

**İKONOS PANKROMATİK UYDU GÖRÜNTÜLERİNDEN SAYISAL YÜKSEKLİK
MODELİ OLUŞTURULMASI**
(DIGITAL ELEVATION MODEL GENERATION FROM IKONOS PANCHROMATIC
IMAGES)

Dilek KOÇ, Mustafa TÜRKER

Hacettepe Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi
Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, Ankara
email:mturker@hacettepe.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada, İKONOS pankromatik uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme tekniği kullanılarak Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM) oluşturulması incelenmiş ve bir çalışma bölgesinde uygulanmıştır. Çalışma bölgesi Ankara'nın kuzey batısında, Batıkent yerleşim alanının bir kısmını, kuzeyindeki çevre yolu ile kırsal alanı içine alan 50 km²'lik bir alanı kapsamaktadır. Bindirmeli modelin hesaplanması için gerekli olan Yer Kontrol Noktalarının (YKN) bir kısmı Diferansiyel Global Konumlandırma Sistemi (DGPS) ile arazide ölçülmüş, bir kısmı da mevcut 1:1000 ölçekli sayısal ortofoto ve haritalardan alınmıştır. Bu YKN'ler kullanılarak üç farklı SYM oluşturulmuştur. İlk SYM yalnız DGPS yöntemi ile toplanan 48 noktadan, ikincisi yalnız ortofoto ve haritalar üzerinden toplanan 48 noktadan, üçüncüsü ise tüm YKN'ler (96 nokta) kullanılarak oluşturulmuştur. Elde edilen SYM'lerin doğruluk analizi iki yöntemle yapılmıştır. İlk yöntemde SYM'lerin doğruluğu Bağımsız Denetim Noktaları (BDN) üzerinden hesaplanmıştır. İkinci yöntemde ise oluşturulan SYM'ler ile mevcut üç boyutlu nokta verilerinden ve eş yükselti eğrilerinden elde edilmiş olan referans SYM'den alınan yükseklik kesitleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar, yüksek konumsal doğruluktaki YKN'lerin kullanılması ile İKONOS pankromatik bindirmeli uydu görüntülerinden karesel ortalama hatası ± 0.5 m ile ± 0.7 m arasında olan SYM oluşturulabildiğini göstermiştir.

ABSTRACT

In this study, Digital Elevation Models (DEM) generation from panchromatic IKONOS satellite images using automatic image matching techniques was investigated and applied to a study region. The study region covers the 50 km² area in the north west of Ankara which includes some parts of the Batıkent residential area, the belt-highway in the north and the rural areas. The Ground Control Points (GCPs), that are necessary to calculate the stereo model were collected using Differential Global Positioning System (DGPS), from existing 1:1000 scaled digital orthophotos and maps. Three different DEMs were generated using these points. The first and second DEMs were generated using 48 GCPs collected using DGPS, and from orthophotos and digital maps, respectively. The third DEM was generated using all points (96 in total). The accuracy assessment of the generated DEMs were carried out using two methods. In the first method, the assessment was computed using the Independent Check Points (ICPs). In the second method, the accuracies were computed by comparing the elevation transects, taken from the generated DEMs and the reference DEM, which was generated from the contour lines of digital topographic map. The results indicate that a root mean square error between ± 0.5 m and ± 0.7 m can be achieved in DEMs generated from IKONOS panchromatic stereo images using GCPs with high accuracy.

1. GİRİŞ

İlk sivil uyduların uzaya gönderilmesiyle birlikte SYM'lerin uydu görüntülerinden elde edilmeleri önemli ve gelişen bir konu olmuştur. Uçaktan ve uydudan çekilmiş bindirmeli görüntüler geçmişte olduğu gibi günümüzde de SYM'lerin oluşturulmasında en çok kullanılan veridir. SYM'ler çok çeşitli çalışma alanları için önemli bir kaynak olup ortofoto ve ortogörüntülerin üretilmesinde, eş yükselti eğrileri oluşturulmasında, haritaların güncellenmesinde, şehircilik ve fotogrametri uygulamalarında vb. sıkça kullanılmaktadır.

