yüksek lisans tezim sonrasında beni böylesi bir çalışmaya yönlendiren “*bu çalışmanın isim babası*” Sayın Prof. Dr. Cankut Örmeci'ye, Kartografya Bilimi konusunda beni yetiştiren ve her zaman bu konuda bilgilerine ihtiyaç duyduğum Sayın Prof. Dr. Doğan Uçar'a teşekkürü bir borç bilirim.

Her konuda yardımlaştığım tüm çalışma arkadaşlarıma da ayrı ayrı teşekkür ederim.

Cengizhan İpbüker

Haziran 1999

## İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	ii
İÇİNDEKİLER	iii
TABLO LİSTESİ	v
ŞEKİL LİSTESİ	vi
ÖZET	viii
SUMMARY	xi
1.GİRİŞ	1
2. UZAKTAN ALGILAMA UYDULARI VE ALGILAMA SİSTEMLERİ	5
3. UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN HARİTA ÜRETİMİ	14
3.1. Uydu görüntülerinden topografik harita üretimi	15
3.1.1. Harita tasarımı	16
3.1.2. Yüksekliklerin gösterimi	16
3.1.3. Uydu görüntü haritalarının üretimi	17
3.1.4. Uydu görüntü haritalarının özellikleri	17
3.1.5. Sayısal görüntü işleme	18
3.1.6. Amaca uygun ölçekler	18
3.1.7. Renklendirme olanakları	20
3.2. Tematik harita yapımı için uydularla uzaktan algılama	21
3.2.1. Temel altlık olarak uydu görüntü haritaları	21
3.2.2. Uydu görüntü verilerinden tematik değerlendirme	21
3.2.3. Uzaktan algılama verileri ile tematik harita üretiminin sorunları	22
3.3. Uydu verilerinin kartografik kullanımı	23

<b>4. SAYISAL GÖRÜNTÜLERİN ÖZELLİKLERİ VE DİSTORSİYONLAR</b>	<b>25</b>
4.1. Sayısal Görüntülerin özellikleri	25
4.1.1. Grafik dosya formatları	28
4.2. Görüntü oluşumu ve distorsiyonlar	30
4.3. Geometrik distorsiyonlar ve düzeltilmesi	31
4.4. Yer kontrol noktaları	34
<b>5. KONUMSAL DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ</b>	<b>38</b>
5.1. Polinom dönüşümleri	38
5.2. Sonlu elemanlar yöntemi	40
5.3. Radyal bazlı fonksiyonlar ile dönüşüm	43
5.3.1. İnce levha splayn fonksiyonu	45
5.3.2. Hardy'nin multikvadrik fonksiyonu	47
5.3.2.1. $R^2$ ve (U,V,X,Y) datası	51
5.4. Radyal bazlı fonksiyonlar ve polinomial fonksiyonlarda doğruluk	52
<b>6. UYGULAMA</b>	<b>54</b>
6.1. Çalışma detayları	54
6.1.1. Yatık perspektif projeksiyon prensibine göre 1 no.lu modelin oluşturulması	56
6.1.1.1. Yatık perspektif projeksiyon	57
6.1.1.2. Projeksiyon eşitlikleri	58
6.1.2. Büyüteç etkisi altında 2 no.lu modelin oluşturulması	60
6.1.2.1. Kartografik projeksiyonlarda büyüteç etkisi	60
6.1.2.2. Projeksiyon eşitlikleri	61
6.2. Kontrol noktalarının seçimi	64
6.3. Dönüşüm yöntemlerinin denenmesi	65
6.4. Uydu görüntüsü üzerinde sayısal uygulama	74
<b>7. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME</b>	<b>78</b>
<b>KAYNAKLAR</b>	<b>81</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ</b>	<b>88</b>

## TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No.</u>
<b>Tablo 2.1</b> 1993 yılı itibarı ile alan büyüklüğüne bağlı yüzdeler olarak dünyada topografik harita yapımının statüsü	6
<b>Tablo 2.2</b> Mevcut uzaktan algılama sistemleri	78
<b>Tablo 2.3</b> Amerika Birleşik Devletleri LANDSAT uydu algılama sistemi	8
<b>Tablo 2.4</b> Fransa SPOT uydu algılama sistemi	8
<b>Tablo 2.5</b> Japon uydu algılama sistemi	9
<b>Tablo 2.6</b> Almanya MOMS-02 uydu algılama sistemi özellikleri	10
<b>Tablo 2.7</b> Rusya kamera sistemleri	10
<b>Tablo 2.8</b> Rusya mevcut ve planlanan uzay misyonları	11
<b>Tablo 2.9</b> Hindistan uydu algılama sistemleri	12
<b>Tablo 2.10</b> Landsat 7 ve ETM (Enhanced Thematic Mapper) zenginleştirilmiş tematik algılayıcı özellikleri	12
<b>Tablo 2.11</b> Landsat 7 özellikleri	12
<b>Tablo 3.1</b> Uydu görüntü haritalarının yapımında tavsiye edilen ölçek değerleri	20
<b>Tablo 6.1</b> Polinom transformasyonu KOH (m)	65
<b>Tablo 6.2</b> Multiküadrik yöntem ile elde edilen KOH (m)	66
<b>Tablo 6.3</b> Her üç yönteme göre elde edilen KOH (m) karşılaştırılması (41 kontrol noktası)	68
<b>Tablo 6.4</b> Her üç yönteme göre elde edilen KOH (m) karşılaştırılması (13 kontrol noktası)	69
<b>Tablo 6.5</b> Dönüşüm yöntemleri ve elde edilen sonuçlar	76

## ŞEKİL LİSTESİ

	<u>Sayfa No.</u>
Şekil 3.1 Uzaktan algılama sistemlerinin çözünürlükleri ve tekrarlanma süreleri	18
Şekil 4.1 Algılayıcı platformun farklı yönelim düzensizliklerinden dolayı algılayıcının yeryüzündeki örtmesi	32
Şekil 6.1 Orijinal Görüntü	56
Şekil 6.2 Kutup konumlu olması durumunda yatık perspektif projeksiyonda izdüşümün geometrisi	57
Şekil 6.3 Yatık perspektif projeksiyonda koordinat sistemi	59
Şekil 6.4 Yatık perspektif projeksiyona göre oluşturulan 1. Model	60
Şekil 6.5 Örnek ağ	63
Şekil 6.6 (6.17) formülü ile büyüteç etkisi	63
Şekil 6.7 Büyüteç etkisi altında 2. Model	60
Şekil 6.8 Kontrol noktaları ve test noktalarının dağılımı (41 kontrol noktası)	65
Şekil 6.9 Kontrol noktaları ve test noktalarının dağılımı (13 kontrol noktası)	67
Şekil 6.10 Sayısal uygulama şeması	68
Şekil 6.11 1.Model örneğinde her üç yöntem ile elde edilen sonuçların 41 kontrol noktası ve 13 kontrol noktası kullanılması durumuna göre birbirleri ile grafik karşılaştırması	69
Şekil 6.12 1.modelde multikvadrik yöntem (2.derece polinom $C_g=0$ ) uygulandığında artık hataların vektörel gösterimi	70
Şekil 6.13 1.Modelde sonlu elemanlar yöntemi uygulandığında artık hataların vektörel gösterimi	71
Şekil 6.14 2. modelde multikvadrik yöntem (2.derece polinom $C_g=0$ ) uygulandığında artık hataların vektörel gösterimi	72

<b>Şekil 6.15</b>	2. modelde sonlu elemanlar yöntemi uygulandığında artık hataların vektörel gösterimi	72
<b>Şekil 6.16</b>	1.Modelde bölgesel karesel ortalama hatalar	73
<b>Şekil 6.17</b>	2.Modelde bölgesel karesel ortalama hatalar	73
<b>Şekil 6.18</b>	Uygulama alanının doğal görüntüsü	74
<b>Şekil 6.19</b>	Kontrol ve test noktalarının dağılımı	75
<b>Şekil 6.20</b>	Multikvadrik yöntem ile (2.derece polinom, $C_g=0$ ) düşeye çevrilmiş görüntü	77



# TOPOGRAFİK VE TEMATİK HARİTALARIN YAPIMINA VERİ KAYNAĞI OLUŞTURACAK UYDU GÖRÜNTÜLERİNİN DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ ANALİZİ

## ÖZET

Günümüzde, klasik yersel yöntemlerin yanında, uzaktan algılama verilerinden de yararlanarak topografik ve tematik harita üretimi güncellik kazanmıştır. Yeryüzünde birçok bölgenin hala büyük ve orta ölçekte haritaları mevcut değildir. Aynı zamanda, harita takımları mevcut olsa dahi hızlı kentleşme, alan kullanımında genişleme gibi nedenlerle kısa aralıklarla sistematik harita güncelleştirilmesi talepleri karşısında bu ihtiyaçlara cevap verecek hızlı ve ekonomik bir harita veri kaynağı olan uydu görüntüleri önem kazanmıştır.

Uzaktan Algılama görüntülerinin harita üretimi amaçlı uygulamalarda nicel kullanımı, bu görüntülerin içerdiği geometrik distorsiyonların düzeltilerek (rektifiye edilerek) istenilen bir harita projeksiyonuna çevrilmesini gerekli kılmaktadır. Genellikle uygulanan teknik, görüntü üzerinde konumları belirlenen kontrol noktalarının ilgili harita üzerindeki karşılıkları kullanılarak bir matematik koordinat dönüşümü yöntemi ile geometrinin düzeltilmesidir. Bu bağlamda, en yaygın olarak polinom dönüşümü kullanılmaktadır. Bu dönüşüm yönteminin duyarlılığı hakkında literatürde çok sayıda çalışmalar ve sonuçları yer almaktadır. Modern matematik araç ve teknikler kullanılarak, polinom dönüşümünün dışında farklı yöntemlerin denendiği yine literatürden görülmektedir. Algılama sistemlerindeki gelişmeler doğrultusunda artan çözünürlükle beraber bu geometrik dönüşüm yöntemlerinin doğruluğu ve fiziksel güvenilirliği bu çalışmanın ana konusunu oluşturmaktadır.

Kullanılan görüntü işleme yazılımlarının hemen hepsi polinom dönüşümünü esas olarak ürün sunmaktadır. Bu tekniğin, LANDSAT, SPOT gibi uydu görüntülerinden orta ölçekte harita üretim amaçları için yeterli doğruluğu sağladığı görülmektedir. Ancak bu yöntemin yüksek çözünürlükte görüntüler kullanılarak büyük ölçekli harita

üretimi için yeterli olmayacağı açıktır. Çünkü polinom tekniklerinin rastgele dağılmış veri gruplarındaki karmaşık distorsiyonların düzeltilmesindeki yetenekleri sınırlıdır. Yüksek mertebeden polinomlar, polinomun derecesi arttıkça salınım arttığından, birinci ve ikinci dereceden polinoma nazaran daha kötü sonuçlar vermektedirler.

Bu nedenle; multikvadrik enterpolasyon yöntemi, splayn fonksiyonları gibi radyal bazlı fonksiyonlar ve sonlu elemanlar yöntemi, görüntü verilerinin dönüşümünde klasik polinom yaklaşımına alternatif yöntemlerdir. Bu çalışmada, kontrol noktaları kullanılarak görüntülerin dönüşümü için, multikvadrik enterpolasyon yöntemi, ince levha splayn fonksiyonu ve “sonlu elemanlar” olarak üçgenler içerisinde parça parça lineer enterpolasyon yöntemi olmak üzere üç farklı yöntem ele alınmıştır.

Multikvadrik enterpolasyon yöntemi ilk olarak sayısal arazi modellerinin yaratılması amacıyla düzgün olmayan yüzeylerin enterpolasyonu için geliştirilmiştir. Birçok mühendislik problemine uygulandığı gibi, benzer şekilde uzaktan algılama verilerinin dönüşümü için de mantıksal uyum sağlanarak kullanılabilir. Bu yöntem uygulandığı şekli ile, tüm kontrol noktalarından türetilen global bir çözüm olanağı sunmaktadır.

Multikvadrik yöntemine benzer şekilde, fakat kontrol noktaları arasındaki uzaklığın karesinin logaritmasının kullanıldığı ince levha splayn fonksiyonu, yüzey modellemede kullanılan radyal bazlı fonksiyonlar ailesinden bir diğer konumsal dönüşüm yöntemidir.

Kontrol noktalarından oluşturulan üçgenler içerisinde “sonlu elemanlar” mantığı ile parça parça lineer enterpolasyon yöntemi de, görüntülerin dönüşümü için uygun bir yöntemdir. Yaklaşım fonksiyonunun yine polinom olmasına rağmen, bu fonksiyonun alt alanlar içerisinde lineer dönüşümde uygulanması farklı bir yaklaşımdır.

Bu yöntemlerin probleme duyarlılığını ve problemin çözümünde birbirlerine göre üstünlüklerini anlamlı bir şekilde analiz edebilmek için ham uydu verilerinin içerdikleri distorsiyonlara benzer şekilde fakat biraz abartılmış oranda distorsiyonlar içeren iki farklı simülatif model yaratılmıştır. Bu amaçla, literatürde yer alan fakat

kartografik uygulamalarda sıkça kullanılmayan iki farklı harita projeksiyon yöntemi ele alınmıştır.

Sözkonusu iki model üzerinde her üç yöntemin uygulanması sonucu elde edilen konum doğruluk değerleri klasik polinom tekniği sonuçları ile analiz edilmiştir. Hem multikvadrik yöntem, hem ince levha splayn fonksiyonu hem de üçgenler içerisinde parça parça lineer enterpolasyon yöntemi uzaktan algılama görüntülerinin yer kontrol noktaları kullanılarak dönüşümünde klasik polinom tekniklerine nazaran çok daha iyi sonuçlar vermektedir. Fakat multikvadrik yöntem bu konuda tek başına yeterli görülmektedir.



# **RECTIFICATION METHODS OF SATELLITE IMAGE DATA FOR OPTIMUM BENEFIT TO TOPOGRAPHIC AND THEMATIC MAPPING PURPOSES**

## **SUMMARY**

During the past decade, spatial topographic mapping from space using satellite data instead of conventional data collection techniques gained popularity. However, large scale topographic maps are not available for many areas of the world. Satellite remote sensing offers a cheap and effective possibility for the generation and revision of base maps at medium scales. Also, there is an increasing demand for systematic map revisions at reasonable time cycles because most of the topographic maps were badly out of date. The potential of satellite image cartography is improved by the tendency of the development of satellite remote sensing systems towards better spatial resolutions.

The quantitative use of remote sensing satellite images in mapping applications requires that the geometric distortion inherent in these images will be corrected (or rectified) to a desired map projection. The most widely used technique relies on ground control points located in the image and the corresponding map in order to empirically determine a mathematical coordinate transformation to correct the geometry. Commonly used approaches are polynomial rectification methods. All they are approximate solutions and many different studies and results has been reported in the literature for the benefits of such transformation procedures. But further developments in the sensor systems increasing the limited resolution begin new controversies about the accuracy and physical reliability of these geometric transformation methods. Using modern mathematical tools and techniques, additional different transformation methods except polynomial approximations are the main objectives of this study.

Most commonly used commercial image processing systems provide only global mapping functions such as polynomial equations. Because these techniques have been proven to be sufficient effective and accurate for satellite images received from earth observation satellites like LANDSAT and SPOT in order medium scale mapping purposes. But it is true that these methods are not suited for the rectification of remote sensing images of large scale with high resolution and locally varying geometric distortions. Polynomial techniques are quite limited in their ability to handle the complex distortions in scattered image data, but the residuals and the root-mean square errors after the rectification are considered to be sufficient for those images which have limited resolution. Higher order polynomials however, provide worse results than simple first- or second order fits, because so higher the polynomial order, that increases the distortion.

Therefore, radial basis functions such as the multiquadric interpolation methods, spline functions and variations of these methods offer ready alternatives to traditional polynomials for correction of image data. In this study, three methods for image rectification using control points are evaluated. These techniques are the multiquadric method, thin plate splines and the piecewise linear transformation using triangles as "*finite elements*".

The multiquadric interpolation method was first developed and applied for the interpolation of irregular surfaces creating digital elevation models. As it used in many related engineering applications, it can be modified, however, to be used for image correction of remotely sensed data. Applications to image data indicate that multiquadrics produce excellent results while maintaining control point correspondence. It provides a global solution derived from all control points.

Similar to the multiquadric method, thin plate spline function is another spatial transformation method from the radial basis function family used for surface modelling.

Piecewise linear interpolation in triangles constituted with the control points as "*finite elements*" is a suitable method for the rectification of the images. In spite of

the use polynomial function, the application of the method in sub-areas for the linear transformation is a different approach.

Two simulative model are created including similar distorsions as satellite images for analyze the effectiveness and superiority of the methods to the problem. For this reason two different cartographic projection are selected which take part in the literature but not commonly used.

Three methods mentioned above are tested in the simulative models and the achieved spatial accuracy results are analyzed with the traditional polynomial techniques. The multiquadric method, thin plate spline function and the piecewise interpolation method in triangels give excellent results in the rectification problem of the remotely sensed images according to the traditional polynomial techniques. But the multiquadric method seems to be sufficient alone.



## 1. GİRİŞ

Dünyada var olan tüm canlılar arasında sadece insanlarda, düşünme ve bilgi üretme boyutunda bir evrim ve gelişmenin belirli bir hızı ve sürekliliği vardır. Buradaki hız ve süreklilik, var olan zihinsel bilgiler üzerine kurulu gelişmeyi, sürekli ve anlaşılır biçimde edinme ve iletme yeteneğine bağlıdır. Düşünce ve bilgiler, yazı yada çizim gibi bir çok şekilde ifade edilebilir. Böyle bir gösterimin amacı, gösterimi yapanla okuyucu ya da gözlemcinin aynı duyguyu, düşünce zincirini ve anlam çıkartmayı gerçekleştirmelerini sağlamaktır. Zihinsel çalışmayı bir kerede anlaşılabilen veya düşünülen biçimi ile ortaya koyma olanakları arasında metin, sayısal tablo, grafik, kartografik ve resimsel gösterimler vardır. Sayısal tablo ve resimsel gösterimde genelde sadece anlatım ön planda olmasına rağmen metin ile grafik ve kartografik gösterimlerde anlatımın yanında açıklama görevi de yerine getirilmektedir. Yeryüzünün çok değişik konuları ve koşullarını kısmen veya tamamen göstermek sözkonusu olduğunda kartografik yol metine göre çok daha uygundur. Örneğin yer tayini veya bölge sınırlamaları gibi konularda en ayrıntılı metnin veremeyeceği kesin bilgiler bu şekilde çok basit olarak ortaya konabilir. Üstelik kelimelerin zamana bağlı olarak ardarda gelmeleri anlatılmak istenen konunun tek bir alanda bir seferde ifade edilmesi yanında bir eksiklik olarak görülmelidir..

Bu nedenlerden dolayı mekana ait bilgilerin aktarımında özel bir bilim dalı olan *kartografya* ortaya çıkmıştır. Amaç, her konu için en uygun gösterim biçiminin bulunması ve geliştirilmesidir. Kartografya, gerçekteki mekanı doğru olarak göstermeye yarayan *harita* ve diğer kartografik ifade şekillerinin çizim, yapım ve açıklamasının mantık, metod ve teknik kurallarıdır. Yalnızca somut objelerin gösterimiyle değil, eğer kartografyanın gösterim kurallarına uygunsa, mekandaki soyut görüntüler de haritanın gösterim objesi olabilir. Kartografyanın araştırma objesi olarak, bütün kartografik gösterim yöntemleri gösterilebilir, fakat haritanın bunlar arasında özel bir yeri vardır.

Harita, en geniş bir ifade ile mekansal verileri konum olarak elden geldiğince doğru şekilde düzlem üzerinde gösteren ve açıklamalarla tamamlanmış kartografik bir ürün olarak tanımlanabilir. Burada “yeryüzü” ifadesi çok geniş anlamdadır. Bunun yanında haritanın yeryüzü gösteriminin tek aracı olmadığı açıktır. Manzara resimleri, blok diyagramları, hava fotoğrafları ve benzer ürünler, profil, profilogram, ve uydu görüntüleri diğer olanaklar arasında sayılabilir.

Kartografyada disiplin olarak iki ana yön gelişmiştir: *topografik* ve *tematik kartografya*. Topografik kartografya, genel yönlendirme amacı taşıyan, tek tek topografik objeleri, mülkiyet sınırlarını, jeodezik koordinatları ve arazi engebesini gösteren bütün ölçeklerde harita ve planlar üretmektedir. Tematik kartografya ise, bilgi olarak azaltılmış özel bir topografik altlık üzerinde özel konuları ifade eden, belirli kullanım amacına yönelik kartografik ürünlerle ilgilenmektedir. Nitel ve nicel bilgiler arasındaki ilişkinin işlenmesi ve konumsal objelerin alansal ya da hacimsel genişlemesi tematik haritaların karakteridir. Tematik haritalarda, topografik altlık üzerine işaret, çizgi ve renkten oluşan uygun bir sistemle doğa ve insan yaşantısıyla ilgili toplu bakış sonuçları işlenir. Tematik kartografyada kullanılan gösterim araçları yalnızca coğrafya değil, bütün bilim dallarına, uzmanlık alanlarına ve kurumlara da hizmet etmektedir.

Günümüzde, yeryüzü haritasının yapımının bütün analizleri, literatür incelendiğinde göstermektedir ki; klasik araçlar ile verinin toplanması, işlenmesi ve sunulması yoluyla topografik ve tematik haritalara olan gereksinimi tatmin etmek olanaklı değildir. Uzaktan algılama uyduları ile algılanan yeryüzünün elektromagnetik ışınımı doğal varlıkların tanınması, yeryüzü kaynaklarının işlenmesi ve herşeyden önce yaşanan çevredeki değişikliklerin izlenmesi için vazgeçilmez bir araç olmaktadır. Bu bilgiler, kartografya için de gerekli olan bilgilerdir. Düzenli ve sistematik olarak kaydedilmiş veya kullanıcının istemine yönelik olarak işlenerek üretilmiş veriler için de aynı durum sözkonusudur.

Harita yapımına yönelik bilgi kaynakları veya veri kaynakları hakkında bazı kriterler sözkonusudur. Bu kriterlerden bir tanesi “*eksiksizliktir*”. Burada belirli bir standarta yönelik bir eksiksizlik kastedilmektedir. Ayrıca, bilgi kaynağının, bir haritanın ölçeğine uygun olarak içermesi gereken bir “*bilgi eksiksizliği*” ve “*ayrıntı*

*korunurluğu*” olarak tanımlanan iki kriteri de taşıması gereklidir. Obje geometrisinin mutlak ve rölatif “*konum doğruluğu*” diğer bir kriter olarak çıkmaktadır. Bilgi kaynağının ucuz ve daha kısa sürede bilgi aktarması şeklinde “*ekonomikliği*” de diğer bir kriterdir. Bilgilerin “*güncellik*” taşıması altıncı bir kriterdir. Son bir kriter olarak da, bilgi kaynağının “*güvenilir*” olması gereklidir. Bununla, bilgilerin yukarıda sayılan tüm kriterlere uygun şekilde sürekli olarak ve yine aynı nitelikte sunulabilirliği kastedilmektedir.(GRÜNREICH 1985)

Kartografik amaçlar için uydu görüntü verilerinin kullanılması çok çeşitlilik gösterir. Harita bilgilerinin üretilmesi, uydu görüntülerinin konumsal dönüşümünün yapılması sonucu tamamen veya kısmen değerlendirilmesi yoluyla kazanılması ile topografik haritaların yapımı veya yürütülmesine hizmet ederler, diğer yandan uydu görüntü haritası ihtiyacını karşılarlar. Son olarak, uydular ile uzaktan algılama, tematik haritaların yapımına yardımcı olur. Burada tematik haritalama için ya uydu görüntü haritaları temel altlık olarak hizmet ederler ya da tematik içerik tamamen veya kısmen uzaktan algılama yöntemleri ile kazanılır. Çoğunlukla görülmüştür ki; uydular ile uzaktan algılamanın tüm kartografik uygulamalarında hava resimlerinin kartografik kullanımı içinde epey öncelere uzanan bir geleneği vardır.

Uydu verileri topografik ve tematik bilgiler için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Bu katkı kartografik amaçlar için bu türden veri ihtiyacını karşılamaktadır. Klasik topografik haritalar ile karşılaştırıldığında topografik objelerin yorumlanabilirliği sınırlıdır. Modern uydu görüntüleri 1:25000 ölçekli harita yapımı için uygundur. Fakat yükseklik eğrilerinin kazanılması şu ana kadar sadece 1:50000 ölçekli haritalar için mümkündür. Geride bıraktığımız yirmi yılda *uydu görüntü haritaları* adında yeni bir harita tipi ortaya çıkmıştır. Teknik açıdan bakıldığında uydu görüntü haritalarının üretimi yüksek kalite standartlarına ulaşmıştır. Kartografik açıdan grafik elemanların görüntünün içine entegrasyonu tartışılmaktadır.

Uydular ile uzaktan algılamanın topografik haritaların yapımına katkısı ancak gerekli bilgiler geometrik ve planimetrik olarak yeterince doğru, düzgün ve güvenilir olarak uydu görüntü verilerinden elde edilebildiği zaman anlam kazanacaktır. Bu nedenle, ilk adım olan görüntülerin geometrik iyileştirilmesi işlemi ve bu işlemde kullanılan

enterpolasyon yöntemleri ön plana çıkmaktadır. Kullanılan yöntemlerin konuya duyarlılığının analizi güncel araştırmaların gündeminin başında yer almaktadır.

Uydu görüntüleri ile belli bir projeksiyon sisteminde, topografik ve tematik harita yapımı veya var olan bu haritaların güncelleştirilmesi işlemlerinde kullanılacak dönüşüm algoritmalarının analizinde oluşan sorunlar mevcut uzaktan algılama uydu ve algılama sistemlerinin teknik özellikleri bağlamında incelenerek araştırılmıştır. Sayısal görüntülerin özellikleri ve yeryüzünün algılanması esnasında oluşan geometrik distorsiyonlar hakkında bilgi verilerek, bu distorsiyonların yer kontrol noktaları yardımı ile düzeltilmesi konusunda kullanılan dönüşüm yöntemleri ve bu konuda yapılmış uluslararası araştırmaların sonuçları irdelenmiştir. Geometrik düzeltmede kullanılan ve kullanılacak konumsal dönüşüm yöntemleri açıklanmaya çalışılmıştır.

Uydu görüntülerinin geometrik düzeltilmesinde en yaygın kullanılan klasik afin dönüşüme karşılık farklı dönüşüm algoritmalarının uygulanması geometrik doğruluk araştırmalarına yeni bakış açıları getirmektedir. Bu çalışmada, afin dönüşüme ek olarak yüksek dereceden polinom dönüşümü, tüm bu yöntemlere alternatif olarak splayn fonksiyonları, multikvadrik enterpolasyon, gibi radyal bazlı fonksiyonlar, sonlu elemanlar yöntemi mantığı ile parça parça enterpolasyon yöntemleri probleme entegre edilerek uygulama ve sonuçları verilmiştir. Bu amaçla, ön koşulları bilinen simülatif bir görüntü üzerinde yöntemler sınanmış ve sonuçları irdelenmiş, birbirlerine göre doğrulukları ve konuya duyarlılıkları analiz edilmiştir. Multikvadrik enterpolasyon yönteminin uydu verilerinden topografik ve tematik harita yapımı veya güncelleştirilmesinde kartografik standartlara uygun geometrik doğruluğa ulaşmak için klasik yöntemlere veya diğer alternatif yöntemlere göre tek başına yeterli olduğu sonucu elde edilmiştir.

## 2. UZAKTAN ALGILAMA UYDULARI VE ALGILAMA SİSTEMLERİ

Yeryüzeyi hakkında çok sayıda uydu uzaktan algılama sistemleri ile düzenli olarak veri kaydedilmektedir. Bu sistemlerden sadece birkaçı kartografik amaçlar için uygundur veya bunun için özel olarak tasarlanmıştır. Kısa vadeli olarak hizmet eden deneysel sistemler (örneğin metrik kamera) pratik kullanımlar için söz konusu değildir. Bu bakış açısından geniş kullanıma hizmet veren aşağıdaki algılayıcılardan söz edilebilir:

- **LANDSAT Multispektral Tarayıcı (MSS)** : 80 m çözünürlük ile görünür ve kızılötesine yakın bölgede 185x185 km<sup>2</sup> formatında stereo özelliği olmayan 4 spektral kanallı optik-mekanik tarayıcı
- **LANDSAT Tematik Haritalayıcı (TM)** : 30 m çözünürlük ve 120 m çözünürlüklü bir termal kanalla görünür ve kızıl ötesine yakın bölgede 185x185 km<sup>2</sup> formatında stereo özelliği olmayan 6 spektral kanallı optik-mekanik tarayıcı
- **SPOT HRV Algılayıcı** : 20 m çözünürlük ile 60x60 km<sup>2</sup> formatında iki dönüş yörüngesi arasında stereo özelliğe sahip 3 spektral kanallı multispektral modda elektro-optik tarayıcı
- **SPOT HRV Algılayıcı** : 10 m çözünürlük ile 60x60 km<sup>2</sup> formatında iki dönüş yörüngesi arasında stereo özelliği olan bir pankromatik kanallı pankromatik modda elektro-optik tarayıcı
- **Kamera KFA-1000** : 75x75 km<sup>2</sup> formatında yaklaşık 1:250000 resim ölçeğinde %60 stereo örtü alanı ile 10-20 l/mm çözünürlüğünde (5-10 m ye karşılık gelir) 1000 mm odak uzaklıklı fotoğrafik kamera
- **Kamera KWR-1000** : 40x40 km<sup>2</sup> formatında yaklaşık 1:220000 resim ölçeğinde stereo örtü alanı olmayan yaklaşık 1.5 m çözünürlükle pazarlanan verisi ile 1000 mm odak uzaklıklı fotoğrafik kamera

Bunlara başka uydu algılayıcılar da (örneğin Japonya ve Hindistan) eklenebilir. Ama bunlar Avrupada çok az dikkate alınır. Algılayıcı sistemler ve elde edilen görüntü datalarının teknik verileri hakkında literatürde kapsamlı tablolar bulunmaktadır

(KRAMER ve ILLHARDT 1990, STRATHMANN 1989, ALBERTZ ve TAUCH 1994).

Uydu görüntü dataları algılama tekniklerinin, ciddi bir gelişme içinde olduğu gözardı edilmemelidir. Bu bağlamda Almanya da geliştirilmiş bir elektro-optik tarayıcı olan *Modular Elektro-optik Multispektral Tarayıcı MOMS-02* sayılabilir. *MOMS-02* görevi çerçevesinde 1993 de yörüngeye oturtulmuş ve Rus MIR-İstasyonuna ait Modul Priroda üzerinde uzun süre hizmet verecek biçimde düşünülmüştür. Fotogrametrik stereo değerlendirme olanağı yüksek çözünürlüğü ile (5.3 m 350 km uçuş yüksekliğinde) topografik harita yapımına yeni ivmeler kazandıracığı umulmaktadır.

Bir dizi özel yüklenici grup daha duyarlı uzaktan algılama sistemleri geliştirmekte ve pazarlamaktadırlar. Dornier firması 1996'da 3m çözünürlüklü ve stereo algılama olanağına sahip bir sistem planlamaktadır. ABD stereo versiyonlu 1m çözünürlükleri hedeflemektedirler (CORBLEY 1994). Önümüzdeki yıllarda kartografik amaçlar için daha iyi uydu görüntü dataları hizmete sunulacaktır.

**Tablo 2.1.** 1993 yılı itibarıyla alan büyüklüğüne bağlı yüzdeler olarak dünyada topografik harita yapımının statüsü (KONECNY 1995)

<b>Bölge</b>	<b>1:25000</b>	<b>1:50000</b>	<b>1:100000</b>	<b>1:250000</b>
Afrika	2.9 (2)	41.1 (24)	21.7 (17)	89.1 (78)
Asya (eski SSCB hariç)	15.2 (11)	84.0 (51)	66.4 (62)	100.0 (80)
Avustralya ve okyanuslar	18.3 (13)	24.3 (20)	54.4 (42)	100.0 (80)
Avrupa (eski SSCB hariç)	86.9 (91)	96.2 (91)	87.5 (77)	90.9 (95)
Kuzey ve Orta Amerika	45.1 (34)	77.7 (61)	37.3 (7)	99.2 (88)
Güney Amerika	7.0 (10)	33.0 (27)	57.9 (42)	84.4 (50)
Eski SSCB	100.0(5)	100.0(61)	100.0(100)	100.0 100)
Parantez içindeki değerler 1980 yılı içindir.				
Dünya 1993	33.5	65.6	55.7	95.1
Dünya 1987	17.0	59.0	56.0	90.0
Dünya 1980	13.0	42.0	42.0	80.0
1987-1993 yıllık ilerleme	2.8	1.1	0.0	0.9
1987	4.9	2.3	0.7	3.4

Tablo 2.1.de 1993 yılı itibarı ile alan büyüklüklerine bağlı yüzdeler olarak tüm dünyada farklı bölgeler için tamamlanmış topografik harita yapımının durumu özetlenmiştir. Tablo 2.2. de ise günümüzde halen faaliyette olan uzaktan algılama uydularının bir özeti verilmektedir.

**Tablo 2.2. Mevcut uzaktan algılama uydu sistemleri**

Ülke	Meteoroloji	Yeryüzü kaynakları	Kartografya
ABD	GOES NOAA	LANDSAT	LFC
Rusya	Meteor	MKF 6	KFA-1000 KWR-1000 KFA-3000
Fransa		SPOT-MX	SPOT-Pan
ESA	Meteosat	ERS-1	
Japonya	GMS	MOS	
Hindistan	Insat	IRS-1	
Çin		Uydu fotogrametrisi	
Almanya			Metrik Kamera Stereo-MOMS

Mevcut uzaktan algılama uydularının genel karakteristiklerini sunmak amacı ile bu sistemlerin özellikleri tablolar halinde düzenlenerek özetlenmiştir. Aşağıda sırası ile Tablo 2.3. de Amerika Birleşik Devletlerine ait LANDSAT uydularının farklı türlerinin genel özellikleri sunulmaktadır. Tablo 2.4. de yine aynı şekilde Fransa ya ait SPOT uydularının genel karakteristikleri verilmiştir. Tablo 2.5.de yeryüzü kaynaklarının araştırılması ve harita üretme amaçlı uydu sistemleri arasında sayılabilecek Japon uydularının özellikleri özetlenmiştir.

**Tablo 2.3. Amerika Birleşik Devletleri LANDSAT Uydu Algılama Sistemi**  
(KONECNY 1995)

	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 6	LANDSAT 7
Başlangıç	1972	1975	1978	1982	1986	1993	1999-2000
Çözünürlük	79m	79m	(1-6)30m (7)120m	(1-6)30m (7)120m	(1-6)30m (7)120m		(1-6)15m (7)60m
Kanal(1) µm	0.45-0.52	LANDSAT 1 ile aynı	LANDSAT 1 ve 2 ile aynı	LANDSAT 3 ile aynı	LANDSAT 3 ile aynı		0.45-0.52
Kanal(2) µm	0.52-0.60						0.52-0.60
Kanal(3) µm	0.63-0.69						0.63-0.69
Kanal(4) µm	0.76-0.90						0.76-0.90
Kanal(5) µm							1.55-1.75
Kanal(6) µm							2.08-2.35
Kanal(7) µm							10.4-12.5
Stereo	-	-	-	-	-	-	-
Genişlik	185km	185km	185km	185km	185km	185km	185km

**Tablo 2.4. Fransa SPOT Uydu Algılama Sistemi (KONECNY 1995)**

	SPOT 1	SPOT 2	SPOT 3	SPOT 4	SPOT 5	SPOT 6
Hizmet süresi	1986- 1993	1990- 1994	1993- 1996		1999-	SPOT 5 ile aynı
Çözünürlük (piksel)	XS 20m P 10m	20m 10m	20 m 10m		10m(G,R,IR1) 20m(IR2) 5m	
Kanal Yeşil µm	0.50-0.59	0.50-0.59	0.50-0.59	0.50-0.59		
Kanal Kırmızı µm	0.61-0.68	0.61-0.68	0.61-0.68	0.61-0.68		
Kanal IR1 µm	0.79-0.89	0.79-0.89	0.79-0.89	0.79-0.89		
Kanal IR2 µm				1.58-1.75		
Stereo	Yanal	Yanal	Yanal	Yanal	Uçuş yörüngesinde	
İnklinasyon	±27°	±27°	±27°	±27°	±27°	
Genişlik	60 km	60 km	60 km	60 km	60 km	

**Tablo2.5. Japon Uydu Algılama Sistemleri (KONECNY 1995)**

	MOS-1a	MOS-1b	JERS-1	ADEOS	TRMM
Başlangıç	1987	1990	1992	1996-1999	1997
Yörünge Yüksekliği	909 km (güneşe senkronize)		570 km (güneşe senkronize)	800 km (güneşe senkronize)	350 km
İnklınasyon	99°		98°	35°	
Çözünürlük(IFO V) Genişlik Stereo	MESSR: 0.51-0.59 m 0.61-0.69 0.72-0.80 0.80-1.1 50 m 100 km	OPS: $\lambda(m)$ 1 $\lambda$ 0.56 0.08 0.66 0.06 0.81 0.10 0.81 0.10 1.655 0.11 2.065 0.11 2.190 0.12 2.335 0.13 18 m 75 km 15.33, b/h 0.3 Yörüngesi		0.42-0.50 m 0.52-0.60 0.61-0.69 0.76-0.89 16 m, Pan 8 m 80 km Yanal, 40	
Çözünürlük (IFOV) Genişlik	VTIR: 0.5-0.7 (Çözünürlük 900m) 6-7 10.5-11.5 11.5-12.5 2.7 km 327 km	SAR L Band (1.275mm) H-H 18 m 75 km			
Çözünürlük (IFOV) Genişlik	MSR: 23.8 6 Hz 31.4 6 Hz 32 km 327 km			Global Çevre Değişiklikleri	(Tropik yağmurlar)

Almanya'da geliştirilen MOMS-02 uydu algılama sistemine ait bazı genel veriler Tablo 2.6.da sıralanmaktadır. Uzaktan algılama da Amerika ve Avrupalı sistemlere alternatif olarak oldukça büyük öneme sahip kabul edilen mevcut ve planlanan Rusya uzay misyonları Tablo 2.8.de özetlenerek, Rusların kamera sistemlerinin genel verileri Tablo 2.7.de verilmiştir. Tablo 2.9.da ise yine uygulamada geniş kullanım olanağı veren Hindistan'a ait uyduların algılama sistemleri özetlenmiştir.

**Tablo 2.6. Almanya MOMS-02 Uydu Algılama Sistemi Özellikleri**  
(KONECNY 1995)

Kanal	Modus	Doğrultu	Dalga boyu	Çözünürlük	Genişlik
1	M/S	Nadir	440-505 $\mu\text{m}$	13.5 m	78 km
2	M/S	Nadir	530-575 $\mu\text{m}$	13.5 m	78 km
3	M/S	Nadir	645-680 $\mu\text{m}$	13.5 m	78 km
4	M/S	Nadir	710-810 $\mu\text{m}$	13.5 m	78 km
5	H/R	Nadir	520-760 $\mu\text{m}$	4.5 m	37 km
6	Stereo	$\pm 21.4^\circ$	520-760 $\mu\text{m}$	13.5 m	78 km
7	Stereo	$\pm 21.4^\circ$	520-760 $\mu\text{m}$	13.5 m	78 km

**Tablo 2.7. Rusya Kamera sistemleri(KONECNY 1995)**

	KFA-1000	KFA-3000	KWR-1000	
Yörünge Yüksekliği	220-350 km	210-350 km	200-350 km	Renkli kızılötesi 105-660 km
İnclinasyon	60°	60°	60°	Renklikızılötesi/Pan 21-36 km
Çözünürlük	8-10 m	3-5 m	(0.75)2-5 m	Pan 13 km
Uydu	Resurs F 1	Resurs		DD5 olarak mevcut
Misyon süresi	1982-1989	1993	1993	dijital 1.5 m piksel
Misyon Süresi 1992-1994	2 misyon		Panoramik Kamera uçuş doğrultusuna dik	
	30 x 30 cm <sup>2</sup>	30 x 30 cm <sup>2</sup>	18 x 18 cm <sup>2</sup>	
	1.jenerasyon	2.jenerasyon	3.jenerasyon	
	MKF 6 MC23x23cm <sup>2</sup> LFC24x48cm <sup>2</sup>	KFA-1000 MK4	KWR-1000 (40 x 40 cm <sup>2</sup> )	

**Tablo 2.8. Rusya, mevcut ve planlanan uzay çalışmaları (KONECNY 1995)**

Misyon	Yörünge yüksekliği	Süre	Algılayıcı	Çözünürlük	Genişlik
Resurs F 1	250-400 km	11-14 gün	2 KF 1000 3 KATE 200	5-12 m	147 km 225 km
Resurs F 2	170-450 km	20-30 gün	MK4	5-12 m	150 km
Kosmos 4.jenerasyon	170-350 km	1-2 ay	3 KWR-1000 TK330	2 m 10 m	40 km 180x270 km
Kosmos 5.jenerasyon	180-355 km	5-9 ay	dijital sistem		
MIR Kvant	350-430 km		MKF-6MA KAP-350	20-25 m 40 m	260 km 200 km
Kristal Basis Block	350-430 km 350-430 km		2 KFA-1000 KATE-140	8 m 50-70 m	232 km 515 km
Meteor 2	950 km	2-3 sene	Fotometre IR Radyometre IR Spektrometre	1 km 8 km 90 km	2600 km 2800 km 1000 km
Meteor 3	1200 km	2-3 sene	Fotometre IR Radyometre IR Spektrometre UV Spektrometre	1 km 3 km 42 km 4 km	3200 km 3100 km 1000 km 2000 km
Resurs O-N2	650 km	3-5 sene	2 MSU-E MSU-SK Konik Spektrometrik MW SAR	45 km 170 m 17-90 km 200 m	2x45 km 600 km 1200 km 100 km
Okean	640 km	2-3 sene	MSU-S MSU-M MW Radyometre SLAR SAR	350 m 1500 m 6-15 km 1-2 km	1280 km 2000 km 600 km 450 km
GOMS 166°E, 14°W		1966-			
Almaz 1 A		1992-1994			
Kvant 2	350-430 km	-1998	MKS-MS Telespektrometre MW Radyometre	1° x 0.09° 1' x 1' 12' x 12'	
Basis Block	350-430 km	-1998	256 Z Spektrometre  KL 103W-Pan Video sistemi	8° x 0.09°  0.87° x 0.17°	
Priroda	350-430 km	1995-1998	IR Spektrometre (64)  MW Radyometre MSU-SK MSU-E MOS obsor A MOS absor B MOMS-2 P	6.5' x 6.5' 0.7 x 2.8 km 6 km 120-300 m 25 m 2.9 km 0.7 km 5-14 km	60-750 km 350 km 45 km 83 km 83 km

**Tablo 2.9.** Hindistan, Uydu Algılama Sistemleri (KONECNY 1995)

	IRS-1 A ve 1 B	1 C/ 1 D	IRS 2	WIFS
Sene	1988,1991	1994-1996		
Yörünge Yüksekliği	904 km	817 km		
	LISS 0.45-0.52 0.52-0.59 0.62-0.68 0.77-0.86	0.52-0.59 (t) 0.62-0.68 (t) 0.77-0.86 (t) 1.55-1.70 (s) Pan 10m'den iyi		
IFOV	I: 72.50 m II: 36.24 m	23.5 m (t) 71.0 m (s)	SAR 25 m	108 m
Genişlik	I: 148.48 km II: 146.98 km	148 km		770 km

**Tablo 2.10.** Landsat 7 ve ETM (Enhanced Thematic Mapper) zenginleştirilmiş tematik algılayıcı özellikleri

Band Numarası	Spektral Alan(mikron)	Yersel Çözünürlük(m)
1	.45 - .515	30
2	.525 - .605	30
3	.63 - .690	30
4	.75 - .90	30
5	1.55 - 1.75	30
6 termal kızılötesi	10.40 - 12.5	60
7	2.09 - 2.35	30
Pankromatik	.52 - .90	15

**Tablo 2.11.** Landsat 7 özellikleri

Kaplama Alanı	185 kilometre
Tekrarlama Süresi	16 gün (233 yörünge)
Yükseklik	705 kilometre
Bellek kapasitesi	~375 Gb
İnklinasyon	Güneşe senkronize 98.2 derece
Yörüngeye oturuşu	Nisan 1999

Landsat 7 programı dışında 2000'li yıllar için çeşitli ülkeler farklı uzaktan algılama sistemleri ve uydularını devreye sokmayı planlamaktadırlar. Bunların bir kısmı yörüngeye oturtulmuş, bir kısmı ise yörüngeye oturtulmayı beklemektedirler. Amerika Birleşik Devletlerine ait 10 m çözünürlüklü Resource 21 uydusu 200km genişliğindeki bir şeridi multispektral modda algılayacaktır. Hindistan'ın IRS-2A programı 2000 yılında başlatılacak ve 148 km'lik şeridi 5 m çözünürlük ile tarayacaktır. Hindistan ayrıca IRS-P6 uydusu ile pankromatik modda 2.5 m çözünürlüğü hedeflemektedir. Amerika Birleşik Devletleri EarthWatch QuickBird uydusu pankromatik modda 1 m çözünürlük ve 4 band multispektral kanalda 4 m çözünürlük ile yeryüzünü algılayacaktır. Ruslar Almaz-1B uydusu ile pankromatik modda 2.5 m ve multispektral kanalda 4.10 m çözünürlük ile algılama yapacaktır. Ayrıca yine Amerika Birleşik Devletlerinin GDE isimli uydusu ile pankromatik modda 1 m çözünürlük ile algılama yapacağı çeşitli kaynaklarda yer almaktadır.



### 3. UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN HARİTA ÜRETİMİ

Uydu verileri topografik ve tematik bilgiler için büyük bir potansiyel sunmaktadır. Bu katkı kartografik amaçlar için bu türden veri ihtiyacını karşılamaktadır. Klasik topografik haritalar ile karşılaştırıldığında topoğrafik objelerin yorumlanabilirliği sınırlıdır. Modern uydu görüntüleri 1:25000 ölçekli harita yapımı için uygundur. Fakat yükseklik eğrilerinin kazanılması şu ana kadar sadece 1:50000 ölçekli haritalar için mümkündür. Geride bıraktığımız yirmi yılda *uydu görüntü haritaları* adında yeni bir harita tipi ortaya çıkmıştır. Teknik açıdan bakıldığında uydu görüntü haritalarının üretimi yüksek kalite standartlarına ulaşmıştır. Kartografik açıdan grafik elemanların görüntünün içine entegrasyonu tartışılmaktadır.

Tematik harita üretiminde uydu görüntüleri iki biçimde kullanılabilir. Bunlar, tematik harita üretimi amaçları için temel altlık olarak kullanılabilirler ya da uydularla uzaktan algılama yoluyla birçok tematik veri toplanabilir. Uzaktan algılama çalışmalarının sonuçlarını iyi harita ürünleri şekline dönüştürebilmek için başarılması gereken daha bir dizi iş vardır. Kartografya için uydular ile uzaktan algılama giderek önem kazanmaktadır. Bu gelişme veri toplama ve veri işlemenin iyileştirilmesi ile teşvik edilmektedir.

Topografik harita yapımı uzun senelerdir hava fotoğraflarının stereo fotogrametrik değerlendirilmesi ile yürütülüyordu. Hem semantik hem de geometrik bilgiler hava resimlerinden elde ediliyordu. Uzun yılların tecrübesine dayanarak topografik harita yapımında yorumlanabilirliği artıran aynı zamanda yeterli doğruluğa ulaşılabilecek değişik resim ve harita ölçekleri saptanmıştır.

Uydular ile uzaktan algılamanın topografik ve tematik harita üretimi için sunduğu çok çeşitli olanaklar bugün artık tartışılmamaktadır. 1:25000 ölçeğe kadar topografik haritaların yapımı, uydu görüntü verilerinin çözünürlüğünün artırılması ve stereo resimlerin alımı için modern algılama sistemlerinin geliştirilmesine bağlıdır. Aynı zamanda 1:10000 ölçeğinde uydu görüntü haritalarının da yapımı için böylece daha iyi olanaklar ortaya çıkacaktır. Uydular ile uzaktan algılama, harita yapımı

konusundaki problemlerini Őu ana kadar műmkűn olan hava resmi yűntemlerini uygulayarak cűzebilir.

Uydular ile uzaktan algılama yoluyla kazanılmıŐ tematik bilgilerin kaliteli tematik haritalara aktarımı için daha birçok çalıŐma yapılması gerekir. Bu konu kartograflar için hala açık bir çalıŐma alanı olarak karŐımıza çıkmaktadır. Fakat bu konuda, tek baŐına kartografya değil disiplinlerarası bir ortak çalıŐma gerekmektedir. Teknolojik geliŐmeye paralel olarak bu ortak çalıŐma, kartografya, fotogrametri, uzaktan algılama, gűrűntű iŐleme ve coğrafi bilgi sisteminin entegrasyonu ile daha da kolaylaŐacaktır.

Uydu gűrűntűleri, topografik harita yapımı için tek baŐına bilgi kaynaĐı olarak yeterli deĐildir. Topografik bir objenin konumunun doĐruluĐu, gűrűntűnűn geometrik doĐruluĐuna baĐlıdır. Gűrűntű űzerinde iyi tanımlanmıŐ noktalar yardımıyla bir gűrűntű elemanının (pikselin) altında bir doĐruluk elde etmek műmkűndűr. Yűksek cűzűnűrlűklű uydu algılayıcıları ile dűŐeye cűvrilmiŐ gűrűntűler kural olarak 1:25000 ve daha bűyűk űlekli topografik haritanın geometrik doĐruluk istekleri için yeterli olacaktır.

### **3.1. Uydu gűrűntűlerinden topografik harita űretimi**

Topografik harita yapımı uzun senelerdir hava fotoğraflarının stereo fotogrametrik deĐerlendirilmesi ile yűrűtűlmektedir. Bu yűntemle hem semantik hem de geometrik bilgiler hava resimlerinden elde edilmektedir. Uzun yılların deneyimine dayanarak topografik harita yapımında yorumlanabilirliĐi artıran aynı zamanda yeterli doĐruluĐa ulaŐılabilecek deĐiŐik resim ve harita űlekleri saptanmıŐtır.

Uydular ile uzaktan algılamanın topografik haritaların yapımına katkısı ancak gerekli bilgiler yeterince doĐru, dűzgűn ve gűvenilir olarak uydu gűrűntű datalarından elde edilebildiĐi zaman anlam kazanacaktır. Bu taleplerin nereye kadar karŐılandığı ayrı bir sorudur.

### **3.1.1. Harita tasarımı**

Uydu görüntü verilerinden harita tasarımı için her bir ölçek için uygun topografik objelerin görüntüde tanımlı ve yeterli doğrulukta lokalize olması gerekir. Uydu görüntülerinde topografik objelerin tanınabilirliği bir dizi faktörle karmaşık olarak belirlenir. Uydularla uzaktan algılamanın olanakları ve sınırlarını belirleyebilmek için uydu görüntü verilerinin haritalama amaçlı kullanımında çok sayıda amprik araştırma halen sürdürülmektedir.

Burada şimdiye kadar, yukarıdaki bölümde yer alan tablolarda özetlenen uydu sistemlerinin özellikleri incelendiğinde, topografik harita yapımında en iyi başarıyı sağlayabilecek iki algılama sistemi ön plandadır. Pankromatik SPOT ve fotografik kamera KFA-1000.

Uydu görüntüleri bu aşamada örneğin 1:50000 ölçekli topografik harita yapımı için bile tek başına bilgi kaynağı olarak yeterli değildir. Araştırma ve test alanları ne kadar fazlalaşırsa kazanılan sonuçlar da o kadar geniş yayılacaktır (ALBERTZ ve TAUCH 1994).

Oluşturulacak topografik bir haritada altlık veri kaynağı olarak uydu görüntüsü kullanılmak istendiğinde, bir objenin konumunun doğruluğu görüntünün geometrik doğruluğuna bağlıdır. Bu ise, uydulardan algılanarak pazarlanan ham verinin çevrilmek istenen harita projeksiyon sistemine hangi doğrulukta rektifiye edildiği probleminin çözümüne bağlıdır.

### **3.1.2. Yüksekliklerin gösterimi**

Yükseklik bilgileri stereoskopik olarak birbirini örten uydu görüntülerinden (örneğin SPOT pankromatik, KFA-1000) fotogrametrik metodlarla şüphesiz elde edilebilir. Bunun için ya özel yazılıma sahip analitik değerlendirme aletleri ile görüntü dalarının geometrik özellikleri işlenebilir, ya da sayısal görüntü korelasyonu yöntemi ile hesap olanakları kullanılır.

Hava resmi ölçmelerinden de bilindiği gibi, stereofotogrametrik olarak kazanılmış yükseklik bilgilerinin doğruluğu, konum doğruluğuna nazaran daha düşüktür. Dolayısıyla topografik harita üretimi için uydu görüntülerinden kazanılmış sayısal arazi modellerinin büyük ölçekler için kullanımına şüphe ile bakmak gerekir. SPOT datalarının stereo değerlendirilmesinde literatürde genellikle nokta yükseklik hatası  $\pm 7m$  ve  $\pm 10m$  olarak yer almaktadır (SWANN ve diğ.1988, AKIYAMA 1992, HEIPKE ve KORNUS 1993, ALBERTZ ve TAUCH 1994).