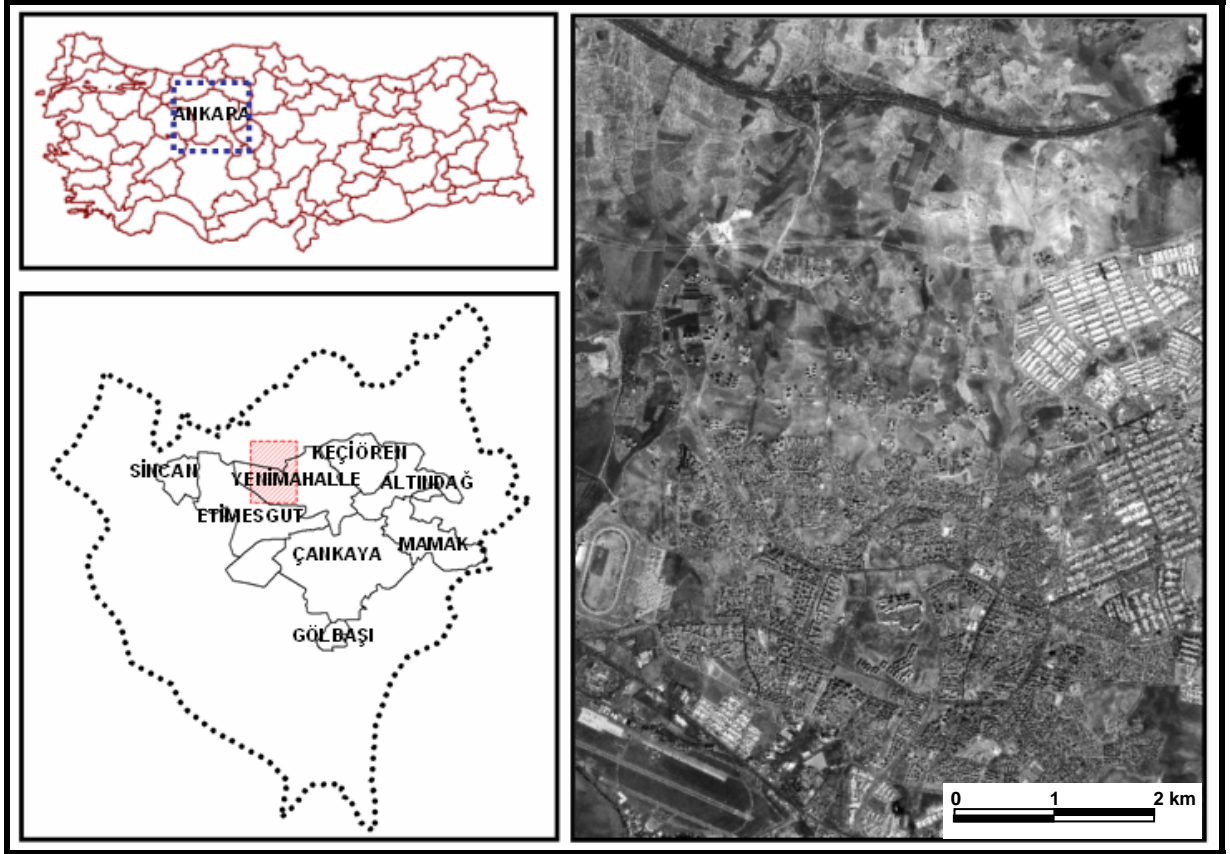
IKONOS 1999 yılında yörüngeye başarıyla oturtulan ilk ticari amaçlı yüksek çözünürlüklü uydudur. IKONOS'un 360°lik dönme yeteneği sayesinde iki farklı yörüngeden uçuşa dik bindirmeli görüntü çekimi yapılabildiği gibi aynı yörüngeden uçuşa paralel bindirmeli görüntü de elde edilebilmektedir. Aynı tarihli uçuşa paralel bindirmeli görüntüler, farklı tarihli uçuşa dik görüntülere göre daha avantajlıdır, çünkü aynı tarihli uçuşa paralel görüntülerde radyometrik görüntü farklılıkları az olmakta ve dolayısı ile görüntü eşleme aşamasında korelasyon başarısı artmaktadır /3/.