### **3.1.3. Uydu görüntü haritalarının üretimi**

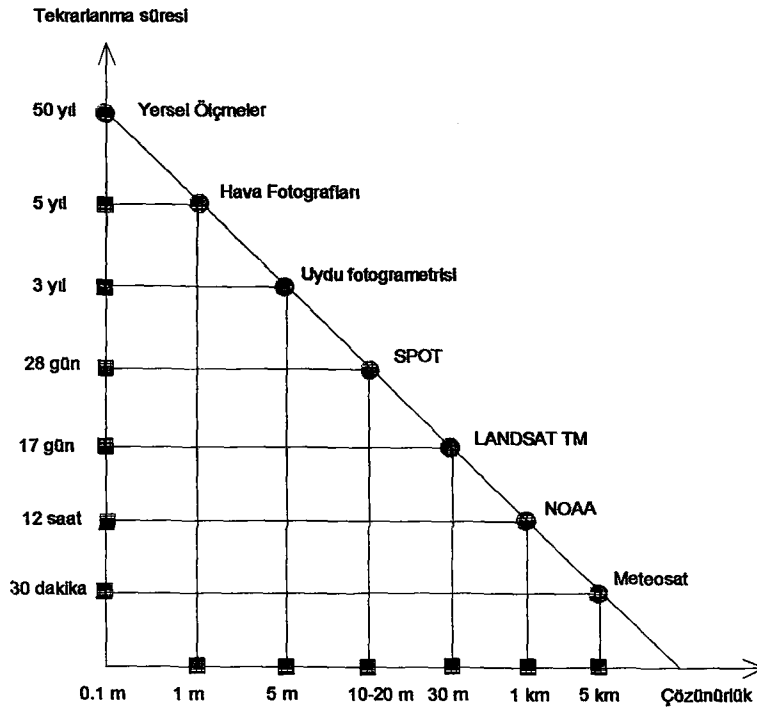
Görüntü haritasından, kartografik gösterimlerle tamamlanmış, dış şekliyle bir harita biçimine sokulmuş, izdüşürülmüş resimler anlaşılır. Hava resimlerinden görüntü haritaları yıllardır bilinmektedir ve çok yaygınlaşmıştır. Örneğin hava resmi haritası olarak 1:5000 ölçekli Almanya temel harita takımı .

Uydular ile uzaktan algılama, görüntü haritalarının yapımı için yeni boyutlar açmıştır. Bu nedenle 1972 yazında LANDSAT-1'in startından kısa bir süre sonra bu yeni tür görüntü datalarını uydu görüntü haritalarına uygulamak için ilk araştırmalar başlamıştır. Bu arada işleme yöntemleri geliştirilmiş, ürünler yüksek alite standartına ulaşmış ve dünya çapındaki talebe büyük katkıda bulunulmuştur. Diğer bir gerçek de görüntü harita bilgilerini temin etmede ve gösteriminde, klasik kartografyanın büyük problemleri olduğudur (ALBERTZ ve TAUCH 1994).

### **3.1.4. Uydu görüntü haritalarının özellikleri**

Uydu görüntü haritalarının yapımı ve aynı zamanda kullanımında bir arazi parçasının topografik haritalardaki gösterimi ile bunun uydu görüntülerindeki görünümü arasındaki bazı temel farklılıkların bilinmesi gerekir (ALBERTZ ve TAUCH 1994).

Topografik haritalar, kartografların grafik işlemlerinin ve bilinen tercihlerinin bir sonucudur. Topografik harita bilgileri harita çizimi ile tanımlanır. Arazi objeleri ve harita arasında birebir ilişki vardır, yani aynı şeyler aynı biçimde gösterilir. Çizimde belirli bir anlamı olmayan şeylerle karşılaşılmaz.



**Şekil 3.1. Uzaktan Algılama sistemlerinin çözünürlükleri ve tekrarlanma süreleri (KONECNY 1995)**

Uydu görüntüleri (ve bu hava resimleri için de geçerlidir) fiziksel işlemlerin bir sonucudur. Resim ve gösterilen arazi arasında, resimde belirli bir gri tona karşılık gelen nedensel bir ilişki vardır. Harita kullanıcısı gizli bir çizimi değil resmin tamamına entegre edilmiş bir resim görüntüsünü görmektedir. Fakat aynı şeyler aynı biçimde görülmemektedir. Ortama, aydınlanmaya, mevsime, vs.göre aynı objeler resimde farklı olarak ortaya çıkabilir. Fakat kişisel deneyim ve mantıksal ilişki kabiliyeti ile objelerin anlamı yorumlanarak işlenecek hale getirilir. Burada anlamı tanımlanamayan resim görüntüleri ile de karşılaşılır. Bir uydu görüntü haritası kullanıcısı, bir topografik harita kullanıcısından çok daha fazla yorumlama çalışması yapmak zorundadır (ALBERTZ ve TAUCH 1994).

### 3.1.5. Sayısal görüntü işleme

Uydu görüntü haritalarının yapımında yüksek kaliteye ancak sayısal görüntü işlemenin çok esnek metotları mantıklı kullanıldığında erişilebilir. Bunun anlamı fotografik formda elde mevcut verilerin (örneğin KFA-1000) önceden

sayısallaştırılması gerekir, ancak ondan sonra diğer algılayıcıların sayısal verileri ile çalışılabilir. Sayısal görüntü işlemenin mantıklı kullanımı ayrıca tüm işleme aşamasının harita baskısı için orijinalin oluşturulmasına kadar sayısal çalışabilmesidir.

Uydu görüntü haritalarının yapımında kapsamlı bir yazılım sistemine ihtiyaç vardır. Tüm üretim işlemi aşağıdaki akış şeması ile yürütülür.

- ✓ Görüntü verilerinin ön işlenmesi
- ✓ Geometrik mozaik oluşturma ve izdüşüm
- ✓ Radiometrik mozaik oluşturma
- ✓ Multisensoral veri cümlelerinin kombinasyonu
- ✓ Kartografik çalışma
- ✓ Raster ploter çıkış

Her adımdaki ayrıntılara literatürde çok sık yer verilmektedir (ALBERTZ ve diğ. 1992, ALBERTZ 1993, ALBERTZ ve TAUCH 1994). Sözü edilen işlemler uydu görüntü haritalarının yapımı için teknik adımları tanımlamaktadır. Fakat gösterim olanakları ve sorunlarından bahsetmemektedir. Bu bağlamda ölçeğin saptanması ve renklendirme grafik gösterim güçlükleri olarak görülmelidir.

### **3.1.6. Amaca uygun ölçekler**

Bir harita ölçeğinin saptanmasındaki tüm kriterlere ek olarak bir uydu görüntü haritasında görüntü detayının ayırd edilebilirliğine dikkat edilmelidir. Bu, arazi elemanının yapısal ve spektral özelliklerin ve algılama sisteminin teknik parametrelerinin bir fonksiyonudur. Deneyimler göstermiştir ki, detayın iyi ayırdedilebilmesi ve çekici bir görüntü etkisine, ancak görüntü verisine ait bir orijinal pikseli haritada yaklaşık 0.3 mm büyüklüğünde gösterildiği zaman ulaşılabileceğini göstermiştir (COLVOCORESSES 1986). Bu büyüklük literatürde 0.25 mm ve 0.20 mm olarak da verilmektedir.

Bölüm 2.de özetlenen haritalama amaçlı uydu algılama sistemleri gözönüne alındığında bu veriler kullanılarak üretilecek uydu görüntü haritaları için sağlanması

gereken geometrik ve planimetrik doğruluk anlamında tavsiye edilen ölçek değerleri Tablo 3.1.de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Uydu görüntü haritalarının yapımında tavsiye edilen ölçek değerleri  
(ALBERTZ ve TAUCH 1994)

Algılayıcı	Kapladığı alan	Çözünürlük	Ölçek
LANDAT-MSS	170 x 185 km	79 m	1:250000
LANDSAT-TM	170 x 185 km	30 m	1:100000
SPOT (Multispektral)	60 x 60 km	20 m	1:100000
SPOT (Pankromatik)	60 x 60 km	10 m	1:50000
KFA-1000	120 x 120 km	7.5 m	1:25000 - 1:50000
MOMS-02	37 x 37 km	5 m	1:25000
KWR-1000	40 x 40 km	2 m	1:10000

### 3.1.7. Renklendirme olanakları

Bir uydu görüntü haritası için seçilecek renklendirme, üretilecek haritanın amacına göre belirlenmesine rağmen, görüntü verilerinin spektral kanalları dikkate alınarak belirlenmelidir. Renk seçimi için prensipte üç farklı olanak vardır.

Tek bir spektral kanaldan elde edilen verilerle siyah beyaz görüntü haritalarında bilgi içeriği ve renklerin estetik etkisinden vazgeçilebilir. Bu nedenle bu tür haritalar renklilere göre daha basit ve ucuz üretilirler.

Spektrumun görünür bölgesindeki üç kanaldan elde edilen verilerle, doğala yakın renklere harita yine ona karşılık gelen renkler tanımlanarak elde edilir.

Kızıl ötesi kanaldan elde edilen veriler yardımıyla yanlış-renkli bir gösterim elde edilmektedir. Kızıl ötesi renkli filmle elde edilen hava resimlerinden bilindiği gibi yeşil bitki örtüsü bunlarda kırmızı renk tonunda görünür.

Bunun dışında sayısal görüntü işleme metodları ile renklendirme geniş kullanım olanakları sayesinde çok kolaydır. Burada bir uydu görüntü haritasının renkli gösterimi kişinin subjektif değerlendirmesine bağlıdır(ALBERTZ ve TAUCH 1994).

### **3.2. Tematik harita yapımı için uydularla uzaktan algılama**

Tematik haritalarda bilindiği üzere çok çeşitli türden konuma bağımlı konunun gösterimi yapılmaktadır. Bu konuda uydular ile uzaktan algılama, çeşitli biçimlerde katkıda bulunabilir. Birincisi; temel altlık, uydu görüntü datalarından elde edilmiş bir topografik harita olabilir. Bu durumda tematik harita üretimi bilinen kartografik çalışma biçimlerinden bir ayrıcalık göstermez. Fakat ayrıca bir uydu görüntü haritası, bir takım konuların gösterimi için kullanılabilir ve zaten sıkça rastlanan durum da budur. Bu durumda tematik bilgiler kısmen veya tamamen uydu görüntü datalarından elde edilir.

#### **3.2.1. Temel altlık olarak uydu görüntü haritaları**

Uydu görüntü haritalarının tematik harita üretimi için kullanılmasında yine hava resimleri tekniğinden yararlanılmalıdır. Özel öneme sahip bir örnek İsveç'in ekonomik haritalarıdır ve 1937'den beri herhangi önemli bir değişikliğe uğramadan yayınlanmaktadır. 1:10000 veya 1:20000 ölçeklerinde hava resimleri altlığına dayanarak üretilmiş haritalar, arazi kullanım tipleri, hidrografik bilgiler ve daha fazlasını vermektedir.

Prensipte benzer şekilde uydu görüntü haritaları da tematik haritalama için temel altlık teşkil edebilirler. Bilindiği üzere bir tematik haritadaki topografik harita altlığı iki fonksiyonu yerine getirmelidir. Bu bağlamda topografik altlık tematik gösterimler için bir geometrik çatı olarak hizmet eder, ve tematik bilgilerin anlaşılması için gereklidir.

#### **3.2.2. Uydu görüntü verilerinden tematik kıymetlendirme**

Tematik haritalarda verilecek tematik bilgilerin elde edilmesi kural olarak kartografların görevi değildir. Aynı şekilde uydular ile uzaktan algılamada da tematik

bilgiler başka disiplinlerden uzmanlar tarafından görüntü datalarından elde edilir. Bunun kompleks ve çok katlı bir görev yapısına sahip olmasına rağmen değerlendirme işlemlerinin çeşitliliği iki temel çalışmaya dayanır.

Birincisi insan faktörüne bağlıdır, görüntü içeriğinin algılanması tanınması ve buradan sonuçların elde edilmesidir. Bu aşama, görüntünün yorumlanması kavramı adı altında toplanır. Değerlendirici resimde, kenarlar, aydınlıklar vs. yoluyla yolları, çayırları, ormanları ayırır. Bunun yanında kendi ön bilgileri ile tanınandan direkt olarak tanınmayı ortaya çıkarmaya çalışır.

İkinci temel iş ise görüntü dataları ile hesaplamalardır. İstenen bilgiler matematik olarak formüle edilmiş kriterler yoluyla elde edilir. Bu aşama sınıflandırma kavramı ile ifade edilir. Özel olarak multispektral sınıflandırmada su, kum, orman gibi sınıflar renk değişiklikleri ile birbirinden ayrılır. Burada da ön bilgi gerekmektedir. referans alanları belirlendikten sonra geri kalanlar otomatik olarak hesaplanır. Pratikte etkileşimli değerlendirme sistemleri kullanılmaktadır.

Uzaktan algılama verileri ile elde edilen sonuçlar kartografik işlemde geçirilir. Burada grafik şekil (çizgisel objeler, birim alanlar arasındaki sınır çizgileri vs.) veya alansal şekil (sayısal raster veriler) sözkonusudur. Buradaki sorun, bu tür verilerin tematik haritalara aktarılmasıdır.

### **3.2.3. Uzaktan algılama verileri ile tematik harita üretiminin sorunları**

Bazı durumlar hariç, Kartografya bugüne kadar tematik haritalarda uzaktan algılama ürünlerinin kullanımına pek sıcak bakmamıştır. Böylece örneğin 1988 de Uluslararası Kartografya Birliği uydu görüntülerinden tematik harita üretmeyi hiç tatmin edici olmayan karmakarışık bir görüntü olarak nitelemiştir.

Bu durumun bir nedeni olarak; uzaktan algılama uzmanlarının bir çoğu bir ön kartografya eğitimi olmaksızın tek başlarına harita yapmak zorunda olduklarına inanmakta ve bu arada birçok basit temel kartografik kuralı ihlal etmektedirler.

Örneğin, bir “arazi kullanım haritası” alansal renklerin bir mozaikidir. Bir temel altlığın geometrik çatısı eksik olduğundan, ilave topografik haritalar olmadan kesinlikle yorumlanamamaktadırlar. Literatürde, uydular ile uzaktan algılamanın değerlendirme sonuçlarına bakıldığında, bir ölçek bilgisinin bile çoğunlukla bulunmadığı durumla sık sık karşılaşmaktadır.

Buradan ortaya çıkan bazı zorluklar, klasik kartografya deneyiminin dışında kalmaktadır. Multispektral sınıflandırmanın sonuçları örneğin tematik gösterimin içerisine adeta püskürtülmüş gibi çok rahatsız edici ve anlaşılamayan bir görüntü verebilmektedir. Burada, kartografyanın bugüne kadar geliştirdiklerinin dışında başka bir genelleştirmeye gereksinim duyulduğu açıktır.

Uzaktan algılamanın gelişmesi ile, tematik kartografyanın her seferinde uzun bir süre hala tam çözülmüş olarak kabul edilemeyecek yeni problemlerle karşılaşacağı kesin gibidir.

### **3.3. Uydu verilerinin kartografik kullanımı**

Radar sistemleri ve bunlarla elde edilen görüntü verileri değişik nedenler ile özel bir yere sahiptir. 70’li yıllarda basılı sonuçları ile harita üretme programları Brezilya ve öteki tropik bölge ülkelerinde uygulanmıştır. Burada uçak radar sistemleri ile alınmış görüntü verileri radar görüntü haritalarının ve tematik haritaların yapımında kullanılmışlardır.

Buna karşılık şimdiye kadar uydu verilerinden elde edilen kartografik ürünler çok zengin içerikli değillerdir. 1991’de uzaya gönderilen Avrupa uydusu ERS-1 gerçi 30 m çözünürlüklü görüntü verileri gönderiyordu ama bugüne kadar bilinen sonuçları kartografik açıdan hiç ilginç değildi. Mikrodalga algılayıcıların bazı kullanımlar için önemli yararları vardır ama kartografik açıdan optik algılayıcılarla rekabet edebildikleri söylenemez. Optik algılayıcılarla mikrodalga algılayıcıları beraber kullanacak bir sistem ilginç sonuçlar verebilir.

Uydu verilerinin kullanımının %30’u yani büyük çoğunluğu kartografyada yararlanılabilir niteliktedir. Haritalar, coğrafi bilgi sistemlerinin temel bilgisi olduğu

için bunun özel bir önemi vardır. Gelişmekte olan ülkeler için 1:50000 ölçekli, gelişmiş ülkeler için de 1:25000 ölçekli topografik haritalara genel bir talep vardır. Bu anlamda

	1:25000 için	1:50000 için
Konum doğruluğu	±5m	±10m
Yükseklik doğruluğu	±5m	±5m
Obje tanıma	2m	2-5m

gibi kriterler gözönünde bulundurulmalıdır.

Uydular ile uzaktan algılamanın topografik ve tematik haritalama için sunduğu çok çeşitli olanaklar bugün artık tartışılmamaktadır. 1:25000 ölçeğe kadar topografik haritaların yapımı, uydu görüntü datalarının çözünürlüğünün artırılması ve stereo resimlerin alımı için modern algılama sistemlerinin geliştirilmesine bağlıdır. Aynı zamanda 1:10000 ölçeğinde uydu görüntü haritalarının da yapımı için böylece daha iyi olanaklar ortaya çıkacaktır. Uydular ile uzaktan algılama verileri ile harita yapımı sorunlarını, bilinen hava resmi yöntemlerini uygulayarak çözmek mümkündür.

Uydular ile uzaktan algılama yoluyla kazanılmış tematik bilgilerin iyi tematik haritalara aktarımı için başarılması gereken bir dizi çalışma vardır. Bu konu, kartograflar için hala sorunları çözülmemiş bir ilgi alanı olarak ortada durmaktadır. Fakat bu konuda yapılması gereken adımları tek başına kartografyadan beklemek haksızlık olur. Aksine sonuca disiplinlerarası bir ortak çalışmanın ürünü olarak ulaşılabilecektir. Teknolojik gelişmeye paralel olarak bu ortak çalışma kartografya, fotogrametri, uzaktan algılama, görüntü işleme ve coğrafi bilgi sisteminin entegrasyonu ile daha kolay çözümlenebilecektir (ALBERTZ ve TAUCH 1994).

## 4. SAYISAL GÖRÜNTÜLERİN ÖZELLİKLERİ VE DİSTORSİYONLAR

### 4.1. Sayısal Görüntülerin Özellikleri

Sayısal görüntüler “piksel” olarak tanımlanan görüntü elemanlarından oluşmaktadır. Pikseller görüntüyü oluşturan en küçük parçalardır. Yeryüzünde küçük bir alana karşılık gelen bölgenin ortalama parlaklık değeri bir sayıdır ve bir piksele karşılık gelmektedir. Sayısal görüntü, değişik dalga boyundaki ışınım vektörlerinin sayısal ifadesidir. Işınım vektörlerinin parametreleri görüntüdeki farklılıkları (değişik sayıları) oluşturmaktadır. Sayısal görüntü iki boyutlu bir işaret kayıdır. Bilgisayardan kağıt baskı ya da televizyon ekranı gibi gözle görülen bir biçimde olabileceği gibi, manyetik bantta yazılı bir kayıt ya da bilgisayar belleğinde duran sayısal değerler biçiminde de olabilir.

Sayısal görüntü iki boyutlu bir vektör dizisidir. Diğer bir deyişle her elemanı vektör olan bir matristir. Görüntünün iki bağımsız değişkeni  $x$  ve  $y$ , geometrik boyutları oluşturur. Uzaktan algılamada buna coğrafi boyutlar da denmektedir. Matris elemanlarının her bir değeri her  $(x,y)$  noktasındaki fiziksel değişkenlerin değerlerini gösterir. Her bir görüntüde her matris elemanı karşılık geldiği coğrafi noktanın veya alanın elektromagnetik spektrumdaki yansıma veya ışınım değerlerinden oluşan bir vektördür. Siyah beyaz bir resim için elemanlar vektör değil skaler değerlerdir.

Matematiksel olarak bir sayısal görüntü aşağıdaki biçimde ifade edilmektedir.  $(x,y)$  koordinatlarındaki bir cisimden  $t$  zamanında olan bir ışınım  $L$  ;

$$L(x, y, t, \lambda) = \varepsilon(x, y, \lambda) M(\lambda) + r(x, y, t, \lambda) i(x, y, t, \lambda) \quad (4.1)$$

dır. Burada ;

$L$  = Spektral ışınım

$M$  = Objenin ışınması

- R = Yansıma  
I = Aydınlanma  
x,y = Koordinat eksenleri  
t = Zaman  
 $\lambda$  = Dalgaboyu  
 $\epsilon$  = Yayılma (Emissivite)

olarak tanımlanmaktadır. Böylece belirli bir alan içerisindeki (x,y) noktalarında belirli bir  $\Delta\lambda$  spektral bantta ve belirli bir t zamanında ölçülen L değerleri geometrik konumlarına karşılık geldikleri biçimde kaydedildiğinde buna bir “görüntü” denir. Yani her ölçülen L değeri, belirli sayıda ayrıntı değerden birine eşitlenirse elde edilen matris bir sayısal görüntü olur.

Yukarıdaki açıklamalardan sonra genel anlamda bir sayısal görüntü  $G(i,j)$  şöyle ifade edilebilir

$$i = 1, \dots, n$$

$$j = 1, \dots, m$$

olmak üzere

$$G(i,j) = \begin{bmatrix} g(i,j) \\ g(i,j) \\ \vdots \\ g(i,j) \end{bmatrix}$$

(n x m) boyutundaki görüntü  $G(i,j)$  matrisi ile ve bu görüntünün her pikseli, matrisin bir elemanı ile temsil edilmektedir. Matris indisleri i ve j görüntü piksellerinin yerdeki konum koordinatlarını gösterir. Matrisin her  $g(i,j)$  elemanı da bir vektördür.

Bu vektörün her elemanı bir skalerdir ve  $i,j$  koordinatlarındaki belli bir spektral bantta, bir zaman noktasında ölçülen değeri verir. Vektörün diğer elemanları aynı pikselle ilgili diğer ölçmeleri gösterir.

Bir sayısal görüntünün en küçük elemanını simgeleyen bir, piksel geometrik çözünürlük kavramı ile de yakından ilgilidir. Pikseller genellikle kare biçimindedir. Yeryüzünde bir piksele karşılık gelen alan ne kadar değişik görünüm ve değerlere sahip olursa olsun, pikselin bir spektral banttaki değeri tek bir sayı ile ifade edilir. Bu sayı bir bakıma o

alanın ortalama değeri olur. Sayısal bir görüntü yeterince bytldğinde blok blok görünümleri ile pikseller ortaya çıkar.

Sayısal görüntü elde eden bir tarayıcı, yapısı gereği bir anda yeryüzünde ancak küçük bir alana bakıp oradan spektral değerler okur. Tarayıcı optiğinin açısal çözünürlük gücünü ifade eden bu kavram anlık görüş alanıdır ve bir piksele karşılık gelir. Ancak birkaç “anlık görüş alanı” birleştirilerek bir piksel oluşturulabileceği gibi, sayısal bir görüntü yeniden örneklendiğinde, ya da geometrik düzeltmelerden geçirildiğinde “anlık görüş alanı” piksel ilişkisi birebir olmaktan çıkar. Fakat her ikisinde yeryüzünde karşı düştüğü bir alan vardır (SWAIN ve DAVIS 1991; REES 1990).

Yersel kavramlardan çok önemli olan birisi de, geometrik veya uzaysal çözünürlüktür. Uzaysal çözünürlüğün kesin bir tanımı yoktur. Değişik durum ve amaçlara göre değişik tanımlar yapılmaktadır. Genel olarak algılayıcı tarafından yeryüzünde ayrımı mümkün olan mesafe denebilir. Değişik metodlarla belli parlaklıkta bir fon üzerinde, belli parlaklıkta bir ya da iki noktanın (ya da çizginin) görüntü üzerinde belli etkileri oluşturduğu mesafe olarak tanımlanır. Uzaysal znrlk, “anlık görüş alanı” ve piksel büyüklüğüne bağlı olduğu gibi, radyometrik çözünürlük, yer ve atmosfer şartlarına da bağlıdır .

Parlaklık ya da ışınım şiddeti olarak ölçülen değerlerin, bilgisayar ortamında saklanabilmesi için belirli sayıda ayrı değerler biçiminde ifade edilmesi yani sayısallaştırılması gerekir. Bilgisayarların yapıları dolayısıyla her değerin bir byte ile ifade edilmesi uygun görülür. Bir byte sekiz bit'ten oluştuğu için ayırdedilebilen parlaklık seviyesi sayısı  $2^8 = 256$  olmaktadır. Genellikle en karanlığa ya da sıfır sinyal seviyesine 0, en yüksek sinyal seviyesine de 255 verilir.

Yeryüzündeki cisimlerin ve arazi türlerinin uzaktan algılanabilmelerinin en önemli nedeni spektral özelliklerinin değişiklik göstermesidir. Algılayıcıların tasarımı da bu değişiklikleri fark edecek ve istenilen çözünürlüğü sağlayacak biçimde yapılır. Bu özelliğe spektral çözünürlük denir. Her spektral bant (ya da kanal) elektromagnetik tayfın bir bölümüne duyarlıdır. Bu bölüm başlangıç ve bitiş dalga boyları, ya da merkez frekansı ve bant genişliği biçiminde verilir.

Zaman içerisinde değişim göstermeleri, birçok obje için çözünürlüğü kolaylaştırıcı etken olmaktadır. Görüntülerin birkaç değişik zamanda alınmasıyla çok zamanlı görüntüler ortaya çıkmaktadır. Burada hem görüntülerin algılanma zamanı hem de iki görüntü arasındaki zaman farkı önemli olabilmektedir.

Görüntü verilerinin işlenmesi bilgisayar kapasitesi sorunlarını da beraberinde getirir. Görüntülerin veri hacmi çok fazla olabileceğinden, işlenmesi de yüksek bilgisayar hızı ve bellek kapasitesi gerektirir. Bilgisayarla ilgili önemli ikinci bir faktör de hızdır. Veri sayısı yüksek olunca, bu kadar veri üzerinde yapılacak işlem de uzun zaman alır.

Sayısal görüntüler bilgisayarlarda üç değişik formatta (dosya/veri yapısında) saklanmaktadır.

1. Bant-Bant BSQ (Band Sequential) : Önce birinci bantın birinci satırı, sonra birinci bantın ikinci satırı, ... , birinci bantın sonuncu satırı, ikinci bantın birinci satırı, ... ,ikinci bantın sonuncu satırı, ... vb.

2. Satır-Satır BIL (Band Interval by Line) : Birinci bantın birinci satırı, ikinci bantın birinci satırı, ... , son bantın birinci satırı, birinci bantın ikinci satırı, ikinci bantın ikinci satırı, ... vb.

3. Piksel-Piksel BIP (Band Interval by Pixel) : Birinci piksel (birinci banttan sonuncu banta), ikinci piksel (birinci banttan sonuncu banta), ... , birinci satırın son pikseli (...), ikinci satırın ilk pikseli (...), ... vb.

#### **4.1.1. Grafik dosya formatları**

Görüntü işleme programları grafik veri dosyaları ile çalışmaktadır. Bu dosyalar, yukarıda tanımlanan formatlardan biri ile veriyi okuyup, kendilerine özgü menü seçenekleri ile işleyip, çeşitli formatlarda print/import/export olanağı sunmaktadırlar. Fakat kullanıcı, görüntü işleme konusunda mevcut yazılımın kendisine sunduğu olanaklar ile sınırlıdır. Farklı metodların veya algoritmaların yazılımlara eklenmesi her zaman, her yazılımda olanaklı değildir. Dolayısı ile uydu görüntüleri gibi veriler ile harita amaçlı çalışmalarda mevcut yazılımların sunduğu olanaklar dışında

uygulayıcının değişik amaçlı talepleri doğrultusunda görüntü verisine birtakım dışarıdan müdahale ile bu kez grafik dosyanın format yapısına ulaşma problemi ile karşılaşmaktadır. Bu dosyanın herhangi bir şekilde farklı programlar altında okutulması, ekrana getirilmesi, veri yapısı üzerinde herhangi birtakım değişikliklerin yapılarak tekrar yüklenmesi ve bunun çıkış alınan görüntü işleme programına tekrar yüklenerek işleme devam edilmesi grafik dosya formatları hakkında birtakım deneyim ve bilgi gerektirmektedir. Halen farklı amaçlı birçok disiplin bu format dönüşümü konusunda son derece yoğun ve ciddi çalışma içindedir.

Kullanılan çok sayıda çeşitli grafik dosya formatları mevcuttur. Fakat bunlar genel olarak iki gruba ayrılırlar. Birincisi örneğin AutoCAD dosyaları gibi vektör bazlı grafiklerdir. İkinci grafik tür ise bitmap dosyalardır. Bir bitmap dosya görüntüyü oluşturmak için hücrelerin açılıp/kapandığı bir grid şeklinde düşünülebilir. Genel bir ifade ile 1 bit/pixel bir bitmap görüntü 2 renkli (monokromatik), 4 bits/pixel bir bitmap görüntü 16 renkli, 8 bits/pixel bir bitmap görüntü 256 renkli , 16 bits/pixel bir bitmap görüntü 32,768 renkli ,24 bits/pixel bir bitmap görüntü 16,777,216 renkli bir görüntüyü ifade eder. Bitmap görüntülerin en büyük dezavantajı çok büyük hacimli dosyalar olmalarıdır.

Sıkça kullanılan ve hemen tüm grafik yazılımlar tarafından desteklenen 2-boyutlu grafik dosya formatlarından bazılarını aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür:

- ✓ **BMP** – Bir Windows Bitmap dosyasıdır. Windows altında çalışan resim yazılımları ve diğer windows yazılımları ile desteklenen bir dosyadır. Tipik olarak 8 bit dosya oluşturmasına rağmen 24 bit olanağı da sağlar.
- ✓ **GIF** – (Graphics Interchange Format) Sıkça kullanılan bir format türüdür. Birçok program tarafından desteklenir. 8 bit ve dolayısı ile 256 rengi destekler.
- ✓ **JPEG** – (Joint Photographic Experts Group) Bu format 24 bit maksimum renk ile çalışır ve sıkıştırılmış bir dosyadır.
- ✓ **PCX** – (PC Paintbrush dosyasıdır) 8 bit ve 256 rengi destekler.
- ✓ **TIFF** – (Tagged Image File Format) Yüksek çözünürlük için birçok platformda tercih edilen bir formattır. Sıkıştırılmış bir dosyadır.

## 4.2. Görüntü Oluşumu ve Distorsiyonlar

Algılama sistemlerinde görüntü oluşumu sistemin iki boyutlu impuls etkisi olan nokta dağılım fonksiyonuna bağlıdır. Bu nedenle görüntü nokta civarında dağılarak oluşur. Elde edilen görüntü gerçek nesne görüntüsü değildir ve bozulmuş bir görüntüdür.

Kaynak nedenleri ne olursa olsun, görüntü üzerindeki etkileri bakımından bozulmalar genel anlamda radyometrik ve geometrik olmak üzere iki kategoriye ayrılabilirler. En önemli görülen bazı bozulmaların kaynakları, etki biçimleri ve düzeltme yolları aşağıdaki gibi sıralanabilirler.

*Atmosferik etkiler* : elektromanyetik dalgalar atmosferden geçerken hem dağılır hem de zayıflarlar. Bu etki kontrast ve ayrımı zayıflatır ve gürültü katar. Gürültü etkisi atmosferde o anki su buharı ve başka faktörlere bağlı olduklarından önceden kestirilemez. Her görüntü için, hatta bazen bir görüntünün değişik bölgeleri için ayrı düzeltme gerekir. Yansıma ölçülen dalga boylarında (yaklaşık 3 ya da 4 mikrona kadar) birinci mertebe düzeltme basit anlamda, bir sabit sayının her piksel değerinden çıkartılması ile olur. Bu kadarlık bir düzeltme görüntüde önemli bir kalite kazancı sağlar ve yeterli olur. Bu sabit sayının bulunması, görüntü alım sırasındaki atmosferik koşulların ve objelerin genel yansıtma karakterlerinin bilinmesine bağlıdır. Genelde uygulanan yöntem bu sabit sayıyı en az yansıtma alınan objenin yansıtmasının birkaç seviye altına eşitlemektedir. Her spektral bant için değişik bir sayı gerekir. Yakın ve orta kızılötesinde su kütleleri en az yansıtma alınan obje için iyi bir örnek oluştururlar.

*Detektör kaynaklı bozulmalar* : Detektör, üzerine düşen ışık enerjisini elektriksel değere çeviren bir sistem elemanıdır. Tarayıcılarda spektral bant başına bir ya da birden fazla detektör olabilir. Aynı bant birden fazla detektör tarafından algılanıyorsa, detektörler arası kalibrasyon farkı görüntüde bozulmalara neden olur. LANDSAT MSS tarayıcısında altı detektörün paralel çalışması sonucu her altı satırda bir tekrarlanan yatay çizgiler ortaya çıkmaktadır. "Stripping" denen bu bozulmalar sayısal yollarla büyük ölçüde kolayca giderilmektedir.

*Sayısal dönüştürme hataları* : Detektör ve ona bağlı olan bir kuvvetlendirici (amplifier) devresinden çıkan voltaj, bir analog/sayısal çeviriciden (A/D converter)

geçerek sayısal değerlere dönüşür. Burada, sürekli bir değeri ayrıntı değerlerle ifade etmekten kaynaklanan quantization hatası ortaya çıkar. Bu hata, sayısal dönüşümde yeteri kadar seviye kullanılarak en aza indirilebilir. Genellikle 8 byte yeterli olmaktadır.

### 4.3. Geometrik Distorsiyonlar ve Düzeltilmesi

Görüntüdeki geometrik bozulmaların önemli bazı nedenleri şu şekilde özetlenebilir :

*Yükseklik değişimleri* : Algılayıcı platformunun yüksekliğinde olabilecek değişimler görüntünün ölçeğinin değişmesine neden olur.

*Açısal durum değişimleri* : Normal olarak, algılayıcının bakış eksenini yere, tarama eksenini ise gidiş yönüne diktir. Platformun hareketlerinden dolayı algılayıcının bakış ve hareket eksenleri bu normal durumun dışına çıkınca geometrik bozukluklar doğar. Bu bozuklukların sistematik olarak düzeltilmesi için platformun açısal durumunun sürekli kaydedilmesi gerekir.

*Tarama eksikliği*: Tek detektörlü tarayıcılarda optik sisteminin yaptığı tarama sırasında, öne hareketten dolayı bir eğiklik olur.

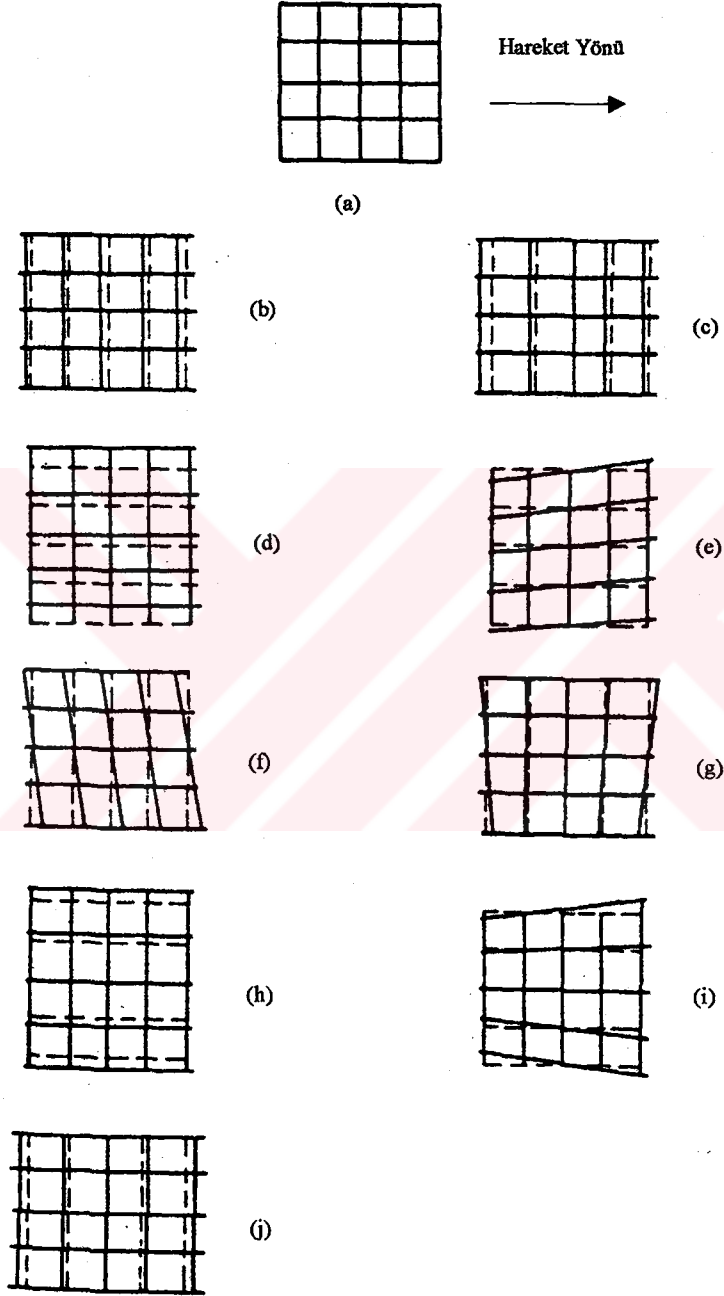
*Tarama mekanizması hataları* : Tarama mekanizmasında olabilecek hız değişikliklerinin doğurduğu hatalardır. Zamanla değişmiyorsa düzeltilebilir.

*Platform hızı* : Uydunun yere göre hız değişikliği tarama satırlarının sıklığını değiştireceğinden geometrik bozukluklar ortaya çıkar.

*Dünyanın dönüşü ve yer küreselliği* : Uydu algılayıcılar için bu hatalar yazılımlar yoluyla düzeltilmektedirler.

*Panorama hataları* : Bir “anlılık görüş alanının” yerde gördüğü alanın büyüklüğü tarama açısının teğetine orantılıdır. Ancak örnekleme eşit zaman aralığında yapıldığından tarama alanının orta pikselleri küçük, yan pikseller daha büyük alanları kapsar. Bu hata bazı modern tarayıcılarla örnekleme mekanizması modifikasyonu yoluyla düzeltilmektedir.

*Harita projeksiyon sistemleri* : Görüntülerin çoğu kez bir harita bazına oturtulmaları istenir. Bunun içinde geometrik hata olsun ya da olmasın görüntü, bir geometrik dönüşümden geçmek zorundadır. Geometrik dönüşümler hata düzeltmeleri için de harita projeksiyon sistemleri değişimi için de aynı matematiksel kavramları içerirler.



**Şekil 4.1.** Algılayıcı platformun farklı yönelim düzensizliklerinden dolayı algılayıcının yeryüzündeki örtmesi

Görüntü üzerindeki geometrik bozulmalara örnek olarak algılayıcı platformun farklı yönelim düzensizliklerinden kaynaklanan algılayıcının yeryüzündeki örtmesinde oluşan distorsiyonlar Şekil 4.1.'de gösterilmiştir. Burada

- a) Teorik görüntü örtüsü,
- b) Boyuna eğiklik,
- c) Doğrusal hız değişimi,
- d) Enine eğiklik
- e) Doğrusal enine eğiklik değişimi,
- f) Dönüklük,
- g) Doğrusal dönüklük değişimi,
- h) Yükseklik değişimi,
- i) Doğrusal yükseklik değişimi,
- j) Hız ve doğrusal boyuna eğiklik değişiminin gösterimi yapılmaktadır (SWAIN ve DAVIS 1991).

Geometrik bozulmaların düzeltilmesi, yöntemler ne olursa olsun, kavramsal olarak iki aşamadan oluşur. Birinci aşamada orijinal görüntü ile düzeltilmiş görüntünün konumları arasındaki geometrik ilişki ortaya konur. Diğer yöntemde ise yeni görüntüdeki her pikselin değeri hesaplanır.

Hataların tek tek düzeltilmesi yerine, yer kontrol noktaları kullanılarak hataların oluşum biçimine bakılmaksızın genel amaçlı düzeltmeler yapılmaktadır. Eğer görüntüde kolayca bulunabilecek ve net olarak tanımlanabilecek noktaların harita koordinatları tam olarak biliniyorsa bir dönüşüm modeli oluşturularak modelin gerektiği parametreleri bilinen noktalar kullanılarak hesaplanabilir. Yer kontrol noktası olarak seçilecek noktalar yol kavşakları, su ve kara ayrımlarındaki girinti ve çıkıntılar, köprü, havaalanı gibi kolayca tanımlanabilecek büyük yapılar olabilir. Yer kontrol noktalarının görüntü içerisinde uygun dağılımı sağlanmalıdır (ORTI 1981). Genel olarak yaygın kullanılan dönüşüm modeli afin transformasyondur (MARKARIAN ve diğ. 1973, WELCH ve USERY 1984).

#### 4.4. Yer Kontrol noktaları

Birçok uygulamada uzaktan algılama görüntülerinin nicel kullanımı bu görüntülerin içerdiği geometrik distorsiyonun istenen bir harita projeksiyonuna düzeltilmesini gerektirir. Geometrik olarak düzeltilmiş görüntülere aşağıdaki amaçlar için gereksinim duyulur.

- Görüntüyü standart bir projeksiyona taşımak için
- İlgili noktaları konumlandırmak için
- Komşu görüntüleri kaydetmek için (mozaikleme)
- Aynı alanın farklı tarihlerdeki ve farklı algılayıcılardan görüntülerini üstüste getirmek için
- Görüntüyü bir harita üzerine veya bir coğrafi veri tabanına oturtmak için.

Çok yaygın uygulanan geometrik düzeltme tekniği görüntü üzerinde ve buna karşılık gelen harita üzerinde seçilen yer kontrol noktaları kullanarak matematiksel koordinat transformasyonu ile amprik hesaptır. Düzeltmenin kalitesi, genellikle kaynağın kalitesi ile ilişkili olarak kontrol noktalarının sayısı ve kalitesine bağlıdır.

Uydu görüntülerinin geometrik düzeltilmesi hakkındaki yayınlar haritadan türetilen yer kontrol noktaları ile yarım piksel doğruluğa ulaşılabilceğini rapor etmektedirler. Burada noktaların kalitesi harita ölçeğine ve harita ve görüntü üzerinde yer alan objenin tipine bağlıdır.

Adım adım polinom transformasyonları konusundaki araştırmaların sonuçları literatürde rapor edilmektedir. Forster, 1:10000 ölçekli haritalardan türettiği yer kontrol noktaları yardımıyla (100 nokta) polinom transformasyonu kullanarak Landsat MSS görüntüsünün düşeye çevrilmesinde 30 metre (0.4 piksel) doğruluğa ulaştığını yazmaktadır (FORSTER 1980). Welch, yine polinom transformasyonu kullanarak 1:24000 ölçekli haritalardan türettiği kontrol noktaları ile Landsat 4 ve Landsat 5 TM görüntülerinin düşeye çevrilmesinde 7-28 metre (0.23-0.93 piksel) doğruluğa ulaşmıştır (WELCH ve diğ. 1985). Michaelis, 1:25000 ölçekli topografik haritalardan türettiği kontrol noktaları kullanarak (9 nokta) birinci derece polinomla

SPOT XS görüntülerinin düşeye çevrilmesinde 0.6-0.8 piksel doğruluğa ulaşmıştır (MICHAELIS 1988). Yine Forster, 1:25000 ölçekli haritalardan türettiği kontrol noktaları ile Spot Pankromatik görüntülerinin düşeye çevrilmesinde birinci ve ikinci dereceden polinomlar kullanarak 4 metre (0.4 piksel) doğruluğa ulaştığını rapor etmektedir (FORSTER ve diğ. 1988). Clavet, Spot Pankromatik görüntülerin düşeye çevrilmesinde, 1:50000 ölçekli haritalardan türettiği yer kontrol noktaları kullanarak 25 metre (2.5 piksel) doğruluğa ulaştığını yazmıştır (CLAVET.ve diğ. 1993). Bu çalışma kapsamında 1994 de yapılan bir araştırmada Landsat TM ve Spot pankromatik uydu görüntülerinin düşeye çevrilmesinde 1:25000 ölçekli ulusal topografik haritalardan türetilen yer kontrol noktaları kullanılarak 2. derece polinom transformasyonu ile Spot Pan için 9.20 m Landsat TM için 14.6 m karesel ortalama hata değerleri elde edilmiştir (İPBÜKER 1994).

Tüm bu çalışmalar göstermektedir ki düzeltmenin doğruluğu, görüntünün yersel çözünürlüğü, haritanın ölçeği ve kontrol noktalarının sayısı gibi birçok parametreye bağlıdır. Tüm çalışma örnekleri büyük ölçekli topografik haritalar ile çok iyi örtülmüş gelişmiş bölgeleri kapsamaktadır.

Gerekli topografik haritaların bulunmadığı alanlarda uydu görüntülerinin geometrik düzeltmesinde problemler çıkmaktadır. Dünya üzerinde birçok bölgede ise ya büyük ölçekli haritalar mevcut değildir ya da uydu görüntüsü üzerinde okunamayan objeler içerir. Bu durumda küçük ölçekli haritalara başvurulmaktadır. Bu tür alanlar için global konum belirleme sistemi GPS (Global Positioning System) teknolojisi potansiyel bir çözüm olarak önem kazanmaktadır.

İdeal koşullarda GPS yer küresi üzerinde doğru ve güvenilir coğrafi konumlandırma sağlamaktadır. GPS ile türetilen konumların doğruluğu birçok hata kaynağı nedeniyle sınırlı olmasına rağmen, özenli iş planı ve arazi ölçülerinin iyi değerlendirilmesi ile bu hataları minimize etmek mümkündür. Ayrıca ikinci bir alıcı ile konjekt edilmiş diferansiyel modda kaydedilen bir konum, tek bir alıcı ile autonomous modda kaydedilen bir konumdan daha doğrudur. (GIBBONS 1992)

GPS uygulaması konusunda kısa bir tarihçe vermek gerekirse, Irak'ın Kuveyt'i işgalini izleyen günlerde bölgenin haritaları çeyrek asır eski ve şüpheli doğrulukta

idi. Acilen doğru haritalara ihtiyaç vardı. Klasik jeodezik ve kartografik tekniklerle harita üretmek çok zaman alıcı idi. ABD Savunma Bakanlığı kartografya servisleri acilen harita üretme konusunda iki uydu bazlı teknolojiye başvurular: Landsat çokspektrumlu görüntüler ve Global Positioning System. İlk önce teknisyenler uydu görüntüsü üzerinde kavşaklar, binalar coğrafi objeler gibi tanımlanabilir yer kontrol noktaları seçtiler. Taşınabilir GPS alıcıları ile her noktanın konumu belirlendi. Bilgisayarda yüklü uydu görüntüsü bu koordinatlar ile düşeye çevrildi ve askeri plancuların operasyonları yürütebilmeleri için bölgenin fotografik haritaları üretildi. Bu askeri tarihin sağladığı teknoloji giderek artan ölçüde profesyonellerin çok geniş bir uygulama alanına hizmet vermeye başladı. GPS'in anında konum belirleme yeteneği uzaktan algılama, navigasyon ve araç izleme amaçlı kullanılmaya başlandı.

Uydu görüntülerinin GPS ile türetilmiş yer kontrol noktaları kullanılarak geometrik düzeltilmesi hakkında şu an için literatürde çok az yayın vardır. Clavet, Spot Pankromatik görüntülerin düşeye çevrilmesinde GPS ile türetilmiş yer kontrol noktaları kullanarak (11 nokta) ,6 metre (0.6 piksel) doğruluğa ulaştığını yazmıştır (CLAVET ve diğ. 1993). Clavet'in bu çalışmasında yer alan önemli bir ayrıntı, yer kontrol noktaları hakkındaki verinin GPS istasyonlarından elde edilmesi, hava fotoğraflarından elde edilmesi veya topografik haritalardan elde edilmesi durumunda bir maliyet ve süre analizi de yapmış olmasıdır.

Bu konuda, diğeri ayrıntılı bir çalışma Kardoulas ve ekibi tarafından yapılmıştır. Birinci derece polinom transformasyonunun kullanıldığı çalışmada hem 1:100000 ölçekli haritalardan türetilmiş hem de GPS ölçmeleri ile elde edilmiş yer kontrol noktaları kullanılmış Landsat MSS, Landsat TM ve Spot Pankromatik uydu görüntüleri için sonuçlar verilmiştir. GPS ile elde edilen veriler kullanıldığında Landsat MSS için 11.3 m., Landsat TM için 23.8 m. ve Spot PAN için 20.4 m. karesel ortalama hata ve 1:100000 ölçekli topografik haritalardan elde edilen veriler kullanıldığında Landsat MSS için 25.8 m., Landsat TM için 23.4 m. ve Spot PAN için 33.5 m. karesel ortalama hata değerlerinin elde edildiği bu çalışmada yer almaktadır (KARDOULAS ve diğ. 1996).

Daha yeni bir çalışma olarak Brezilya Viçosa Üniversitesinden Vilela ve ekibi tarafından gerçekleştirilen bir çalışma da literatürde yer almaktadır. Bu çalışmada,

yer kontrol noktaları olarak seçilen noktaların koordinatları hem topografik haritalardan, hem ortofotolardan hem de GPS tekniği kullanılarak elde edilmiş ve birinci derece polinom transformasyon kullanılarak Landsat TM görüntüleri düzeye çevrilmiş ve sonuçları verilmiştir. Vilela, bu çalışmasında 34 kontrol noktasının koordinatlarının 1:50000 ölçekli topografik haritalardan, 1:10000 ölçekli ortofotolardan okunarak ve Magellan GPS alıcısı ile ölçülerek elde edildiğini ve topografik haritalardan elde edilen verilerle 12.13 m., GPS ile elde edilen verilerle 6.20 m. ve ortofotolardan elde edilen verilerle 6.15 m. doğruluğa ulaşıldığını rapor etmektedir (VILELA ve diğ. 1998).

Anılan tüm bu çalışmalarda ortak hedef, yer kontrol noktalarının elde edilebileceği kaynakların sağlayacağı doğruluğun analizine yöneliktir. Kullanılan dönüşüm algoritmasının sağlayacağı doğruluk hakkında bir araştırma yapılmamıştır. Ayrıca yayınlanan sonuçlar incelendiğinde, yer kontrol noktaları için kullanılan veri kaynağının ölçeğinin, uygulanacak uydu görüntüsünün çözünürlüğü ile doğrudan ilişkili olduğu görülmektedir. Örneğin, 1:100000 ölçekli bir topografik haritadan elde edilen konum bilgisi düşük çözünürlükteki bir Landsat MSS görüntüsü için daha iyi bir sonuç verirken, buna oranla daha yüksek çözünürlüğe sahip bir Spot PAN görüntüsü için sonuç kötüleşmektedir. Fakat Spot PAN görüntüsünün dönüşümü için, çözünürlüğüne en uygun ölçek kabul edilebilecek 1:10000 ölçekli ortofotolardan elde edilen verinin çok daha iyi bir sonuç verdiği görülmektedir. Yer kontrol noktalarının koordinatları hakkında verinin, dönüşümü yapılacak görüntünün çözünürlüğüne en uygun veya diğer bir deyişle okunabilirliğine en yakın bir ölçekte bir veri kaynağından elde edilmesinin en doğru yaklaşım olacağı açıktır.

## 5. KONUMSAL DÖNÜŞÜM YÖNTEMLERİ

Uzaktan algılama uydularından kaydedilen sayısal görüntülerin geometrik iyileştirilmesi ve aynı zamanda bir harita projeksiyon sisteminde tanımlanması genel anlamda bir konumsal transformasyon işlemidir. Problem, literatürde düzgün dağılmış olmayan veri grupları arasında bir transformasyon olarak da tanımlanmaktadır. Veri grupları arasındaki ilişkiye bağlı olarak bu tür bir dönüşüm için çok sayıda farklı matematik algoritma vardır. Bu yöntemlerin genel karakteri, dönüştürülecek model ve dönüşümü yapılacak her iki model üzerinde tanımlanan eşlenik noktaların her bir model üzerindeki konum bilgileri arasında matematiksel bir ilişki kurup aynı ilişkiyi keyfi diğer noktalara uygulayarak dönüşümü sağlamaktır. Kullanılabilecek bu yöntemler, Gauss-Markov en küçük kareler yöntemi ile benzerlik dönüşümü, Fourier serileri ile enterpolasyon, splayn fonksiyonları, sonlu elemanlar yöntemi ve polinom transformasyonları gibi çok geniş bir yelpazede yer almaktadır. Fakat, 80'li yıllardan beri süregelen araştırmaların sonuçlarında, bunlardan birçoğunun pratik uygulama amaçları için fazla komplike olduğu belirtilmektedir. Aralarında üniter veya diğer bir deyişle ölçek ve uzunluğa bağımlı birimsel bir ilişki bulunan iki boyutlu düzgün dağılımda olmayan veri grupları arasındaki bu tür bir dönüşüm için genelde yüzey modellemede kullanılan radyal bazlı fonksiyonlar önerilmektedir (EHLERS ve FOGEL 1994). Ayrıca, sonlu elemanlar olarak algılanabilecek alt alanlar içerisinde parça parça enterpolasyon tekniği de son yıllarda bu konudaki birçok uygulamada tercih edilen ve rağbet gören alternatif bir yöntemdir. Aşağıda, polinom dönüşümü ile başlanarak, sonlu elemanlar yöntemi ve radyal bazlı fonksiyonların bu probleme uygulanabilecek matematik yapısı hakkında bilgi verilmeye çalışılmıştır.

### 5.1. Polinom Dönüşümleri

Uzaktan Algılama görüntülerinin geometrik düzeltilmesi için en yaygın kullanılan yaklaşım polinom serileri işlemidir. Polinom dönüşümü yöntemleri kontrol noktaları sayısına dayanan enterpolasyon veya kestirim fonksiyonlarıdır. Ancak kontrol noktaları sayısı polinom eşitliğindeki bilinmeyen sayısına eşit olduğu zaman, bir

enterpolasyon durumu sözkonusu olur. Kontrol noktası sayısı bilinmeyen terimlerden fazla olduğu zaman dönüşüm katsayıları dengeleme yoluyla bulunur. Bu durumda herbir kontrol noktasında tipik artık distorsiyon oluşur. Bu nedenle, birinci dereceden yüksek mertebeden polinomlarda ekstrapolasyonda istenmeyen salınımlar meydana gelir.