Bu makalede uçuşa paralel IKONOS pankromatik bindirmeli uydu görüntülerinden, görüntü eşleme tekniği kullanılarak SYM elde edilmesi incelenmektedir. Kullanılan görüntü Geo ürün formatındadır. Bindirmeli modelin hesaplanabilmesi için gerekli olan YKN'ler DGPS yöntemi ile araziden ve mevcut 1:1000 ölçekli sayısal ortofoto ve haritalardan olmak üzere iki farklı kaynaktan elde edilmiştir. Bu çalışmanın amacı farklı kaynaklardan elde edilen YKN'lerin SYM'nin doğruluğuna etkisini araştırmaktır. Elde edilen SYM'lerin doğruluk analizleri yapılmış ve sonuçlar değerlendirilmiştir.

2. ÇALIŞMA BÖLGESİ VE VERİLER

a. Çalışma Bölgesi

Çalışma bölgesi olarak Ankara'nın kuzey-batısında tek katlı evlerin, apartmanların, sanayi binalarının, tepelik ve kırsal alanların bulunduğu bir alan seçilmiştir (Şekil 1). Bölgenin kuzey kısmı engebeli ve dik, yerleşim alanlarının bulunduğu orta ve güney kısımlar ise kuzey kısma göre daha düzdür. Yükseklik 710 m ile 1140 m arasında değişmektedir. Batıkent 1980'li yıllarda Ankara'daki en önemli konut projesidir. Öncelikle kamulaştırma işleri tamamlanmış, arkasından teknik altyapı ve fizibilite etüdüleri yapılmıştır. İlk yapılaşmalar 1980'de başlamış ve 1990'lı yıllara gelindiğinde arazi örtüsü büyük ölçüde değişmiştir. Batıkent'te yapılaşma günümüzde de devam etmektedir.



Şekil 1: Çalışma bölgesi, Batıkent, ANKARA

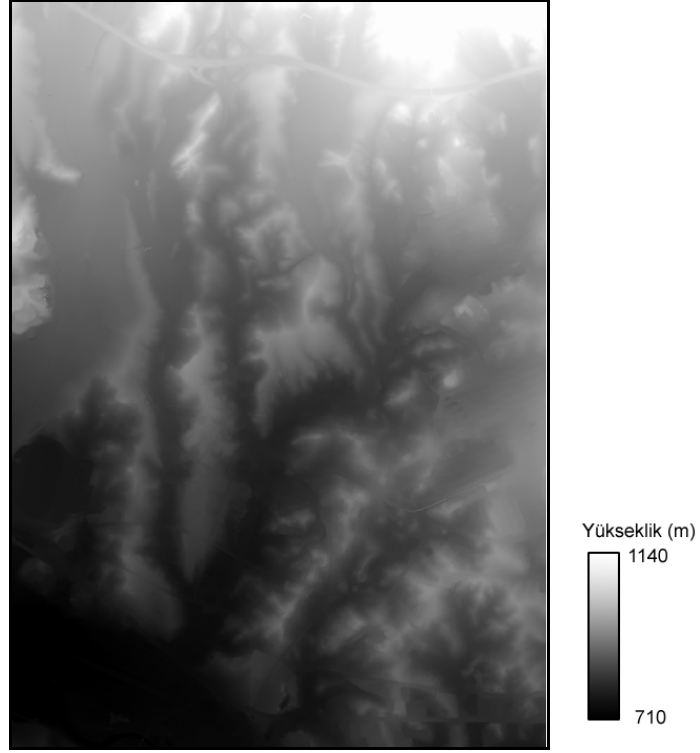
b. Veriler

Çalışmada IKONOS pankromatik bindirmeli uydu görüntüleri ve mevcut 1:1000 ölçekli vektör veriden elde edilmiş referans SYM kullanılmış olup aşağıda bu iki veri ayrıntılı olarak açıklanmaktadır.