Uzaktan algılamadaki uygulamalarda polinom dönüşümü, Moik ve Wolberg tarafından önerildiği gibi, aşağıdaki biçimde açıklanabilir:

$x=f(u,v)$ ,  $y=g(u,v)$  ve  $N$  polinomun derecesi olmak üzere:

$$x = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{N-1} a_{ij} u^i v^j \quad (5.1)$$

ve

$$y = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^{N-1} b_{ij} u^i v^j \quad (5.2)$$

Burada,  $(x,y)$  1.sistemdeki koordinatları  $(u,v)$  dönüştürülmek istenen 2.sistemdeki koordinatları göstermektedir.

Örneğin, üçüncü dereceden bir polinom için ( $N=3$ ) polinom eşitlikleri daha açık bir ifade ile

$$x = a_{00} + a_{01}v + a_{02}v^2 + a_{03}v^3 + a_{10}u + a_{11}uv + a_{12}uv^2 + a_{20}u^2 + a_{21}u^2v + a_{30}u^3$$

ve

(5.3)

$$y = b_{00} + b_{01}v + b_{02}v^2 + b_{03}v^3 + b_{10}u + b_{11}uv + b_{12}uv^2 + b_{20}u^2 + b_{21}u^2v + b_{30}u^3$$

şeklinde yazılabilir. Bu şekilde ifade edilen polinom eşitlikleri ile işlem yapıldığında kontrol noktaları sayısı  $((N+1)*((N+2))/2)$  sayısından büyük veya eşit olmalıdır.  $x$  ve  $y$  koordinatlarının herbiri için için ayrı ayrı işlem yapıldığından toplam sayı bunun iki katıdır (MOIK 1980, WOLBERG 1990).

Kratky ve Hall tarafından ortaya atılan bi-polinomial ifade ise yine  $x=f(u,v)$ ,  $y=g(u,v)$ , olmak üzere her biri  $N^2$  terim veya katsayı içermek üzere

$$x = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N a_{ij} u^i v^j \quad (5.4)$$

ve

$$y = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N b_{ij} u^i v^j \quad (5.5)$$

şeklinde yazılabilir. Burada yine benzer şekilde açık bir ifade ile

$$x = a_{00} + a_{01}v + a_{02}v^2 + a_{03}v^3 + a_{10}u + a_{11}uv + a_{12}uv^2 + a_{13}uv^3 + a_{20}u^2 + a_{21}u^2v + a_{22}u^2v^2 + a_{23}u^2v^3 + a_{30}u^3 + a_{31}u^3v + a_{32}u^3v^2 + a_{33}u^3v^3$$

ve (5.6)

$$y = b_{00} + b_{01}v + b_{02}v^2 + b_{03}v^3 + b_{10}u + b_{11}uv + b_{12}uv^2 + b_{13}uv^3 + b_{20}u^2 + b_{21}u^2v + b_{22}u^2v^2 + b_{23}u^2v^3 + b_{30}u^3 + b_{31}u^3v + b_{32}u^3v^2 + b_{33}u^3v^3$$

yazılabilir (KRATKY 1976, HALL 1979).

## 5.2.Sonlu Elemanlar Yöntemi

Uzaktan algılama verilerinin sonlu elemanlar yöntemi ile dönüşümü ifadesi, kontrol noktalarının oluşturduğu üçgenler içerisinde parça parça lineer enterpolasyon yöntemi ile eş anlamlı olarak kullanılmaktadır. Bu yöntem, uydu görüntü verilerinin geometrik dönüşümüne lokal bir yaklaşım getirmektedir. Üçgenlerden oluşan parçalar, mühendislik terminolojisindeki sonlu elemanlara karşılık gelmektedir. Fakat burada matematik literatüründe yer alan *Sonlu Elemanlar Yöntemi* kastedilmemektedir. Zira dönüşümde ele alınan veri grupları arasında kısmi diferansiyel bir ilişki kurulamadığı sürece bu yöntemin teorik olarak uygulanması mümkün değildir. Fakat, yöntem “*sonlu elemanlar yöntemi*” mantığı ile uyuşum içerisinde.

İster biyolojik, ister jeolojik veya isterse mekanik olsun, doğadaki her olgu; farklı değerlere bağlı olarak cebrik, diferansiyel veya integral eşitlikler yoluyla, fizik yasaları yardımıyla açıklanabilir. Sonlu elemanlar yöntemi, yaklaşım fonksiyonunun türetilmesi için bir sistematik prosedür sağlar. Diğer hesap yöntemlerinden farklı olarak bu yöntem iki temel özelliği içerir. Birincisi, problemin karmaşık geometrik yapısının basit geometrik alt-alanların bir toplamı şeklinde sunulması; ki bunlara “*sonlu elemanlar*” adı verilir. İkinci olarak da; herbir sonlu eleman üzerinde herhangi bir sürekli fonksiyonun cebrik polinomların bir lineer kombinasyonu şeklinde ifade edilebileceği temel düşüncesini uygulayarak yaklaşım fonksiyonunun türetilmesidir. Bu yaklaşım fonksiyonları enterpolasyon teorisinin kavramları kullanılarak türetildiği için bunlara “*enterpolasyon fonksiyonları*” adı verilir. Bu nedenle, sonlu elemanlar yöntemi değişik yöntemlerin parçalı bir uygulaması şeklinde de yorumlanabilir. Burada, yaklaşım fonksiyonları polinomlardır ve belirlenmemiş parametreler ön-seçilmiş noktaların sonlu bir sayısında çözümün değerini ifade eder ve elemanın içinde veya sınırlarındaki düğümler olarak adlandırılır. Enterpolasyon teorisinden bilindiği gibi enterpolasyon fonksiyonunun derecesi (mertebesi) elemanın içindeki düğümlerin sayısına bağlıdır.

Uydu görüntülerinin geometrik dönüşümünde, sonlu elemanlar yaklaşımı ilk kez dörtgen yüzeyler içinde bilineer fonksiyonlar kullanılması şeklinde 1976’da JPL ‘de (Jet Propulsion Laboratory) VICAR/IBIS projesinde (Video Image Communication and Retrieval/Image Based Information System) kullanılmıştır (FOGEL 1996). Kontrol noktaları kullanılarak sonlu elemanların oluşturulması konusunda Castleman’dan da faydalanılabilir (CASTLEMAN 1979). 1979’da LANDSAT görüntülerinin mozaiklenmesinde bilineer fonksiyonlar ile sonlu üçgen elemanlar kullanılmıştır (ZOBRIST ve diğ. 1983).

Kontrol noktaları arasında oluşturulan alt alanlar içerisinde lineer dönüşümünü ifade eden bu yöntemde, “*sonlu elemanlar*” olarak ele alınacak parçalar dörtgen yüzeyler şeklinde oluşturulmuşsa, herhangi bir dörtgen yüzey içerisine düşen bir görüntü noktası

$$x = a_0 + a_1u + a_2v + a_3uv$$

ve

$$y = b_0 + b_1u + b_2v + b_3uv$$

(5.7)

şeklinde dönüştürülür. Matris gösterimi ile denklem sistemi

$$\begin{bmatrix} x_0 & y_0 \\ x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ x_3 & y_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_0v_0 & u_0 & v_0 & 1 \\ u_1v_1 & u_1 & v_1 & 1 \\ u_2v_2 & u_2 & v_2 & 1 \\ u_3v_3 & u_3 & v_3 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_3 & b_3 \\ a_2 & b_2 \\ a_1 & b_1 \\ a_0 & b_0 \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

şeklinde yazılabilir.

Alt alanlar üçgenler ile tanımlanıyor ise, bu durumda fonksiyon benzer şekilde

$$x = a_0 + a_1u + a_2v$$

ve

$$y = b_0 + b_1u + b_2v$$

(5.9)

eşitlikleri ile ifade edilir. Yine matris gösterimi ile fonksiyon

$$\begin{bmatrix} x_0 & y_0 \\ x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_0 & v_0 & 1 \\ u_1 & v_1 & 1 \\ u_2 & v_2 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_2 & b_2 \\ a_1 & b_1 \\ a_0 & b_0 \end{bmatrix} \quad (5.10)$$

şeklinde tanımlıdır (FOGEL 1996).

Burada önemli olan, kontrol noktaları kullanılarak üçgenlerin hangi kritere göre oluşturulacağıdır. Üçgen bazlı enterpolasyon işleminde rastgele dağılmış noktaların en uygun üçgenlenmesi konusu uzun yıllardır farklı bilimlerin ilgi alanı olmuştur. Bu nedenle sistematik üçgenleme konusunda literatürde oldukça fazla kaynak ve uygulama bulmak mümkündür. Geometri literatüründe, optimal üçgenleme için “*minimum uzunluk üçgenlemesi*” veya “*minimum-ağırlıklı üçgenleme*” yöntemleri

yer almaktadır (PREPARATA ve SHAMOS 1985). Optimal üçgenleme, kenar uzunlukları toplamı minimum olan üçgenleme olarak tanımlanır. Yani, ağdaki kenarlar, toplamaları minimum olacak şekilde seçilir. Bu özellik nedeniyle yöntem, “*minimum-ağırlıklı üçgenleme*” olarak da anılır.

Greedy veya Delaunay üçgenleme metodları da literatürde yer almaktadır. Greedy üçgenlemesinde, herhangi bir kenar seçilirken uygun olan en kısa kenar seçilir. Kenarların toplamının ne olacağı önemli değildir. Delaunay üçgenlemesi, oluşan üçgenlerin çevrel çemberleri içinde bir başka veri noktası olmaması esasına dayanarak gerçekleştirilmektedir. Bu özellik oluşacak üçgenlerin en küçük açısının, olabildiğince büyük olmasını sağlar. Bu durumda oluşan üçgenler “eşkenar” üçgenlere en yakın üçgenlerdir. Bu yöntem dağınık veri grupları için tek anlamlı ve en uygun üçgenleme yöntemi olarak önerilmektedir Fakat her ikisinin de optimal üçgenleme için yeterli olmadığı iddia edilmektedir (MANACHER ve ZOBRIST 1979). Görüntü distorsiyonlarının modellenmesinde ve bu anlamda uydu görüntü verilerinin geometrik dönüşümünde kullanılmak için önerilen, henüz uygun bir üçgenleme kriteri yoktur. Uygun bir üçgenleme, uzaktan algılama görüntüsü içerisindeki distorsiyonların doğasına bağlıdır. Aynı şekilde yüzeye ve ele alınan veri grubuna bağımlıdır (FOGEL ve TINNEY 1996).

### **5.3. Radyal Bazlı Fonksiyonlar ile Dönüşüm**

Uydu görüntülerinin geometrik dönüşümünde radyal bazlı fonksiyonlar polinom dönüşümü yöntemlerine alternatif fonksiyonlar olarak karşımıza çıkmaktadır. Hardy'nin multikvadrik metodu radyal bazlı fonksiyonlar ailesinden bir yöntemdir. Aynı şekilde bu aileden diğer bir yöntem olarak ince levha splayn fonksiyonları (thin plate splines) literatürde yer almaktadır. Bu yöntemlerin yüzey modelleme için temel fonksiyonu oluşturmak amacıyla tüm kontrol noktalarını kullandıkları için daha global ve duyarlı yöntemler olabileceği belirtilmektedir (FOGEL 1996, McGWIRE 1998).

Anılan bu yöntemler hakkında daha detaylı bilgi için (CARLSON ve FOLEY 1982, CARLSON ve FOLEY 1992) kaynaklara başvurulabilir. Teorik tartışmalar 1976'da Duchon, 1979'da Meiguët, 1986'da Micchelli ve 1987'de Powell tarafından

yapılmıştır (DUCHON 1976, MEINGUET 1979, MICHELLI 1986, POWELL 1987, POWELL 1992, FOGEL 1996). Tobler benzer bir şekilde bilinear regresyon yöntemi ile kartografik distorsiyonları analiz etmiştir (TOBLER 1994).

Radyal bazlı fonksiyonların genel yapısı

$$F(x, y) = \sum_{j=1}^N a_j h_j(x, y) + \sum_{j=1}^M b_j q_j(x, y) \quad (5.11)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Burada  $a_j$ ,  $b_j$  bilinmeyen katsayılar,  $h_j(x, y) = h(d_j)$  olmak üzere her bir veri noktasında mesafeleri,  $N$ =kontrol noktası sayısını,  $M$ =polinomun mertebesini göstermektedir. Herbir  $j$  noktasında  $d_j$  mesafesi tüm diğer kontrol noktalarına  $N \times N$  adet mesafe olarak

$$d_j = \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2} \quad (5.12)$$

şeklinde türetilmektedir. Hardy'nin multikvadrik fonksiyonu ayrıca

$$h_j(d) = \sqrt{d_j^2 + r^2} \quad (5.13)$$

şeklinde ilaveten ( $r$ ) gibi, kontrol noktalarından geçerken yüzeyin eğimini veya keskinliğini ifade eden tensör benzeri bir parametre içermektedir. ( $r^2$ ) için optimal değer belirlenmesi güncel araştırmaların farklı bir konusunu oluşturmaktadır.

Diğer bir radyal bazlı fonksiyon olarak ince levha splayn fonksiyonları için

$$h_j(d) = d_j^2 \log d_j \quad (5.14)$$

olarak alınmaktadır. Polinom derecesi  $M=2$  olarak tanımlanmıştır. Bu tanım gereği ince levha splayn fonksiyonu için her zaman tek anlamlı bir sonuç vardır (FLUSSER 1992, BARRODALE ve diğ. 1993). Fakat Hardy'nin multikvadrik yöntemi için aynı durum söz konusu değildir. Başlangıç polinomu derecesi ( $M$ ) değişken olarak

alnabilmektedir. Michelli'nin çalışmasında önerdiği şekilde  $M=1$  alınabileceği gibi  $M=2$  veya 3 alınması durumunda daha presizyonlu sonuç vereceği belirtilmektedir (MICHELLI 1986, CARLSON ve FOLEY 1992).

$a_j$  ve  $b_j$  bilinmeyen katsayılar

$$\sum_{j=1}^N a_j h_j(x_i, y_i) + \sum_{j=1}^M b_j q_j(x_i, y_i) = z_i \quad i = 1, \dots, N$$

$$\sum_{j=1}^N a_j q_j(x_j, y_j) = 0, \quad i = 1, \dots, M$$

eşitlikleri çözümlenerek bulunur. Bu işlem koordinat dosyasının hem X-bileşeni için hem de Y-bileşeni için ayrı ayrı icra edilir.

### 5.3.1. İnce Levha Splayn Fonksiyonu

Bu yöntemin literatürde, yüzey modelleme ve görüntü düzeltmelerine ilk uygulaması Goshtasby tarafından yapılmıştır (GOSHTASBY 1988). Goshtasby, Harder ve Desmarais'in yüzey eğrilerini kullanmıştır (HARDER ve DESMARAIS 1972). Bu eğriler daha sonra Duchon tarafından yüzey modelleme probleminin karakterini yansıtmaları bakımından "*ince levha splayn fonksiyonları*" olarak adlandırılmıştır (DUCHON 1976). Yüzey eğrisi Goshtasby ve Flusser tarafından ifade edildiği gibi,  $x=F(u, v)$  ve  $y=G(u, v)$  olmak üzere

$$F(u, v) = a_0 + a_1 u + a_2 v + \sum_{i=1}^N f_i r_i^2 \ln r_i^2 \quad (5.11)$$

ve

$$G(u, v) = b_0 + b_1 u + b_2 v + \sum_{i=1}^N g_i r_i^2 \ln r_i^2 \quad (5.12)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Toplam şekilde ifade edilen son terim,

$$\sum_{i=1}^N f_i r_i^2 \ln r_i^2 = \sum_{i=1}^N f_i \left( \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \right)^2 \ln \left( \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \right)^2 \quad (5.13)$$

ve

$$\sum_{i=1}^N g_i r_i^2 \ln r_i^2 = \sum_{i=1}^N g_i \left( \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \right)^2 \ln \left( \sqrt{(x-x_i)^2 + (y-y_i)^2} \right)^2 \quad (5.14)$$

şeklinde daha açık bir şekilde yazılabilir. Burada,:

$$\sum_{i=1}^N f_i = \sum_{i=1}^N f_i u_i = \sum_{i=1}^N f_i v_i = 0 \quad (5.15)$$

ve

$$\sum_{i=1}^N g_i = \sum_{i=1}^N g_i u_i = \sum_{i=1}^N g_i v_i = 0 \quad (5.16)$$

denge koşulları öne sürülmektedir.  $N$  = kontrol noktaları sayısı olmak üzere,  $r^2$  :

$$r_i^2 = \left[ r_i(u, v) \right]^2 = (u - u_i)^2 + (v - v_i)^2 \quad (5.17)$$

şeklinde tanımlanmaktadır. Bu ise en basit ifade ile,  $i$  noktasından tüm diğer kontrol noktalarına olan mesafedir.

Denklem takımı  $N$  kontrol noktası için,  $N=1,2,\dots,n$  olmak üzere

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & u_1 & u_2 & \dots & u_n \\ 0 & 0 & 0 & v_1 & v_2 & \dots & v_n \\ 1 & u_1 & v_1 & 0 & r_{12}^2 \ln r_{12} & \dots & r_{1n}^2 \ln r_{1n} \\ 1 & u_2 & v_2 & r_{21}^2 \ln r_{21} & 0 & \dots & r_{2n}^2 \ln r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & u_n & v_n & r_{n1}^2 \ln r_{n1} & r_{n2}^2 \ln r_{n2} & \dots & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 & b_0 \\ a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \\ f_1 & g_1 \\ f_2 & g_2 \\ \dots & \dots \\ f_n & g_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 \\ x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ \dots & \dots \\ x_n & y_n \end{bmatrix} \quad (5.18)$$

matrisler ile gösterilebilir. Burada  $r_{ij} = r_i(u_j, v_j)$ , veya bütün  $i$  ve  $j$  ler için ( $i, j=1, 2, \dots, n$ )  $(u_i, v_i)$  kontrol noktasından  $(u_j, v_j)$  kontrol noktasına olan mesafedir (GOSHTASBY 1988, FLUSSER 1992, FOGEL 1996).

### 5.3.2. Hardy'nin Multikvadrik Fonksiyonu

İnce levha splayn eğrisi ve multikvadrik fonksiyonun ortaya çıkışı aynı dönemlere karşılık gelir. Hardy ilk kez 1971'de multikvadrik yöntemi tanıtırken (HARDY 1971), Harder ve Desmarais ince levha splayn eğrisini 1972'de yayınlamışlardır (HARDER ve DESMARAIS 1972). Bu iki yöntemin ne kadar kullanılışlı oldukları daha sonraları farkedilmiştir. Görüntülerin geometrik ve kartografik düzeltilmesinde multikvadrik yöntemin potansiyeli yine Hardy tarafından ortaya konmuştur (HARDY 1977). Hardy, bu tekniği multikvadrik-biharmonik metod şeklinde isimlendirerek, multikvadrik enterpolasyonun uygulandığı uzaktan algılama ile ilişkili 100 den fazla çalışmayı referans göstermektedir (HARDY 1990).

Multikvadrik enterpolasyon yönteminde tüm dayanak noktaları aynı anda kullanılarak data grubu için tek bir  $Z=f(x,y)$  fonksiyonu tanımlanır. Fonksiyon, katsayıları tanımlanmış tek bir cins ikinci derece denklemlerin toplamları olarak ifade edilmektedir. Bu yöntem analitik eşitlikleri ile Hardy tarafından topografik yüzeyler gibi düzgün olmayan yüzeylerin tek bir fonksiyonla tanımlanması amacıyla önerilmiştir (HARDY 1971, HARDY 1972a, HARDY 1972b). Yöntem sayısal arazi modellerinin oluşturulması yanında, dayanak noktalarının tümünü aynı anda kullanarak yüzeyi tek bir fonksiyonla ifade etmek amacı ile farklı mühendislik problemlerinin çözümü için de başarıyla uygulanmaktadır.

Hardy'e göre matematiksel olarak tanımlanmamış bir yüzey, matematik olarak tanımlanmış yüzeylerin toplamı ile istenilen bir doğruluk derecesinde tanımlanabilir. Hardy tanımladığı bu yüzeye "*Multikvadrik yüzey*" adını vermektedir (Hardy, 1972a). Multikvadrik yüzey genel anlamda

$$\sum_{j=1}^n c_j q(x_j, y_j, x, y) = Z \quad (5.19)$$

şeklinde ifade edilen seriler ile tanımlanabilir. Burada Z sözü edilen tek bir cins ikinci derece yüzeylerin toplamı olarak x ve y'nin bir fonksiyonudur.  $c_j$  bilinmeyenleri birer katsayı olup ikinci derece terimin cebrik işaretini ve eğimini ifade eder. Multikuadrik yüzey

$$\sum_{j=1}^n c_j [(x_j - x)^2 + (y_j - y)^2 + k]^{1/2} = Z \quad (5.20)$$

şeklinde iki yapraklı dairesel hiperboloid serilerinin toplamı olarak ifade edilebilir. Burada k multikuadrik parametredir. (3) eşitliğinde  $k=0$  alınırsa multikuadrik yüzey

$$\sum_{j=1}^n c_j [(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2]^{1/2} = Z_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (5.21)$$

şeklinde n sayıdaki dayanak noktalarından dairesel dik konilerin toplamı olarak ifade edilerek n sayıda lineer denklem sistemi oluşturulur. Burada  $n \times n$  boyutlu  $\underline{A}$  katsayılar matrisi

$$[(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2]^{1/2} = a_{ij} \quad (5.22)$$

şeklinde bilinen elemanlardan oluşur.  $c_j$  bilinmeyen katsayıları

$$\underline{c} = [c_1 \quad c_2 \quad \dots \quad c_n]^T \quad (5.23)$$

şeklinde n boyutlu bir  $\underline{c}$  vektörü ile ve dayanak noktalarının konumuna bağlı olarak bilinen  $Z_i$  değişkenleri

$$\underline{Z} = [Z_1 \quad Z_2 \quad \dots \quad Z_n]^T \quad (5.24)$$

şeklinde yine n boyutlu bir  $\underline{Z}$  vektörü ile ifade edilirse matris gösterimi ile,

$$\underline{A} \underline{c} = \underline{Z} \quad (5.25)$$

olur ve  $c_j$  bilinmeyenleri

$$\underline{c} = \underline{A}^{-1} \underline{Z} \quad (5.26)$$

matris eşitliğinden elde edilir.  $c_j$  katsayılarının belirlenmesi ile multikvadrik yüzey oluşmuş demektir. Dolayısıyla  $c_j$  katsayıları ve dayanak noktalarının  $(x_j, y_j)$  konumları bilindiğine göre herhangi bir  $(x_i, y_i)$  noktası için  $Z_i$  değişkeni (4) eşitliğinden hesaplanabilir (HARDY 1972).

Hardy'nin multikvadrik yöntemi uydu görüntülerinin düşeye çevrilmesi ve geometrik düzeltilmesi işlemi için de alternatif bir dönüşüm metodu olarak önerilmektedir. Burada tanıtılmaya çalışılan multikvadrik dönüşüm yönteminin detayları Göpfert, Ehlers tarafından açıklanmıştır (GÖPFERT 1977, GÖPFERT 1982, EHLERS ve FOGEL 1994). Yine Fogel ve Tinney tarafından yöntem hakkında ayrıntılı çalışmalar ve uygulamalar yayınlanmıştır (FOGEL 1996). Flottesch bu konuda bir yazılım geliştirecek kadar da ileriye gitmiştir (FLOTTEMESCH 1993).

Yine  $x=F(u, v)$  and  $y=G(u, v)$  olmak üzere transformasyon modeli:

$$F(u, v) = \sum_{i=1}^N f_i \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + R^2} \quad (5.27)$$

ve

$$G(u, v) = \sum_{i=1}^N g_i \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + R^2} \quad (5.28)$$

şeklinde yazılır. Bu ifade genellikle

$$F(u,v) = \sum_{i=1}^N f_i \sqrt{(r_i^2) + R^2} \quad (5.29)$$

ve

$$G(u,v) = \sum_{i=1}^N g_i \sqrt{(r_i^2) + R^2} \quad (5.30)$$

şeklinde de kullanılır (FOGEL 1996). Problemin çözümü

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 1 & \sqrt{r_{11}^2 + R^2} & \sqrt{r_{12}^2 + R^2} & \dots & \sqrt{r_{1n}^2 + R^2} \\ 1 & \sqrt{r_{21}^2 + R^2} & \sqrt{r_{22}^2 + R^2} & \dots & \sqrt{r_{2n}^2 + R^2} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \sqrt{r_{n1}^2 + R^2} & \sqrt{r_{n2}^2 + R^2} & \dots & \sqrt{r_{nn}^2 + R^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 & b_0 \\ f_1 & g_1 \\ f_2 & g_2 \\ \dots & \dots \\ f_n & g_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ x_1 & y_1 \\ x_2 & y_2 \\ \dots & \dots \\ x_n & y_n \end{bmatrix} \quad (5.31)$$

denklem takımının çözümüne dayanır. Herhangi bir (x,y) için eşitlikler

$$x = P(x) + \sum_{i=1}^N f_i \sqrt{(r_i^2) + R^2} \quad (5.32)$$

ve

$$y = P(y) + \sum_{i=1}^N g_i \sqrt{(r_i^2) + R^2} \quad (5.33)$$

şeklinde yazılabilir. Burada P(x) ve P(y) herhangi bir mertebeden polinomlardır.  $R^2$  ise yumuşatma faktörü diye de isimlendirilen multikuadrik parametredir.  $R^2$  parametresi için iyi bir değer kontrol noktalarının birbirlerine göre rölaf uzaklığı veya (x,y) distorsiyonlarının magnitüdünden belirlenebilir. Genel bir ifade ile bu multikuadrik parametre için optimal bir değer belirlenmesi üzerinde çalışılan görüntüdeki distorsiyonlara ve kontrol noktalarının sayısı ve dağılımına bağlıdır. Yani probleme göre farklılık gösteren (problem-bağımlı) bir durum sözkonusudur. Sayısal arazi modellerinin oluşturulması amacıyla kullanılan (x,y,z) datası için en uygun değer

yaratılması konusunda bir dizi metod yayınlanmıştır, fakat bunların görüntülerin dönüşümünde direkt uygulanabilirliği anlamlı görünmemektedir (FOGEL 1996).

### 5.3.2.1. $R^2$ ve $(U,V,X,Y)$ Datası

$R^2$  multikvadrik parametresi için en iyi değerin hesaplanması için farklı kaynaklarda farklı eşitlikler yer almaktadır. Flottemesch, tezinde

$$G = R^2 = Cg \cdot \min \left( \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \right) \quad (5.34)$$

eşitliğini vermektedir ( $Cg=0.6$ ). Fakat hesapta, ön düzeltme yapılmış kontrol noktaları kullanıldığı için eşitliğin

$$G = R^2 = Cg \cdot \min \left( \sqrt{(u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2} \right) \quad (5.35)$$

şeklinde verilmesi gerekeceği açıktır (FOGEL 1996).