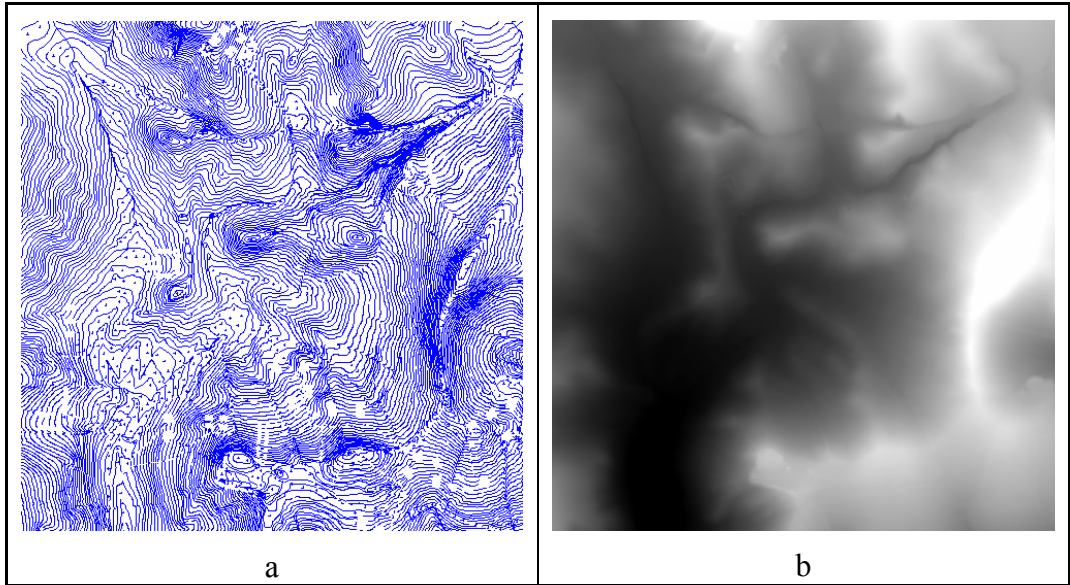
Çalışmada kullanılan IKONOS pankromatik bindirmeli uydu görüntüleri Batıkent yerleşim bölgesinin bir kısmını ve kuzeyini içermekte olup 50 km²'lik (6250m x 8000m) bir alanı kapsar. Aynı yörüngeden uçuşa paralel olarak elde edilen görüntüler 4 Ağustos 2002 tarihlidir. Görüntüler düşük maliyetli ve düşük doğrulukta koordinatlandırılmış olan 'Geo' IKONOS görüntü formatında, Universal Transverse Mercator (UTM) izdüşüm sistemi ve WGS84 datumunda alınmıştır. Geo formatındaki görüntülerin yatay konumsal doğrulukları 50 m'dir /1/.

Referans SYM Ankara Büyükşehir Belediyesi, Su ve Kanalizasyon İdaresi Genel Müdürlüğü (ASKİ) tarafından 1999 yılında yaptırılan ve Ankara Metropolitan alanını kapsayan 1:1000 ölçekli sayısal vektör veriden elde edilmiştir. Yatay ve düşey doğruluğu yaklaşık 0.2 m olan bu vektör veri arazi üzerindeki noktalar ve eş yükselti eğrilerinden oluştuğundan elde edilen SYM yalnız topoğrafyayı göstermekte ve dolayısı ile doğal ve insan yapımı objeleri içermemektedir (Şekil 2). Referans SYM PCI Geomatica görüntü işleme ve analizi yazılımının OrthoEngine modülü kullanılarak Transverse Mercator (TM) izdüşüm sisteminde, European Datum 1950 (ED50) elipsoidi kullanılarak oluşturulmuştur. Şekil 3a'da

referans SYM'nin oluşturulduğu sayısal vektör verinin bir bölümü, Şekil 3b'de ise bu veriden oluşturulan SYM görülmektedir.



Şekil 2: Mevcut sayısal vektör veriden elde edilen Referans SYM

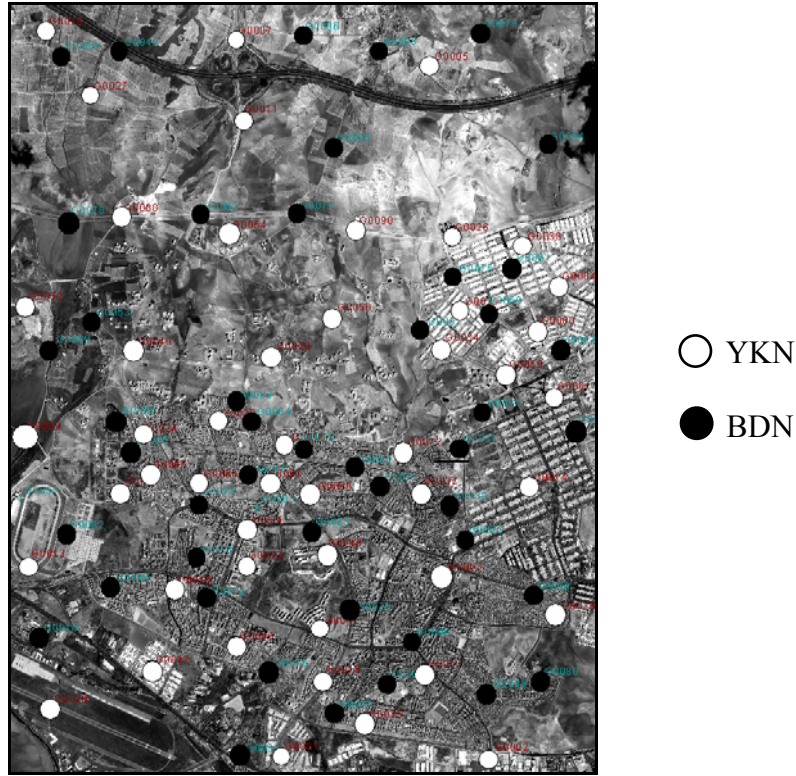


Şekil 3: (a) Mevcut sayısal yükseklik verisinin bir bölümü ve (b) bu veriden üretilen referans SYM.

3. SYM'LERİN OLUŞTURULMASI

PCI Geomatica görüntü işleme ve analizi yazılımının OrthoEngine modülü kullanılarak IKONOS pankromatik bindirmeli uydu görüntülerinden SYM oluşturulması başlıca üç aşamada yapılır: YKN'lerin toplanması, matematik model kullanılarak epipolar görüntüler ile SYM'nin oluşturulması ve (iii) SYM'de meydana gelen hataların düzeltilip elde edilen SYM'nin koordinatlandırılması. Bu üç aşama aşağıda kısaca açıklanmaktadır.