Bu iki eşitlik arasındaki tek fark birinde  $(x,y)$  uzayında diğerinde  $(u,v)$  uzayında hesap yapılıyor olmasıdır. Her iki metod ta data noktaları arasındaki minimum mesafe hesaplanıp 0.6 sabiti ile çarpılmaktadır. İlginç olan Göpfert'in bu ifadeyi

$$G = R^2 = Cg \min \left( (u_i - u_j)^2 + (v_i - v_j)^2 \right) \quad (5.36)$$

şeklinde vermesidir ( $Cg=0.6$ ) (GÖPFERT 1977, GÖPFERT 1982). Flottemesch  $Cg$  katsayısının  $Cg=0$  yerine  $0 \leq Cg \leq 1.0$  arasında bir değer alınması durumunda yöntemin daha iyi sonuç verdiğini belirtmektedir. Düzeltmelerin görsel olarak ayırd edilemeyeceğini fakat lokal distorsiyonların fazla olduğu görüntülerde  $Cg > 0$  bir yumuşatma faktörünün daha etkili olduğunu söylemektedir (FLOTTEMESCH 1993).

Multikvadrik parametre için önerilebilecek bir diğer yöntem Schul'min ve Mitel'man tarafından verilen

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}}{n(n-1)} \quad (5.37)$$

eşitliğidir (SHUL'MIN ve MITTEL'MAN 1974).

Fakat, yinelemek gerekirse, optimum parametrenin kestirimi veya hesaplanması görüntüye (ve yapılan uygulamaya) bağlı olduğu için bu konu halen tam olarak çözüme kavuşturulabilmiş değildir (FOGEL 1996)

#### 5.4. Radyal Bazlı Fonksiyonlar ve Polinom Dönüşümlerinde Doğruluk

Enterpolasyon metodu uygulandıktan sonra sonuçların doğruluğunun analizi karesel ortalama hata hesabı ile yapılabilir. Karesel ortalama hata hesabı için kullanılacak formüller aşağıdaki gibidir:

$$KOH_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x'_i)^2}, \quad (5.38)$$

$$KOH_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2} \quad (5.39)$$

ve toplam karesel ortalama hata

$$KOH_{toplam} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2]} \quad (5.40)$$

Burada,  $n$  kontrol noktaları veya test noktaları sayısıdır.

Multikvadrik enterpolasyon yöntemi kullanıldığında kontrol noktalarında çakışma artıkları olmayacaktır. Fakat multikvadrik katsayılar hesaplandıktan sonra test noktaları kullanılarak bir doğruluk analizi yapmak mümkündür.

Polinom transformasyonu yapıldığında polinomun derecesine bağlı olarak aşağıdaki formülasyon önerilmektedir. k polinomun mertebesi olmak üzere

$$KOH_x = \sqrt{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^n (x_i - x'_i)^2} \quad (5.41)$$

$$KOH_y = \sqrt{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^n (y_i - y'_i)^2} \quad (5.42)$$

ve

$$KOH_{toplam} = \sqrt{\frac{1}{n-k} \sum_{i=1}^n [(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2]} \quad (5.43)$$

şeklinde verilmektedir (FOGEL 1996)

## 6. UYGULAMA

Görüntülerin geometrik düzeltmesi ve bir harita projeksiyon sistemine dönüşümü anlamında rektifikasyon işlemi için yaygın kullanılan ve kullanılabilir konumsal dönüşüm yöntemlerinin sağladıkları gerçek doğruluğun araştırılması ve analizini yapmak üzere sayısal bir uygulama amaçlanmıştır. Uygulama için seçilen alan ve yöntem aşağıda sunulmaktadır.

### 6.1. Çalışma Detayları

Yukarıdaki bölümlerde anlatıldığı üzere, topografik ve tematik harita üretimi veya mevcut haritaların güncelleştirilmesi işlemlerinde kullanılabilir veri sağlayan uydular, kullandıkları algılama sistemlerine bağlı olarak, yersel çözünürlükleri bakımından farklılıklar göstermektedir. Bu nedenle görüntülerin belirli bir harita projeksiyon sistemine dönüşümü konusunda kullanılan algoritmaları tek tek farklı uydu görüntüleri üzerinde uygulayarak bir karşılaştırmaya gidilmesi mutlaka gerçekleştirilmesi gereken bir uygulama olmasına rağmen, ilk planda sonuçların görsel irdelenmesi bakımından çok etkili olmayacaktır. Ayrıca örnek alınacak model algılayıcıya ve görüntüye bağımlı olacağından ve taşıdığı distorsiyonların büyüklüğü önceden bilinmediğinden gerçekçi bir değerlendirmeye yeterli bir altlık oluşturmayacaktır. Sonuçta yapılan işlem distorsiyonlara sahip raster bir görüntünün belirli birtakım konumsal dönüşüm algoritmaları yardımı ile istenen bir harita projeksiyon koordinat sisteminde tanımlanması olduğundan böylesi bir uygulamanın görsel realitesi olacak bir biçimde ön koşulları bilinen simülatif bir görüntü üzerinde yapılmasının daha uygun ve anlamlı olacağına karar verilmiştir.

Bu doğrultuda, görsel nitelikleri bakımından çeşitlilik arzeden detaya sahip, yeterince büyük bir alanın topografik haritası, sonuçta aynı nitelik ve doğrulukta kazanılmaya çalışılan orijinal görüntü altlığı olarak kabul edilerek, ele alınan bu orijinal model çok yaygın olarak kullanılmayan ve özel amaçlara hizmet eden harita projeksiyon yöntemlerinden, özellikleri ileriki alt bölümlerde açıklanan iki tanesi kullanılarak iki

farklı simülatif görüntü modeli yaratılmıştır. Bu tarz bir uygulamanın amacı, uydu görüntülerinin taşıdıkları distorsiyonlara benzer, fakat biraz abartılmış iki model üzerinde dönüşüm yöntemlerini uygulayarak, bu modellerin yaratıldığı orijinal veri ile birebir bir karşılaştırma olanağı elde etmektir. Yukarıda söz konusu edilen, uydu görüntülerinin rektifikasyonunda kullanılan, kullanılması önerilen dönüşüm yöntemleri her iki model üzerinde ayrı ayrı denenerek elde edilen sonuç ürünler ilk yola çıkılan orijinal görüntü altlığı ile karşılaştırılmıştır. Farklar yine yukarıdaki bölümlerde açıklanan doğruluk analizi yöntemlerine göre analiz edilerek sonuçlar verilmiştir. Vektörel bazda gerçekleştirilen bu tarz bir uygulamanın raster ortamda gerçekleştirilecek benzer uygulamaların irdelenmesinde anlamlı bir örnek teşkil edeceği düşünölmüştür.

Test bölgesi olarak, İstanbul Beykoz ilçesi ve çevresinin bir kısmını içeren bölge seçilmiştir. Bu bölgeyi kapsayan 1:5000 ölçekli İstanbul F22-b paftası *orijinal çalışma altlığı* olarak belirlenmiştir. Pafta İstanbul Büyükşehir Belediyesinin sayısal harita arşivinden Microstation (.dgn) dosya olarak temin edilmiştir. Temin edilen bu dosya AutoCad Map R2 programı ile okutulup (.dwg) formatına aktarılmıştır. Bu işlem sırasında sözkonusu kaynaktan bu anlamda sayısal bilgi temin eden her kullanıcı gibi benzer karmaşık problemlerle karşılaşmış ve bu problemler yine alışlagelmiş yöntemlerle aşılmaya çalışılmıştır. Burada kastedilen, İstanbul Kent Bilgi Sistemi bünyesinde oluşturulan sayısal verilerin birbirleri arasında gerek vektörel bilgi bazında, gerek semboloji gerekse tabakalar anlamında ortak bir standartta sahip olmayışıdır.

Amaçlanan çalışma için simülatif bir görüntü olarak hazırlanması planlanan bu dosya AutoCad R2 ortamında işlenerek görüntü içerisinde yer alması istenmeyen text bilgileri, lejant, koordinat ağı, koordinat bilgileri, işaretler ile ilgili tabakalar kaldırılıp silinerek dosyadan ayıklanmıştır. Öncelikli amaç, üzerinde istenen hesaplamaların yapılabilmesi için dosyanın içerdiği konum bilgilerinin nokta (koordinat) ve hat bilgileri şeklinde düzenlenmesi olduğundan, (.dxf) dosya yine ASCII formatında fakat sıralı bir nokta koordinat bilgisi içeren (.xyz) bir dosyaya dönüştürölmüştür. (Bu işlem bu büyüklükte bir dosya için Pentium 200 pro işlemci bir PC’de 200000 eleman için yaklaşık 3.5 saat sürede gerçekleştirilebilmektedir.)



Şekil 6.1. Orijinal Model

Yaratılan (.xyz) dosya kullanılarak, uygulama alanı olarak seçilen bölgenin sanki herhangi bir uydudan alınmış bir görüntüsü şeklinde benzer distorsiyonları taşıdığı kabul edilebilecek simülatif bir modele dönüştürülebilmesi için kartografik projeksiyonlar türleri içerisinde özel amaçlar dışında pek fazla uygulama alanı bulmayan yatık perspektif projeksiyon ve kartografik projeksiyonlarda büyüteç etkisi tekniklerine başvurulmuştur.

#### **6.1.1.Yatık Perspektif Projeksiyon prensibine göre 1 no.lu modelin oluşturulması:**

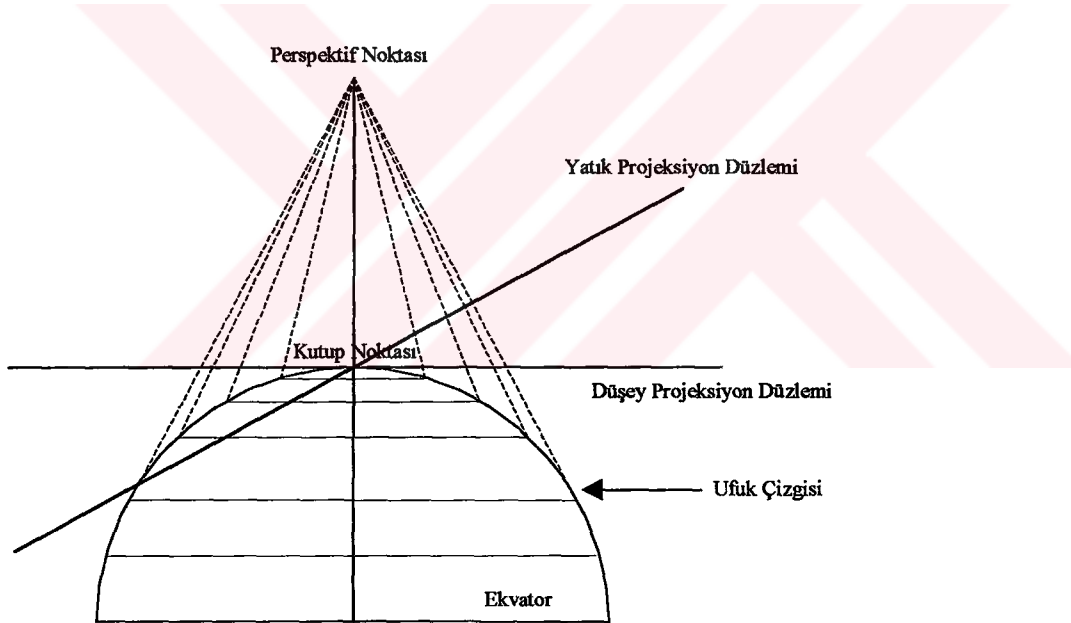
Çalışmanın genel içeriğini doğrudan ilgilendirmemesine rağmen, hem okuyucuyu ilgili harita projeksiyon yöntemi hakkında kısaca bilgilendirmek hem de amaçlanan

uygulama için neden bu tür bir yöntemle başvurulduğu sorusuna bir ışık tutması amacı ile aşağıda kısaca projeksiyonun özellikleri tanıtılmaya çalışılmıştır.

#### 6.1.1.1.Yatık Perspektif Projeksiyon

Modifiye edilmiş azimutal, perspektif bir projeksiyon türüdür. Konform veya alan koruyan değildir. Yerkürenin, sanki uzaydan bakılıyormuş gibi resmedilmiş görüntüsünü elde etmek amacıyla kullanılır. 20. yüzyılda hava ve uzay fotoğrafçılığını fotogrametri ile ilişkilendirebilmek için geliştirilmiştir.

Orta meridyen doğru parçasıdır ve perspektif noktası onun tanımladığı düzlemde yer alır. Fakat bu meridyen harita üzerinde görünmeyebilir. Diğer meridyenler eliptik yaylardır. Fakat merkezin ve yatıklık açısının durumuna göre, doğru parçaları, parabol veya hiperbol parçaları da olabilirler.



**Şekil 6.2.** Kutup konumlu olması durumunda yatık perspektif projeksiyonda izdüşümün geometrisi

Paralel dairelerden projeksiyon merkezinden kutba daha yakın olanı (perspektif noktasının konumuna bağlı olarak) bir doğru parçasıdır. Diğer paraleller normal olarak eliptik yaylardır, fakat yatıklık açısına bağlı olarak parabol veya hiperbol olabilirler.

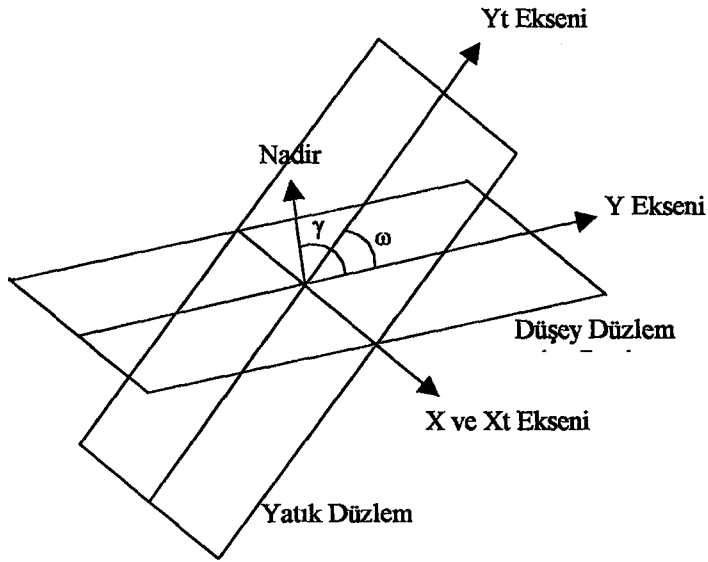
Kutuplar nokta şeklinde gösterilir. Perspektif noktası yüzeyden yukarıda ise yarı küreden daha küçük bir alanın gösterimi yapılabilir. Normal olarak simetri yoktur, ancak bakış yönünün kuzey-güney doğrultusunda olması durumunda orta meridyene göre bir simetriden söz edilebilir. Çok büyük alanları kapladığında şekil, alan ve ölçekte önemli distorsiyonlar oluşur (SNYDER ve VOXLAND 1989).

Sıkça kullanılan bir projeksiyon türü değildir. Yalnızca bir örnek olarak, Amerika Birleşik Devletleri Meteoroloji servisi tarafından hava durumu raporlarının sunulması amacıyla Kuzey Amerikanın sanki ekvator düzleminde yer merkezinden 42000 km yükseklikteki yere senkronize bir uydudan görüntüsünü oluşturmak amacı ile kullanılmaktadır.

#### 6.1.1.2. Projeksiyon Eşitlikleri

Burada x-ekseni doğu-batı doğrultusunu (artım doğu yönünde), y-ekseni kuzey-güney doğrultusunu (artım kuzey yönünde) göstermektedir. Orijin  $(\phi_1, \lambda_0)$  noktasıdır.  $\gamma$  açısı, y-ekseninin kuzey-batı doğrultusundaki azimutudur. P, perspektif noktasının küre merkezinden olan uzaklığının küre yarıçapına oranıdır.  $\omega$  açısı yukarıya doğru yatıklık açısıdır.

Bu projeksiyonda elde edilen görüntü daha ayrıntılı tarif edilmek gerekirse, seçilen orijin normali üzerinde yerküresi merkezinden RP uzaklıkta bir kameranın yatayda kuzeyle saat ibresi yönünde  $\gamma$  döndürülmesi ve daha sonra  $(90^\circ - \omega)$  kadar yataydan aşağıya doğru yatırılması şeklinde alınmış bir fotoğraf görüntüsü olarak tanımlanabilir. Burada kastedilen “yatay” yerküreye orijin noktasında teğet düzlemdir.



Şekil 6.3. Yatık Perspektif Projeksiyonda Koordinat sistemi

Projeksiyon dik koordinatları sırasıyla

$$\cos z = \sin \varphi_1 \sin \varphi + \cos \varphi_1 \cos \varphi \cos(\lambda - \lambda_0) \quad (6.1)$$

$$K = \frac{P - 1}{P - \cos z} \quad (6.2)$$

$$x_1 = RK \cos \varphi \sin(\lambda - \lambda_0) \quad (6.3)$$

$$y_1 = RK [\cos \varphi_1 \sin \varphi - \sin \varphi_1 \cos \varphi \cos(\lambda - \lambda_0)] \quad (6.4)$$

$$A = \{(y_1 \cos \gamma + x_1 \sin \gamma) \sin \varpi / [R(P - 1)]\} + \cos \varpi \quad (6.5)$$

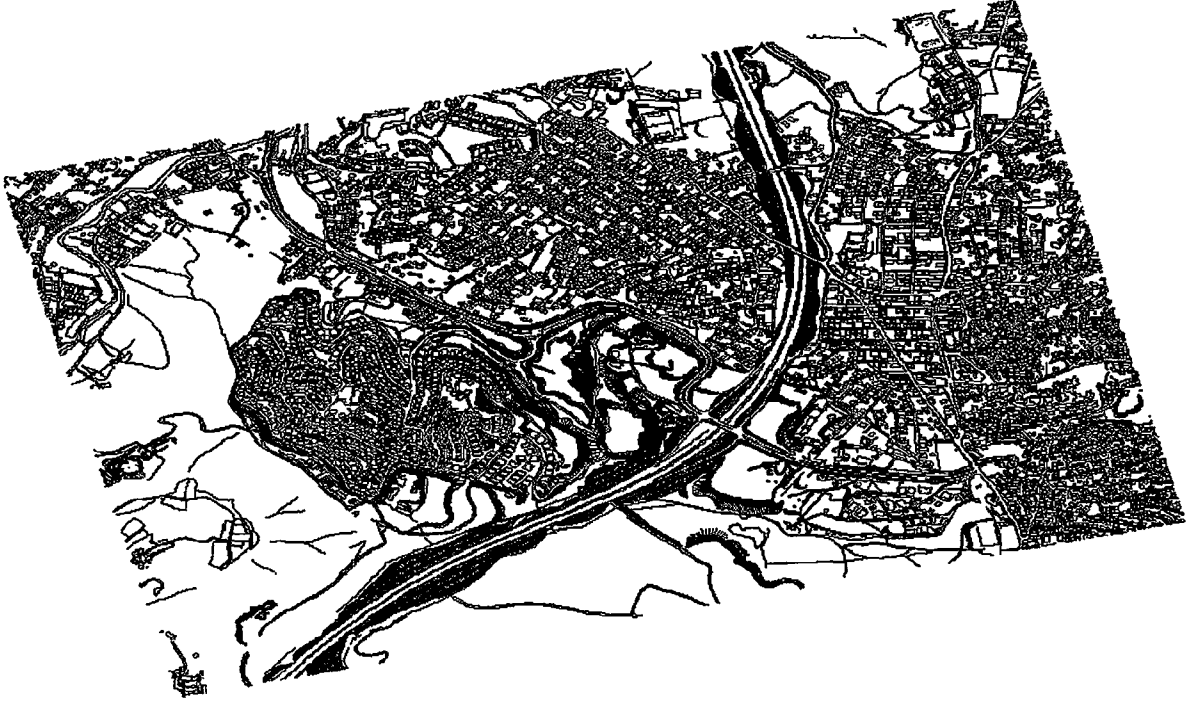
kullanılarak

$$x = (x_1 \cos \gamma - y_1 \sin \gamma) \cos \varpi / A \quad (6.6)$$

$$y = (y_1 \cos \gamma + x_1 \sin \gamma) / A \quad (6.7)$$

eşiliklerinden hesaplanır (SNYDER ve VOXLAND 1989).

Bu algoritmaya göre bir yazılan TILTED.BAS isimli bir bilgisayar programı kullanılarak orijinal görüntü datası yatık perspektif prensiple izdüşürülmüş ve böylece 1 numaralı görüntü modeli oluşturulmuştur. Orijin olarak 42°kuzey enlemi ve 30°doğu boylamı seçilmiş. 15 ° azimut ile 5° yatıklık açısı kullanılmıştır.



Şekil 6.4. Yatık Perspektif Projeksiyona göre oluşturulan 1. Model

### 6.1.2. Büyüteç etkisi altında 2 no.lu modelin oluşturulması

Sayısal uygulamaya ikinci bir alternatif model oluşturmak amacı ile 1 numaralı modelden daha farklı olarak, lokal distorsiyonların değişken ve abartılı bir biçimde etkili olduğu büyüteç etkisi teorisine başvurulmuştur. Bu projeksiyon türü hakkında aşağıdaki bölümde kısaca bilgi verilmeye çalışılmıştır.

#### 6.1.2.1. Kartografik projeksiyonlarda büyüteç etkisi

Harita üzerinde belirli bölgelerin büyütülmesi veya belirli bölgelerdeki bilgilerin diğerlerine nazaran daha belirgin olarak vurgulanması istendiğinde başvurulabilecek bir yöntem olarak “*Büyüteç Etkisi*” literatürde yer alan değişken ölçekli projeksiyon metodları veya polifokal projeksiyonlar temeline dayanmaktadır. Değişken ölçekli harita projeksiyonu tekniği, matematiksel anlamda harita üzerindeki belirli bölgelerin deformasyona uğratarak daha büyük ölçekte başka bir projeksiyona transformasyonudur. Yoğun kartografik bilgi içeren gösterimlerde belirli bölgelerdeki detayların vurgulanması, ön plana çıkarılması amacıyla belirlenen

orijini çevreleyen bir alanda ölçek büyütülmekte ve bu alanda yer alan bilgilerin içiçe girmesi veya diğer bir deyişle “*detay kirliliği*” önlenmektedir. Böylece haritanın bilgi kapasitesi artırılmakta ve fonksiyonu geliştirilmektedir. Bu anlamda birçok değişken ölçekli projeksiyon metodu şu ana kadar uygulamada yer almaktadır. Fakat bunların genel eksikliği ölçek değişiminin etkili olarak kontrol edilememesidir. Diğer bir deyişle ideal bir değişken ölçekli projeksiyon ölçek değişimini, yani değişimin şekli, şiddeti ve kaplayacağı alanı kontrol altında tutabilmelidir (SNYDER 1987).

#### 6.1.2.2. Projeksiyon Eşitlikleri

“*Projeksiyondan projeksiyona*” anlamında orijinal bir harita düzleminden değişken ölçekli bir harita düzlemine bir koordinat transformasyonu söz konusudur. Orijinal harita düzlemi üzerinde bir  $P(x,y)$  noktası gözönüne alalım ve  $P'(x',y')$  değişken ölçekli harita düzlemi üzerinde buna karşılık gelen nokta olsun.  $O(x_0,y_0)$  odak noktası olmak üzere,  $\theta$  koordinatların azimutal açısı,  $R$  ve  $r$  ise karşılıklı olarak  $P$  ve  $P'$  noktalarından  $O$  noktasına olan uzaklıktır. Bu uzaklıklar

$$r = Rf(R) \quad (6.8)$$

şeklinde bir fonksiyon ile tanımlanırsa yukarıdaki kabule uygun olarak

$$\begin{aligned} x - x_0 &= R \cos \theta \\ y - y_0 &= R \sin \theta \end{aligned} \quad (6.9)$$

$$\begin{aligned} x' - x_0 &= r \cos \theta \\ y' - y_0 &= r \sin \theta \end{aligned} \quad (6.10)$$

elde edilir. (6.8) ifadesi, (6.10) eşitliğinde yerine konduğunda

$$\begin{aligned} x' - x_0 &= f(R)R \cos \theta \\ y' - y_0 &= f(R)R \sin \theta \end{aligned} \quad (6.11)$$

eşitliği ve (6.9) ifadesi, bu eşitlikte yerine konduğunda

$$\begin{aligned}x' &= x_0 + f(R)(x - x_0) \\y' &= y_0 + f(R)(y - y_0)\end{aligned}\tag{6.12}$$

eşitliği elde edilir. Burada  $R$ ,  $x$  ve  $y$ 'nin bir fonksiyonudur. Bu genel olarak, dairesel bir bölgeyi ifade etmesine rağmen aynı zamanda başka türden şekle sahip bölgeleri de tanımlar. Bu nedenle  $R=\varphi(x,y)$  şeklinde ifade edilirse (6.12) eşitliği

$$\begin{aligned}x' &= x_0 + f(\varphi(x,y))(x - x_0) \\y' &= y_0 + f(\varphi(x,y))(y - y_0)\end{aligned}\tag{6.13}$$

şeklinde yazılabilir. Ölçek değişiminin sınırlarını kontrol etmek amacıyla  $f(\varphi(x,y))$  fonksiyonu daha genel bir formda ifade edilmek istenirse

$$f(\varphi(x,y)) = \begin{cases} f_1(\varphi(x,y)) & 0 < \varphi(x,y) \leq a_0 \\ f_1(\varphi(x_1,y_1)) & \varphi(x,y) > a_0 \end{cases}\tag{6.14}$$

yazılabilir. Burada  $f_1$  ölçek değişimi,  $a_0$  ise bu değişimin sınırlarını kontrol eden bir parametredir ve

$$a_0 = \varphi(x_1,y_1)\tag{6.15}$$

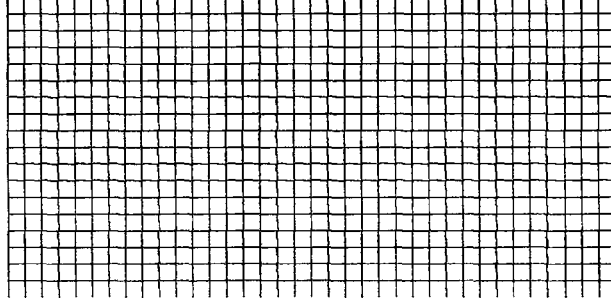
şeklinde gösterilebilir. Büyüteç etkisi  $f(\varphi(x,y))$  fonksiyonunun tanımlanmasına bağlı olarak farklı şekillerde çok çeşitli dizayn edilebilir. Bu türlere burada değinilmeyecek sadece uygulamaya esas alınan form verilecektir.

$$\varphi(x,y) = R = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}\tag{6.16}$$

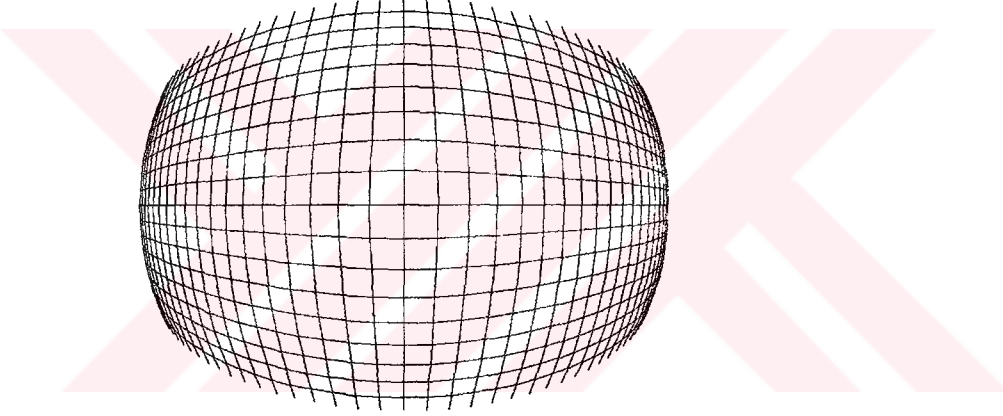
olmak üzere

$$f(R) = \alpha e^{-\beta R}\tag{6.17}$$

fonksiyonu kullanıldığında Şekil 6.5. de görülen örnek grid ağı üzerinde Şekil 6.6. de gösterilen büyüteç etkisi yaratılmaktadır. Burada  $\alpha$  ve  $\beta$  ölçek değişiminin şiddetini dengeleyen sabit katsayılardır (WANG ve diğ. 1995).