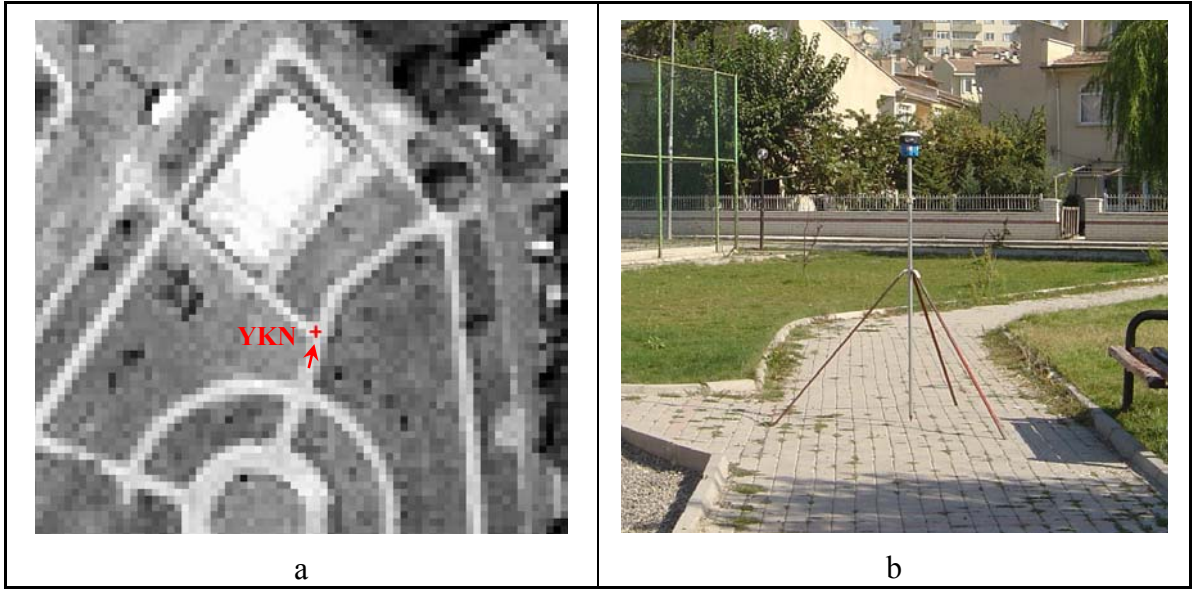
YKN'ler hem DGPS yöntemi ile araziden hem de bölgeyi içeren mevcut 1:1000 ölçekli sayısal ortofotolar ve haritalardan toplanmıştır. Her iki yöntemde de YKN'lerin görüntü üzerinde mümkün olduğunca homojen dağılmasına özen gösterilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4: YKN ve BDN'lerin IKONOS uydu görüntüsü üzerindeki dağılımları.

DGPS yönteminde iki adet çift frekanslı Ashtech Z-Surveyor GPS alıcısı kullanılarak 48 nokta toplanmıştır. YKN'ler açık sahada, uygun uydu görüşü sağlayan yerlerde, çoğunlukla bahçe ve kaldırım köşeleri ile yol kesişimlerinde seçilmiştir (Şekil 5). DGPS ile elde edilen veriler Astech Office Suite V2.0 yazılımı kullanılarak değerlendirilmiştir. Bu işlemler sonucunda nokta numaralarına göre Transverse Mercator (TM) izdüşüm sistemi ve European Datum 1950 (ED50) elipsoidinde X, Y nokta koordinatları ve yükseklik değerleri standart sapmaları ile birlikte elde edilmiştir.

DGPS yöntemi ile toplanan 48 noktaya ek olarak mevcut sayısal ortofotolardan ve vektör haritalardan elde edilen 48 nokta daha toplanmıştır. Bu noktalar sayısal haritalarda ve ortofotolarda net olarak görülebilen yerlerden seçilmiştir. Noktaların izdüşüm sistemi sayısal harita ve ortofotoların izdüşüm sistemi ile aynı olup TM ED50'dir.