**Şekil 6.5. Örnek Ağ**



**Şekil 6.6. (6.17) formülü ile büyüteç etkisi**

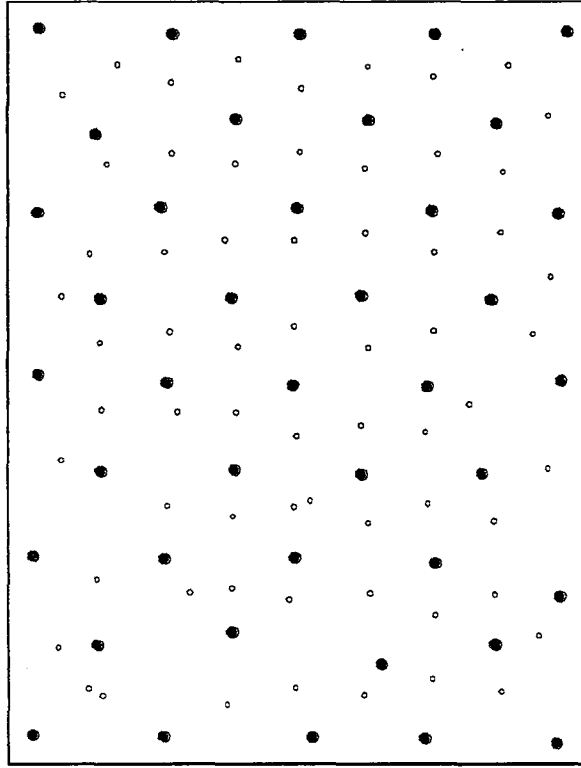
Bu algoritmaya göre bir yazılan ZOOM.BAS isimli bir bilgisayar programı kullanılarak orijinal görüntü datası büyüteç etkisi yaratılarak 2 numaralı model oluşturulmuştur



Şekil 6.7. Büyüteç etkisi altında 2.Model

## 6.2 Kontrol Noktalarının Seçimi

Öncelikle orijinal model üzerinde düzgün dağılmış 41 adet kontrol noktası ve yine düzgün dağılmış 64 adet test noktası belirlenmiştir. Bu noktaların hem birinci Modelde hemde ikinci Modeldeki karşılıkları tesbit edilerek üç adet koordinat dosyası yaratılmıştır. Şekil 6.8. de kontrol noktalarının ve test noktalarının dağılımı gösterilmektedir.



- Kontrol Noktaları
- Test Noktaları

Şekil 6.8. Kontrol noktaları ve test noktalarının dağılımı (41 adet kontrol noktası)

### 6.3. Dönüşüm yöntemlerinin denenmesi

Yaratılan bu kontrol noktaları koordinat dosyaları,  $(X,Y)$  ulaşılmak istenen orinal görüntüye ait koordinatlar,  $(x',y')$  ise model koordinatları olmak üzere,  $[x' y' X]$  ve  $[x' y' Y]$  şeklinde koordinat dosyaları formatı ile kaydedilerek, yazılan POLY.BAS isimli bir bilgisayar programı ile, sırasıyla birinci, ikinci ve üçüncü dereceden polinom fonksiyonları kullanılarak dönüştürülmüştür.

**Tablo 6.1.** Polinom Transformasyonu Karesel Ortalama Hatalar (m) (41 Kontrol Noktası, 64 Test Noktası)

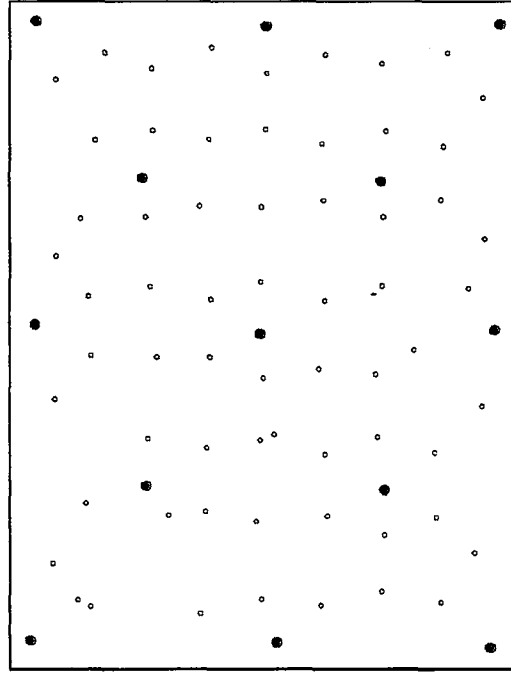
Polinomun derecesi	1.Model	2.Model
1.Derece	0.374	89.471
2.Derece	0.112	43.954
3.Derece	0.391	93.366

Aynı data dosyası kullanılarak, yazılan MULTI.BAS isimli bir bilgisayar programı ile multikvadrik yönteme göre dönüşüm yapılmıştır. Trend olarak, yani başlangıç fonksiyonu olarak önce 1.derece polinom kullanılmıştır. Bulunan multikvadrik katsayılar ile test noktalarının düzeltilmiş koordinatları hesaplanmıştır. Aynı işlem, trend 2., 3., derece polinomlar olarak seçilerek tekrar edilmiştir. Tüm bu işlemlerde yumuşatma faktörü  $C_g=0$  alınmıştır. 3.derece polinom kullanılarak yumuşatma faktörü için literatürde önerildiği üzere  $C_g=0.6$  ve  $C_g=1.0$  için işlemler tekrarlanmıştır.

**Tablo 6.2.** Multikvadrik yöntem ile elde edilen Karesel Ortalama Hata (m) değerleri  
(41 Kontrol Noktası, 64 Test Noktası)

Multikvadrik Yöntem	1.Model	2.Model
1.Derece Pol. $C_g=0$	0.044	12.086
2.Derece Pol. $C_g=0$	0.041	11.403
3.Derece Pol. $C_g=0$	0.042	11.780
3.Derece Pol. $C_g=0.6$	0.047	12.950
3.Derece Pol. $C_g=1.0$	0.054	13.595

Uydu görüntüleri üzerinde ve bunların dönüştürüleceği altlık harita üzerinde her zaman fazla sayıda eşlenik nokta seçme olanağı bulunamayacağı düşüncesi ile ve aynı zamanda az sayıda nokta alınması durumunda yöntemin ne şekilde duyarlı olduğunu test etmek amacıyla kontrol noktaları sayısına bir sınırlandırma getirilerek nokta sayısı 13 olarak azaltılmıştır. Yeni yaratılan bu 13 noktalı data dosyası kullanılarak, trendin 3.derece polinom olarak alındığı ve yumuşatma faktörü  $C_g=0.6$  için yeni bir işlem daha yapılmıştır.

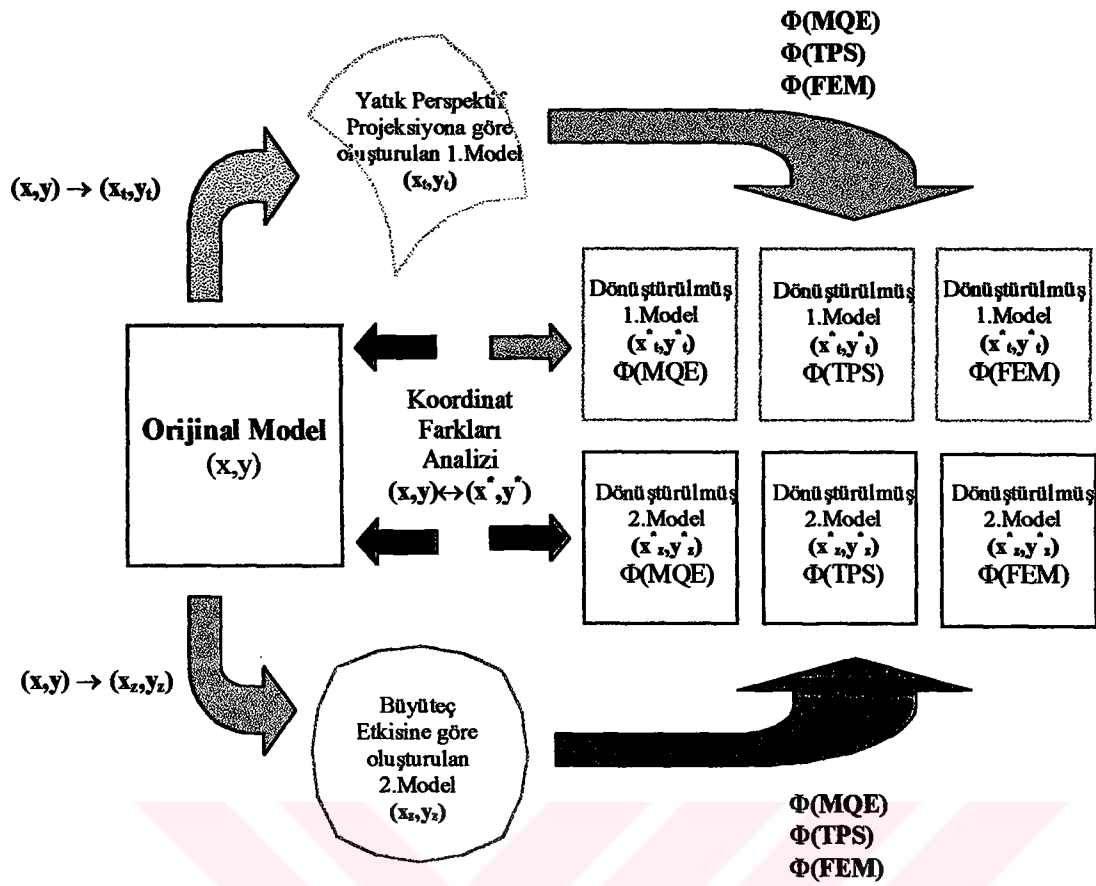


● Kontrol Noktaları

○ Test Noktaları

**Şekil 6.9.** Kontrol noktaları ve test noktalarının dağılımı (13 adet kontrol noktası)

Minimum-uzunluk üçgenlemesi kullanılarak, kontrol noktalarından (41 adet kontrol noktası) üçgenler oluşturulmuş (64 üçgen), test noktaları datası, özel olarak yazılan ve noktanın hangi üçgen içerisine düştüğünü bulan ve o üçgenin köşelerini oluşturan kontrol noktalarının koordinatlarını kullanarak afin transformasyon yapan UCGEN.BAS isimli bir program ile dönüştürülmüştür. Yöntem, kontrol noktası sayısının 13 olarak azaltıldığı data dosyası için de uygulanmıştır.



Şekil 6.10. Sayısal Uygulama Şeması

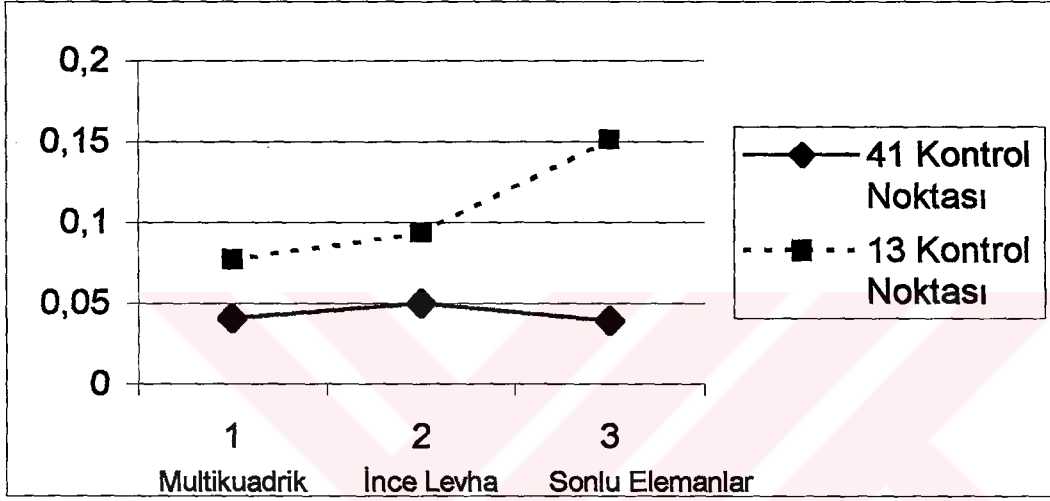
Aynı data dosyası (41 adet kontrol noktası), yine yazılan THIN.BAS isimli bir bilgisayar programı ile ince levha splayn fonksiyonu yöntemi kullanılarak dönüştürülmüştür. Program MULTI.BAS programı ile aynı mantıkla çalışmakta fakat 5.11 ve 5.12 eşitlikler ile tanımlanan fonksiyon ile işlem yapmaktadır. 13 kontrol noktası içeren data dosyası için de bu yöntem kullanılarak işlem tekrarlanmıştır.

Tablo 6.3. Her üç yönteme göre elde edilen KOH (m) karşılaştırılması (41 Kontrol Noktası, 64 Test Noktası)

Transformasyon Yöntemi	1.Model	2.Model
Multikvadrik (2.derece polinom, $C_g=0$ )	0.041	11.403
İnce levha splayn fonksiyonu	0.050	13.300
Sonlu elemanlar metodu	0.039	12.232

**Tablo 6.4.** Her üç Yönteme göre elde edilen KOH (m) karşılaştırılması (13 Kontrol Noktası, 64 Test Noktası)

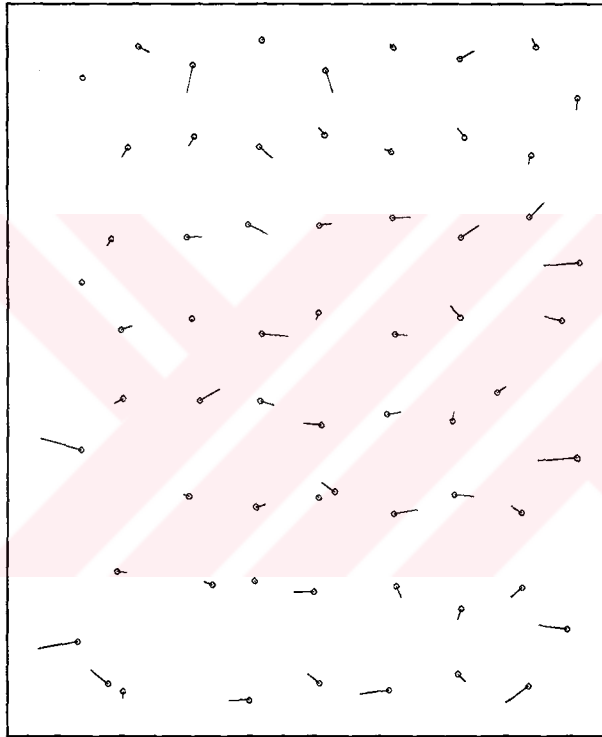
Transformasyon Yöntemi	1.Model	2.Model
Multikuadrik (2.derece polinom, $C_g=0$ )	0.077	16.242
İnce levha splayn fonksiyonu	0.093	19.380
Sonlu elemanlar metodu	0.151	27.563



**Şekil 6.11.** 1. Model örneğinde her üç yöntem ile elde edilen sonuçların 41 Kontrol Noktası ve 13 Kontrol Noktası kullanılması durumuna göre birbirleri ile grafik karşılaştırması

Herbir işlem sonunda test noktaları için elde edilen transforme edilmiş koordinatların orijinal veride karşılık gelen koordinatlar ile olan farkları kullanılarak (5.34) eşitliği ile tanımlanan karesel ortalama hata miktarları yazılan KOH.BAS isimli bir bilgisayar programı ile hesaplanmış, sonuçlar tablolar halinde düzenlenmiştir. Test noktaları için, düzeltilmiş koordinat değerlerindeki artık kalan hatalar, hata vektörleri şeklinde yazılan bir VEKTOR.BAS isimli bir bilgisayar programı ile hesaplanarak Script dosya şeklinde AutoCAD ortamına aktararak çizdirilmiştir. Elde edilen karesel ortalama hata değerleri aşağıda Tablolar halinde gösterilmiştir. Artık hata vektörlerinin çizimleri de aşağıda sunulmaktadır.

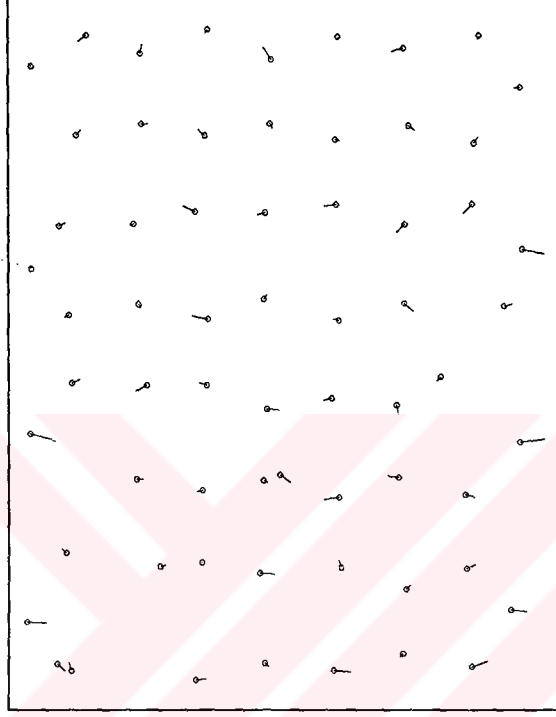
Polinom dönüşümü ve multikvadrik yöntemle göre elde edilen sonuçlar incelendiğinde, Multikvadrik yöntemin üstünlüğü açıkça görülmektedir. Multikvadrik dönüşümde, başlangıç yüzeyi olarak zaten polinom kullanıldığı için daha iyi bir sonuç elde edileceği baştan tahmin edilebilir. Başlangıç yüzeyi olarak ikinci derece polinom kullanıldığında multikvadrik yöntem ile elde edilen karesel ortalama hatanın doğruluğunun daha arttığı ayrı bir sonuç olarak görülmektedir. Yumuşatma katsayısı  $C_g$ 'nin ( $0 \leq C_g \leq 1.0$ ) aralığında denendiğinde, bu değerin  $C_g=0$  alınması durumunda en iyi sonucu verdiği de görülmektedir.



**Şekil 6.12.** 1. Modelde multikvadrik yöntem (2. derece polinom,  $C_g=0$ ) uygulandığında artık hataların vektörel gösterimi

Önerilen her üç yöntem ile elde edilen sonuçlar birbirleri ile karşılaştırıldığında, multikvadrik yöntem ile sonlu elemanlar yönteminin birbirlerine çok yakın sonuçlar verdiği ve ince levha splayn fonksiyonuna göre üstünlükleri görülmektedir. 41 kontrol noktası kullanıldığında, sonlu elemanlar yönteminin çok az oranda da olsa multikvadrik yöntemle göre daha doğru sonuç vermesinin yanında kontrol noktası

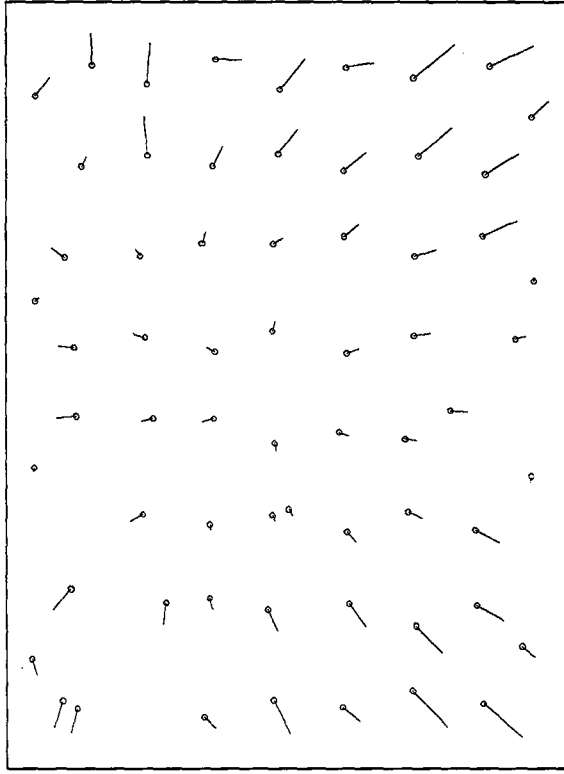
sayısının azaltılması durumunda büyük oranda probleme duyarlılığını hızla yitirdiği sonucu elde edilmektedir. Fakat üçgenlerin sayısının fazla olması ve bunların tüm modeli uygun bir şekilde örtmeleri durumunda multikvadrik yönteme tercih edilebilir. Fakat birbirleri arasındaki farkın ihmal edilebilir bir düzeyde olduğundan kontrol noktası seçiminde böylesi bir zorlamaya girmenin gereksiz olduğu düşünülebilir.



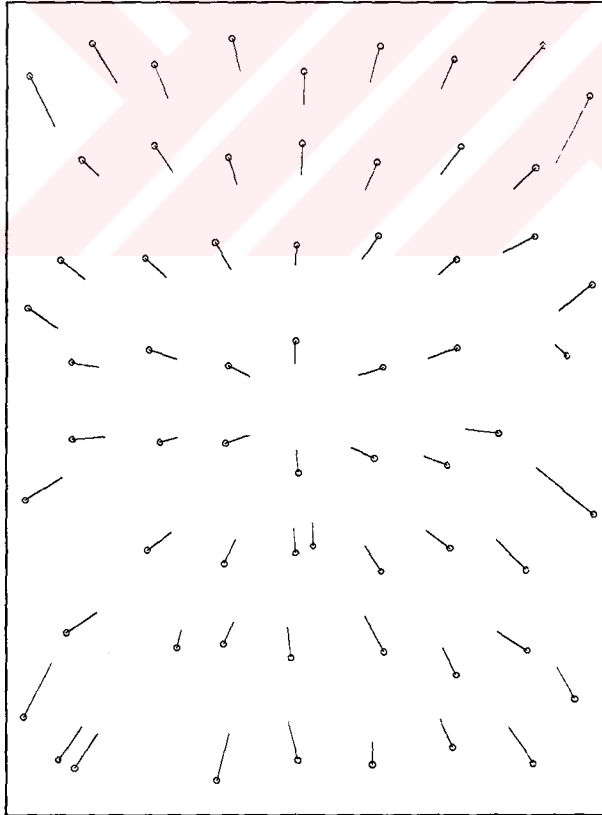
**Şekil 6.13.** 1. Modelde sonlu elemanlar yöntemi uygulandığında artık hataların vektörel gösterimi

Dönüşümden sonra elde edilen koordinatlar orijinal modeldeki değerleri ile karşılaştırılarak hesaplanan artık kalan hata vektörleri incelendiğinde her iki modelde üç yöntemin de benzer bir davranış sergilediği görülmektedir.

Multiquadrik yöntemle elde edilen sonuçların (41 adet kontrol noktası, 2.derece polinom,  $C_g=0$ ) daha detaylı bir yorumunu yapabilmek ve nokta konum doğruluğunun ele alınan modelin farklı parçaları üzerindeki değerlerini görebilmek amacı ile modeller 9 parçaya ayrılarak her bir parça içerisindeki karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır.



**Şekil 6.14.** 2.Modelde multikvadratik yöntem (2.derece polinom,  $C_g=0$ ) uygulandığında artık hataların vektörel gösterimi



**Şekil 6.15.** 2.Modelde sonlu elemanlar yöntemi uygulandığında artık hataların vektörel gösterimi

0.0318	0.0325	0.0370
0.0471	0.0403	0.0539
0.0401	0.0382	0.0455

**Şekil 6.16.** 1.Modelde bölgesel karesel ortalama hatalar

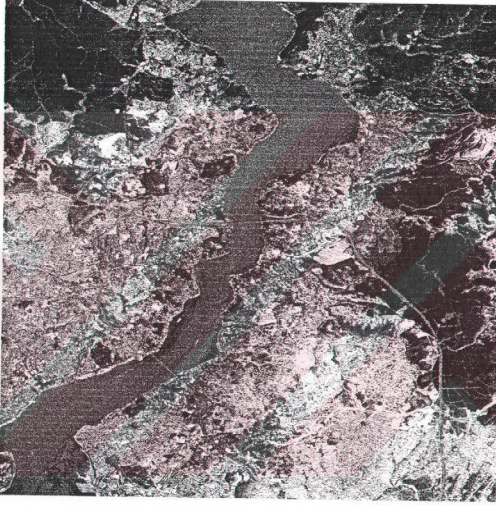
18.457	18.621	21.615
8.087	8.949	8.880
15.201	14.134	20.811

**Şekil 6.17.** 2.Modelde bölgesel karesel ortalama hatalar

Modellerin üzerinde parça parça farklı bölgeler içerisindeki karesel ortalama hatalar incelendiğinde, her bir modelin taşıdığı distorsiyonların genel karakterine uygun bir düzelme olduğu görülmektedir. 1.Model’de bozulma, perspektif noktasından itibaren bakış doğrultusunda olduğundan artık hatalar buna uygun olarak büyümektedir. 2.Model’de ise köşelere doğru distorsiyon arttığından, modelin köşelere yakın bölgelerinde artık hataların büyük olduğu, ortalarda küçüldüğü ve modelin genel karakterine uygun olarak yaklaşık bir simetrisinin olduğu görülmektedir.