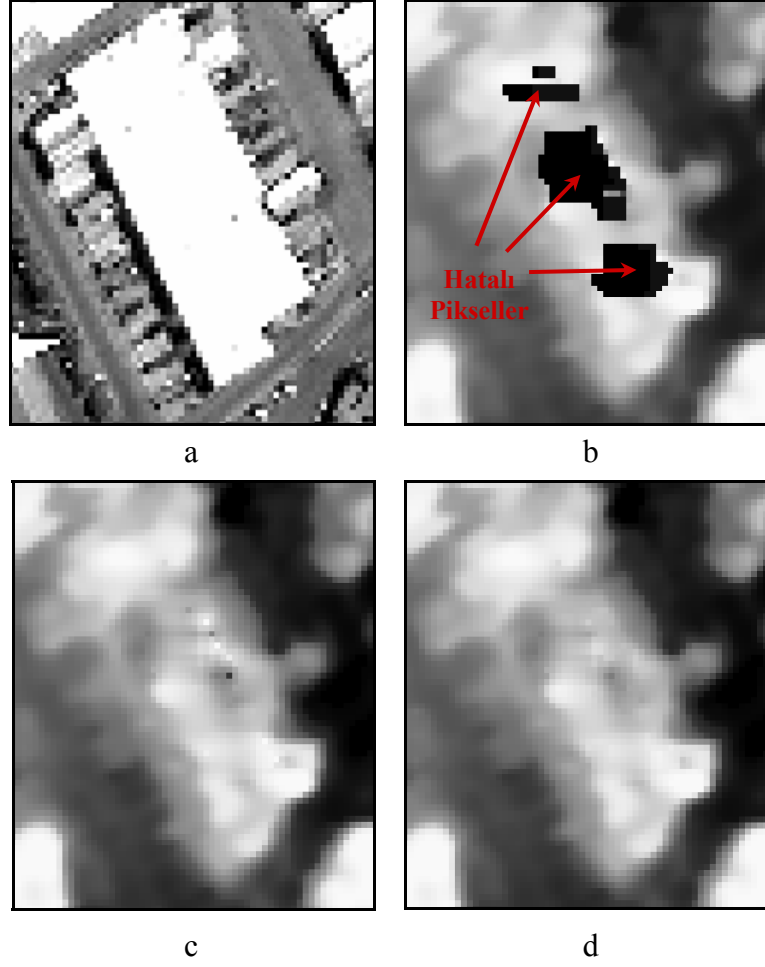


Şekil 5: Bir YKN'nin (a) uydu görüntüsü üzerinde (Ok fotoğrafın çekim yönüdür) ve (b) arazideki konumu.

Daha sonra, toplanmış olan YKN'ler kullanılarak IKONOS pankromatik bindirmeli uydu görüntülerinden üç adet SYM oluşturulmuştur. Birinci SYM yalnız DGPS yöntemi ile toplanan 48 nokta kullanılarak oluşturulmuştur. Bu noktalardan 24 tanesi YKN, 24 tanesi ise Bağımsız Denetim Noktası (BDN) olarak alınmıştır. İkinci SYM sayısal ortofoto ve haritalardan seçilmiş olan 48 nokta kullanılarak oluşturulmuştur. Bu yöntemde de birinci yöntemde olduğu gibi 24 nokta YKN, diğer 24 nokta ise BDN olarak alınmıştır. Üçüncü SYM ise toplanmış olan tüm noktalardan (96 adet) elde edilmiş olup 48 adedi YKN, geri kalan 48 adedi ise BDN olarak kullanılmıştır.