#### 6.4. Uydu Görüntüsü Üzerinde Sayısal Uygulama

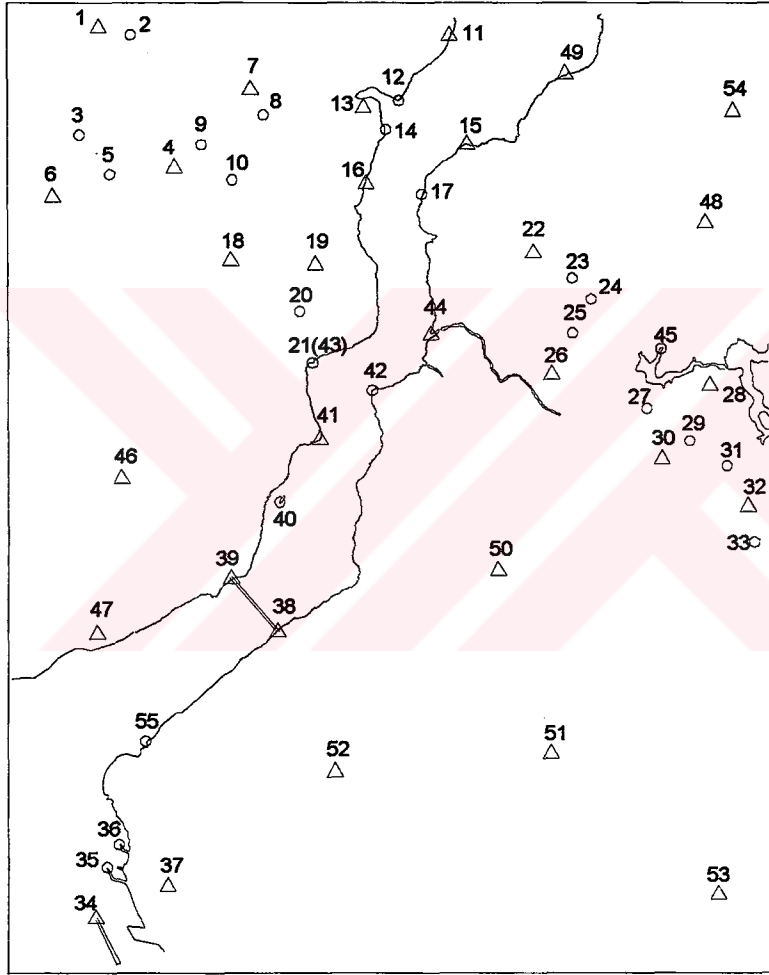
Yüksek çözünürlüklü bir uydu görüntüsünün harita kapsamında kullanılabilmesi için; bu çalışmada önerilen dönüşüm yöntemleri ile düzeye çevrilmesi durumunda ulaşılabilecek doğruluk değerlerini elde etmek amacıyla 1:25000 ölçekli İstanbul-F22-d4 paftası alanını karşılayan SPOT pankromatik uydu görüntüsü çalışma altlığı olarak seçilmiştir (Şekil 6.18).



Şekil 6.18 Uygulama alanının doğal görüntüsü

Pankromatik veri dosyası ERMapper 6.0 programı altında okutulmuştur. Oluşturulan görüntü üzerinde, su ve kara ayrımının girinti ve çıkıntıları, köprü ve üst geçitler, yol kavşakları gibi ayırd edilebilir objeler tanımlanarak toplam 74 adet yer kontrol noktası belirlenmiştir. Belirlenen bu noktalardan ancak 21 tanesinin karşılığı 1:25000 ölçekli harita üzerinden tanımlanabilmiştir. Bu 21 noktanın koordinatları Hitachi Digtizer üzerinde sayısallaştırılmıştır. 1:25000 ölçekli haritanın üzerinde taşıdığı görsel tanıma bilgilerinin eksik (üretim tarihi 1972) belirlenen diğer 53 kontrol noktasının tanımlanmasına olanak vermemektedir. Bu nedenle, çalışma alanının

büyük bir kısmını içeren 1:5000 ölçekli İstanbul F-22d-11d, F-22d-11c, F-22d-12d, F-22d-16b, F-22d-16d, F-22d-16c, F-22d-17b, F-22d-17c, F-22d-18a, F-22d-18d paftaları sayısal dosyalar olarak temin edilmiştir. Sayısal dosyalar AutoCad Map ortamında okutularak 53 adet yer kontrol noktasının da koordinatları ekrandan sayısalleştirilmiştir. Devamında 1:5000 ölçekli haritalardan elde edilen kontrol noktalarının koordinatlar 6<sup>0</sup> dilim genişliğindeki 1:25000 ölçekli haritanın UTM koordinat sistemine dönüştürülerek 1:25000 ölçekli harita üzerindeki karşılıkları elde edilmiştir.



- △ Kontrol Noktaları
- Test Noktaları

**Şekil 6.19. Kontrol ve Test Noktalarının Dağılımı**

Uydu görüntüsü ve harita üzerinden tanımlanan yer kontrol noktalarının koordinatları kullanılarak ayrıca bir mesafe testi yapılmış ve kaba hatalı olduğu tespit edilen 19 adet nokta ayıklanmıştır. Kalan 55 noktadan, görüntü üzerinde uygun dağılan 30 tanesi kontrol noktası, 25 tanesi de, doğruluk analizi yapabilmek amacıyla, test noktası olarak seçilmiştir. Kontrol ve test noktalarının dağılımı Şekil 6.19’da gösterilmiştir.

Yaratılan bu koordinat dosyası ile Bölüm 6.3’de sözü edilen programlar kullanılarak, polinom, multikvadrik yöntem, ince levha splayn fonksiyonu ve sonlu elemanlar yöntemi olarak adlandırılan parça parça üçgenler içerisinde lineer enterpolasyon dönüşümleri yapılmıştır. Test noktaları yardımı ile, polinom dönüşümleri için (5.41), (5.42) ve (5.43) eşitlikleri, multikvadrik yöntem, ince levha splayn fonksiyonu ve sonlu elemanlar yöntemi sonuçları için (5.38), (5.39) ve (5.40) eşitlikleri kullanılarak bir doğruluk analizi yapılmış, elde edilen karesel ortalama hata değerleri piksel bazında Tablo 6.5’de verilmiştir.

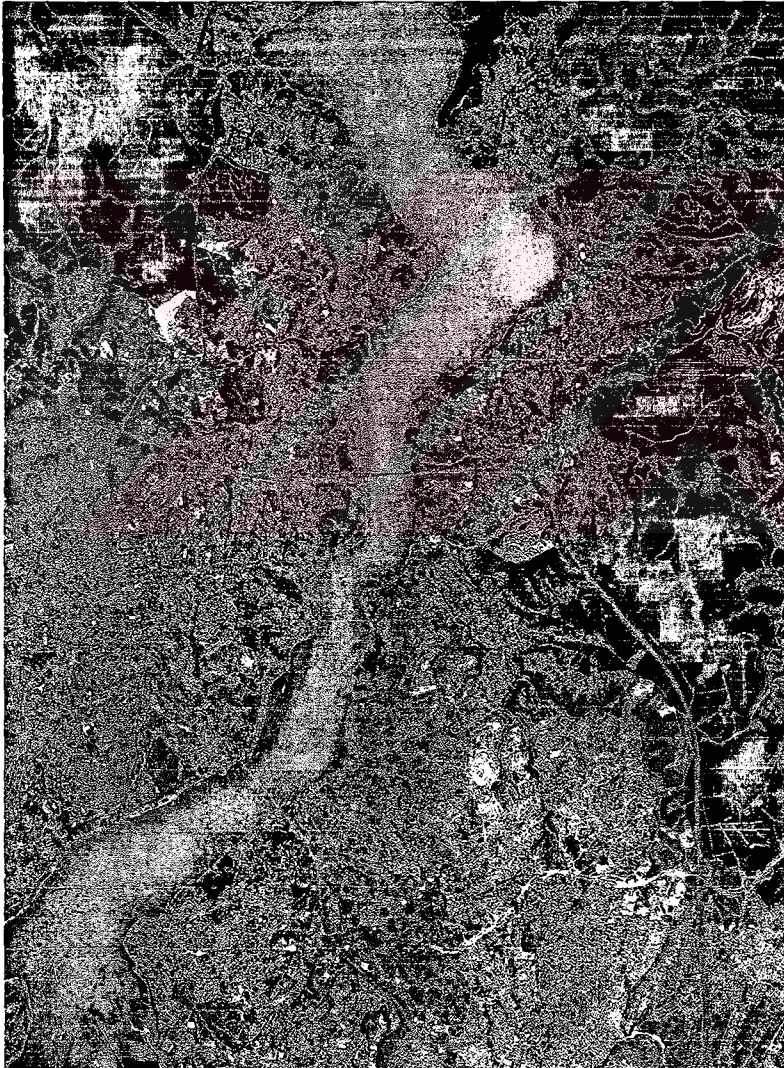
**Tablo 6.5 Dönüşüm yöntemleri ile elde edilen sonuçlar**

Yöntem	$KOH_{(x)}$	$KOH_{(y)}$	$KOH_{(Toplam)}$
1.derece polinom	0.394	0.364	0.537
2.derece polinom	0.385	0.361	0.528
3.derece polinom	0.354	0.500	0.612
Multikvadrik (1.derece polinom, $C_g=0$ )	0.304	0.404	0.505
Multikvadrik (2.derece polinom, $C_g=0$ )	0.303	0.402	0.503
Multikvadrik (3.derece polinom, $C_g=0$ )	0.315	0.411	0.518
Multikvadrik (1.derece polinom, $C_g=0.6$ )	0.350	0.383	0.519
Multikvadrik (3.derece polinom, $C_g=0.6$ )	0.338	0.444	0.558
İnce levha splayn fonksiyonu	0.374	0.425	0.566
Sonlu Elemanlar yöntemi (43 üçgen)	0.356	0.488	0.604

Tablo 6.1, Tablo 6.2, Tablo 6.3, Tablo 6.4 ve Tablo 6.5 birlikte incelendiğinde ulaşılan karesel ortalama hata değerlerinin birbirleri ile uyumlu olduğu ve böyle bir

dönüşüm işleminde multikvadrik yöntem (2.derece polinom,  $C_g=0$ ) ile uygun sonucun elde edildiği görülmektedir.

Ham görüntü verisi ERMapper 6.0 programında XYZ ASCII Grid formatında DOS ortamına aktarılarak, MULTEST.BAS programı kullanılarak tüm görüntü elemanlarının multikvadrik yöntem (2.derece polinom,  $C_g=0$ ) ile dönüşümü yapılmıştır. DOS ortamında dönüşümü yapılan ASCII dosya tekrar ERMapper 6.0 programı ile okutulurak Şekil 6.20’de sunulan harita kapsamlı uydu görüntüsü elde edilmiştir. Spot pankromatik ham görüntü verisi, yer kodlama düzeltmesi taşıdığı için düşeye çevrilmiş görüntüde belirgin bir dönüklük göze çarpmamaktadır.



**Şekil 6.20.** Multikvadrik yöntem ile (2.derece polinom,  $C_g=0$ ) düşeye çevrilmiş görüntü

## 8. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Klasik yöntemlerle hazırlanmış topografik ve tematik haritaların güncelleştirilmesi için altlık veri olarak kullanılacak uydu görüntülerinin, istenen bir harita projeksiyon sisteminde düzeye çevrilmesi (rektifikasyonu) için kullanılan dönüşüm algoritmaları gözden geçirilmiş ve bilinen yöntemler denenmiş ve geometrik uyumları ile ilgili doğruluk analizleri yapılarak bu çalışmada sunulmuştur.

Belirli bir projeksiyon sistemine geometrik olarak da iyileştirilerek dönüştürülmüş uydu görüntülerinin, diğer kaynaklardan elde edilecek vektörel bilgiler ile en doğru sentezini elde edebilmenin ön şartı kullanılan dönüşüm yönteminin sağladığı geometrik doğruluktur. Sınırlı çözünürlüğe sahip görüntüler ile çalışıldığında polinom dönüşümü her ne kadar yeterli etkiyi gösterse de, örneğin bu görüntülerin parça parça mozaiklenmesi sırasında kenarlaşma problemleri ile karşılaşmaktadır. Problemin “üniter” yada diğer bir deyişle “birim bağımlı” olması nedeniyle bu yapıda problemlere en uygun matematik yöntemler olarak “radyal bazlı fonksiyonların” temel alınması ve bu şekilde bir anlamda polinom dönüşümü yöntemlerinin terkedilmesi uygun olacaktır.

Hardy'nin *multikvadrik enterpolasyon yönteminin*, uydu görüntülerinin dönüşümü probleminde uyarlanmış şekli ile kullanımı, çalışılan veri kaynağı ne olursa olsun büyük distorsiyonlara sahip olsalar dahi en doğru sonuçlara ulaşılmasını sağlamaktadır. Bu yöntemin, bu çalışmada sunulan algoritma ile görüntü işleme yazılımlarına entegre edilmesi bu konuda atılacak önemli bir adım olacaktır.

Yöntemin entegrasyonu sırasında, başlangıç fonksiyonu olarak kullanılacak polinom derecesinin kullanıcı talepleri doğrultusunda değişken alınma olasılığının bir menü şeklinde yer alması çok gerekli değildir. Fakat bu konuda sürdürülecek araştırmalara bir olanak yaratmak açısından yumuşatma faktörünün değişken alınabilmesi menü seçeneği faydalı olacaktır.

Yöntem kullanılırken kontrol noktalarının tüm görüntü üzerinde uygun dağılmış olması, elde edilecek doğruluğu artıracak bir kriterdir. Kontrol noktası sayısının azaltılması bu yöntem bazında da olumsuz etki yaratmaktadır. Bu nedenle kontrol noktası sayısının olabildiğince fazla olması, doğruluğu artıracak bir koşul olarak kabul edilebilir.

Sonlu elemanlar metodu olarak sunulan üçgenler içerisinde parça parça enterpolasyon yöntemi tercih edildiğinde, “*parça alanlar*” kontrol noktaları kullanılarak oluşturulduğu için optimum doğruluğa ulaşabilmek, ancak yine kontrol noktalarının görüntü içerisinde uygun dağılımı ve nokta sayısının olabildiğince fazla olması ile olanaklıdır. Hatta, seçilecek noktaların görüntünün sınırlarına olabildiğince yakın olmak koşulu ile tüm görüntü içerisinde, hangi üçgenleme metodu seçilirse seçilsin uygun geometride, başka bir deyişle uygun kaplama alanına sahip üçgenler şeklinde yayılacak şekilde seçilmesi doğruluğu artıran başka bir koşuldur.

Uydu görüntülerinin düşeye çevrilmesinde olurunca az kontrol noktası kullanılarak basit formda dönüşüm algoritmaları ile bir rektifikasyon işlemi hedeflendiğinden önerilen yöntemlerin bu özellikleri bir sakınca olarak kabul edilebilir. Örneğin bu probleme yapay sinir ağları metodunun uygulanması düşünülse idi hedeflenen doğruluğa ulaşabilmek için eşlenik nokta tanımlaması sayısının daha da fazla olması gerektiği hesaba katılması gerekecektir.

Tek başına splayn fonksiyonları bu problemi başarı ile çözmeye uygun değildir. Yalnız, sonlu elemanlar mantığı çerçevesinde parça parça alanlar içerisinde dönüşüm de lineer enterpolasyona bir alternatif olarak splayn fonksiyonları denenebilir. Bu tür bir algoritmanın çok daha mükemmel sonuçlar vereceği olası görünmektedir. Fakat bu durumda kontrol noktalarının en uygun nasıl dağılması gerektiği ve nicel olarak ne tür bir yapıda olması gerektiği ayrı bir sorudur.

Tüm bu yaklaşımların ışığında, multikvadrik metodun tek başına uygulanması, mevcut algılama sistemlerinden herhangi biri kaynaklı uydu verilerinden topografik veya tematik harita yapımında standartlara uygun geometrik doğruluğa ulaşmak için

klasik yöntemlere veya diğ er yeni alternatif metod arayışlarına kıyasla yeterli olacaktır. 10 m çözünürlüklü SPOT pankromatik uydu görüntüsü verileri ile yapılan sayısal uygulamadan elde edilen sonuçlar simülatif yaklaşımla bulunan sonuçları haklı çıkarmaktadır. Başlangıç fonksiyonu olarak 2. derece polinomun kullanılması ve yumuşatma faktörünün  $C_g=0$  alınması durumunda multikuadrik yöntem en uygun sonucu vermektedir. Yöntem, daha yüksek çözünürlüklü uydu verilerine uygulandığında önemi daha belirgin ortaya çıkacaktır.



## **KAYNAKLAR**

**Akiyama, M. (1992) ; Topographic Mapping Method using SPOT Imagery, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 29, B4, pp.336-341**

**Albertz J. Lehmann H. und Tauch R., (1992); Herstellung und Gestaltung hochauflösender Satelliten-Bildkarten, Kartographische Nachrichten 6/92 S.205-213**

**Albertz J., (1993); Merging Graphical Elements and Image Data in Satellite Image Maps, Proc.of the Workshop and Conference "International Mapping from Space" of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Hannover, pp.265-271**

**Albertz, J. und Tauch, R., (1994); Mapping from Space-Cartographic Applications of Satellite Image Data, GeoJournal 32.1, pp.29-37, 1994**

**Barrodale, I., Skea, D., Berkley, M., Kurahawa, R. and Poeckert, R.(1993); Warping Digital Images Using Thin Plate Splines, Pattern Recognition, Vol.26, No.2,1993,pp.375-376**

**Carlson, R.E. and T.A. Foley., (1991); The Parameter  $R^2$  in multiquadric Interpolation, Computers & Mathematics with Application, 24(12), pp.27-34**

**Carlson, R.E. and T.A. Foley., (1992); Interpolation of Track Data with Radial Basis Functions Method, Computers & Mathematics with Application, 24(12), pp.27-34**

**Castleman, K.R., (1979); Digital Image Processing, Englewood Cliffs, New Jersey, Prentice Hall**

**Clavet D., Lasserre M. and J. Pouliot, (1993);** GPS Control for 1:50000-scale Topographic Mapping from Satellite Images, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Volume 59, No.1, pp.107-111, 1993

**Colvocoresses A.P., (1986);** Image Mapping with the Thematic Mapper, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 52, S.1499-1505

**Corbley, K. (1994) ;** Private Satellites-Now the Trend in Remote Sensing, *Earth Observation Magazine*, January 1994, pp.22-23

**Duchon, J., (1976) ;** Interpolation des Fonctions de deux Variables Suivant le Principe de la Flexion des Plaques Minces, *RAIRO, Analyse Numerique*, 110, pp.5-12

**Ehlers, M. and Fogel, D.,N. (1994) ;** High-precision Geometric Correction of Airborne Remote Sensing Revisited: the Multiquadric Method, *Image and Signal Processing for Remote Sensing*, Rome, Italy, 26-30 September 1994, SPIE, Vol.2314, pp.814-824

**Flottemesch, U. (1993) ;** Geometrische Entzerrung von digitalen Flugzeugscannerdaten mit der multiquadratischen Interpolation, *Diplomarbeit*, Institut für Photogrammetrie und Ingenieurvermessungen Universitaet Hannover

**Flusser, J., (1992) ;** An Adaptive Method for Image Registration, *Pattern Recognition*, 25(1), pp. 45-54

**Fogel, David, N. (1996) ;** Image Rectification with Radial Basis Functions: Application to RS/GIS Data Integration, *Proceedings, Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modelling*, Santa Fe, New Mexico, 21-26 January 1996, CD-ROM, National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara

**Fogel, David N., and Tinney, L. (1996) ;** Image Registration using Multiquadric Functions the Finite Element Method, Bivariate Mapping Polynomials and the Thin

Plate Spline, Technical Report No.:96-01, National Center for Geographic Information and Analysis, University of California, Santa Barbara

**Forster, B., (1980)** ; Urban Control for Landsat Data, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Volume 46, No.4, pp.539-545

**Forster, B., J.C. Trinder, D. Carroll, R. Farrington, and L. Kwoh (1988)** ; Mapping and Urban Multi-experimental Assessment of Spot- Mapping Results, Spot 1 Image Utilization, Assessment, Results, Cepadues-Editions Toulouse France, pp.1289-1295

**Gibbons G., (1992)**; The Global Positioning System as a Complementary Tool for Remote Sensing and other Applications, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol: 58(8),1992, pp.1255-1257

**Goshtasby, A., (1988)** ; Registration of Images with Geometric Distorsion, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 26(1), pp.60-64

**Göpfert, W., (1977)** ; Interpolationsergebnisse mit der Multiquadratischen Methode, Zeitschrift für Vermessungswesen, 19, s.457-460

**Göpfert, W., (1982)** ; Methodology for Thematic Image Processing Using Thematic and Topographic Data Bases and Base-integrated Multi-Sensor Imagery, Proceedings, ISPRS Commission VII Symposium, Tholouse, France, 13

**Grünreich, D.,(1985)** ; Untersuchungen zu den Datenquellen und zur rechnergestützten Herstellung des Grundrisses grossmassstaebiger topographischer Karten, Wissenschaftliche Arbeiten der Fachrichtung Vermessungswesen der Universitaet Hannover, No.132,

**Hall, E.L., (1979)** ; Computer Image Processing and Recognition, New York, Academic Press

**Harder, R.L. and R.N. Desmarais, (1972) ; Interpolation using Surface Splines, Journal of Aircraft, 9(2), pp.189-191**

**Hardy , R. L.,(1971);Multiquadric Equations of Topography and Other irregular Surfaces, Journal of Geophysical Research, 76/8, pp.1905-1915**

**Hardy, R. L., (1972a) ; Analytical Topographic Surfaces by Spatial Intersection, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing ,38(5)**

**Hardy,R. L., (1972b);Geodetic Applications of Multiquadric Analysis, AVN Vol.79,**

**Hardy,R. L., (1977) ; Least Squares Prediction , Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 43(4), pp.475-492**

**Hardy,R. L., (1990) ; Theory and Applications of the Multiquadric-biharmonic Method, Computers and Mathematical Applications 19(8/9), pp.163-208**

**Heipke, C. and W. Kornus, (1993) ; Nich-semantische photogrammetrische Auswertung digitaler Bilddaten-Praktischer Durchführung am Beispiel einer SPOT stereo scene, Zeitschrift für Photogrammetrie und Fernerkundung, 61, pp.122-130**

**İpbüker C., (1994); Uydu Görüntülerinden Harita Kapsamında Görüntü Elde Etmenin Geometrik Doğruluğu, İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi**

**Kardoulas N.G., Bird A.C and Lawan A.I.,(1996); Geometric Correction of SPOT and LANDSAT Imagery: A Comparison of Map- and GPS Derived Control Points, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Volume LXII, No.10, pp.1173-1177**

**Konecny G., (1995); Satelliten-Fernerkundung und Kartographie, Wiener Schriften zur Geographie und Kartographie, Band 8**

**Kramer J. and Illhardt E., (1990);** Nutzung hochauflösender kosmischer Photoaufnahmen der Kamera KFA-1000 für die verkürzte Aktualisierung von Karten im Massstab 1:25000, Vermessungstechnik, 38, pp.5-9

**Kratky, V., (1976) ;** Grid-modified Polynomial Transformation of Satellite Imagery, Remote Sensing of Environment, No:5, pp.67-74

**Manacher, G. and A.L. Zobrist, (1979) ;** Neither the Greedy nor the Delauney Triangulation of a planar Point Set Approximates the Optimal Triangulation, Information Processing Letters, 9(1), pp.31-34

**Markarian, H., Bernstein, R., Ferneyhough, D.G., Gregg, L.E., Sharp, F.S.,(1973) ;**Digital Correction for High Resolution Images, Photogrammetric Engineering, Vol:39,1973

**McGwire C.K.,(1998);** Mosaicking Airborne Scanner Data with the Multiquadric Rectification Technique, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Volume 64, No.6, pp.601-606

**Meinguet, J., (1979) ;** Multivariate Interpolation at Arbitrary Points Made Simple, Journal of Applied Mathematics and Physics (ZAMP), No.30, pp.292-304

**Micchelli, C.A., (1986) ;** Interpolation of Scattered Data: Distance Matrices and Conditionally Positive Definite Functions, Constructive Approximation, No.2(1), pp.11-22

**Michaelis, M. (1988) ;** A Geometrical Analysis of Spot Data, Spot 1 Image Utilization, Assessment, Results, Cepadues-Editions Toulouse France, pp.1235-1243

**Moik, J., (1980) ;** Digital Image Processing of Remotely Sensed Images, NASA SP-431, Washington, DC

**Orti, F.,(1981) ;** Optimal Distribution of Control Points to Minimize LANDSAT Image Registration Errors, P.E.R.S., Vol:47, no:1,1981

**Powell, M.J.D. (1987) ; Radial Basis Functions for Multivariate Interpolation Approximation in 1990, Advances in Numerical Analysis, W.Light, ed., Oxford Science Publications, pp.105-210, 1992**

**Powell, M.J.D. (1992) ; The Theory of Radial Basis Function Approximation in 1990, Advances in Numerical Analysis, W.Light, ed., Oxford Science Publications, pp.105-210, 1992**

**Preparata, F.P. and I. Shamos, (1985) ; Computational geometry: an Introduction, New York, Springer Verlag**

**Rees, W.G.,(1990); Physical Principles of Remote Sensing, Cambridge University Press,1990**

**Shul'min, M.V. and Y.Y. Mitel'man, (1974) ; The Multiquadric Method of Approximating a topographic Surface, Geodesy, Mapping and Photogrammetry, No.16, pp.13-17**

**Snyder, J.P.(1987); "Magnifying-Glass" Azimuthal Map Projections, The American Cartographer, Vol.14, No.1, pp.61-68**

**Snyder, J.P., Voxland, P.M.,(1989) ; An Album of Map Projection, U.S. Geological Survey, Professional Paper 1453,1989**

**Strathmann F-W., (1989); Fernerkundungskartographie als Arbeitsgrundlage für Stadt- und Regionalplanung, Kartographische Nachrichten 6/89 S.201-208**

**Swain, P.H., Davis, S.,(1991) ; Uzaktan Algıama : Kantitatif Yaklaşım, Çev. Maktav, D. ve Sunar, F.,1991**

**Swann, R., D.Kauffmann, D. and B. Sharpe, (1988) ; Results of Automated Digital Elevation Model Generation from SPOT Satellite Data, International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 27, B2, pp.434-440**

**Tobler, W.R., (1994) ; Bidimensional Regression, Geographical Analysis, 26(3), pp.187-212**

**Vilela, M.,F., Soares, P.,V., Brites, R.,S., Ribeiro,J.,C. (1998) ; Geometric Correction of Landsat TM Imagery using Ground Control Points Determined From Map, Orthophoto and Global Position System, A.S.P.R.S.**

**Wang Q., Hu,Y. and J. Wu, (1995) ; A Kind of Adjustable Map Projection With Magnifying Glass“ Effect, Proceedings of 17<sup>th</sup> International Cartographic Conference 10<sup>th</sup> General Assembly of ICA, 3-9 September 1995, pp.128-134**

**Welch, R., Usery, E.L., (1984) ; Cartographic Accuracy of LANDSAT-4 MSS and TM image data, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, Vol. GE-22, No.3,1984**

**Welch, R., Jordan, T.R., Ehlers, M., (1985) ; Comparative Evaluations of the geodetic accuracy and Cartographic potential of LANDSAT-4 and LANDSAT-5 TM image data, P.E.R.S., Vol.51,No.11,1985**

**Wolberg, G., (1990) ; Digital Image Warping, Los Alamitos, California, IEEE Computer Society Press**

**Zobrist, A.L., N.A. Bryant and R.G. McLeod, (1983) ; Technology for Large Digital Mosaics of Landsat Data, Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 49(9), pp.1325-1335**

## **ÖZGEÇMİŞ**

1959 yılında İstanbul'da doğdu. İlk ve orta öğrenimini tamamladıktan sonra, 1985 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 6 yıl jeodezi ve fotogrametri mühendisi olarak serbest çalıştıktan sonra 1991 yılında İTÜ İnşaat Fakültesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü Kartografya Anabilim Dalında Araştırma Görevlisi olarak göreve başladı. Bu görevi sırasında, Yüksek Lisans öğrenimini 1994 yılında İTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Programında tamamladı. Halen bu görevini sürdürmekte olup evli ve iki çocuk babasıdır.