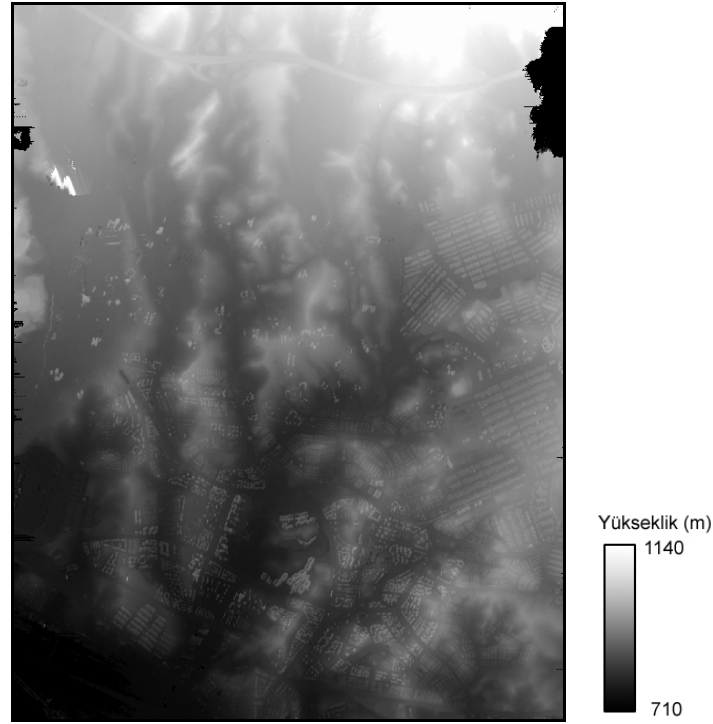
SYM'lerin oluşturulmasında PCI Geomatica'nın (sürüm 9.1.3) OrthoEngine modülü içinde yer alan ve uydu görüntülerinden SYM elde edilmesi için geliştirilmiş olan "Uydu Yörüngesel Modeli" kullanılmıştır. Bu model yer uzayından görüntü uzayına dönüşümün fiziksel kuralını temsil eden ve uydu (konumu, hızı, yönelimi), algılayıcı (yönelimi, bakış açısı), dünyanın küreselliği ve harita projeksiyonundan kaynaklanan hataları dikkate alan parametrik bir modeldir /2, 4/. Bu modelin parametreleri uydunun görüntüyü çektiği andaki konum ve yönelim bilgileriyle hesaplanır. Daha sonra, bu parametreler görüntü üzerinden toplanan YKN'ler ile en küçük kareler yöntemi kullanılarak iyileştirilir. En uygun parametre değerlerinin bulunmasından sonra görüntü eşleme işlemine geçilir. Bu işlemde kullanılan korelasyon yöntemini hızlandırmak ve yanlış piksel eşlemelerini azaltmak amacıyla ham verilerden epipolar görüntüler oluşturulur. Bu görüntüler oluşturulurken sol ve sağ ham görüntülerdeki y paralaks yok edilir. Böylece geriye kalan x paralaks kullanılarak eşleşen piksellerin X, Y ve Z koordinatları üç boyutlu bindirmeli kesişim metodu kullanılarak bulunur. Bu çalışmada piksel örnekleme aralığı olarak 2m alınmıştır. SYM'yi görüntünün konumsal çözünürlüğünde (1m) üretmek iyi sonuç vermediğinden örnekleme aralığının, piksel boyutunun iki katı alınması önerilmektedir /2/. SYM oluşturulurken arka plan değerine -150, hatalı piksellere ise -100 değeri atanmıştır.

Elde edilen SYM'ler belirli bir izdüşüm sisteminde olmadığı gibi hatalardan da yoksun değildir. Bu nedenle öncelikle hatalı piksellerin düzeltilmesi ve daha sonra da SYM'nin koordinatlandırılması yapılmalıdır. Bazı piksellerin görüntü eşlemeleri korelasyonun az olmasından dolayı yapılamamakta bu da elde edilen SYM'de hataların oluşmasına neden olmaktadır. Bu durum genellikle bulut gölgesi düşen alanlarda ve bina çatısının çok parlak olduğu yerlerde söz konusudur. Dolayısı ile, SYM oluşturulması sırasında görüntü eşleme problemi sonucu ortaya çıkan hatalı pikseller düzeltilmelidir. Aksi takdirde, bu pikseller kaba hatalar içerecektir. Bu çalışmada hatalı piksellere yükseklik değeri olarak -100 verilmiş ve oluşan hatalı pikselleri yok etmek için SYM üzerinde düzeltmeler yapılmıştır. Düzeltme işleminin yapılmasındaki amaç görüntü eşlemenin başarısız olduğu pikselleri arka plan değerine (-150) yada uygun bir yükseklik değerine atamak ve görüntüdeki hatalı piksel yada piksel gruplarını gidermektir. Bu amaçla öncelikle hatalı piksellerin alansal olarak çok geniş olduğu yerler maskelenmiş ve bu piksellere arka plan değeri olan -150 verilmiştir. Görüntü eşlemenin yapılamadığı küçük alanlarda ise hatalı piksellere belirlenen bir yükseklik değeri atanabileceği gibi çevre piksellerin değerleri kullanılarak interpolate edilmiş piksel değeri de verilebilir. Komşu pikseller arasındaki geçişlerin düzgün olması için bu çalışmada hatalı piksellerin yükseklik değerleri çevre piksellerden interpolate edilerek bulunmuştur. Tüm hatalı piksellere yükseklik değerlerinin verilmesi işleminden sonra SYM'ye "Parazit Giderici Filtre" uygulanmıştır. Bu filtre istatistiksel olarak anormal olan pikselleri hatalı piksel değeri olan -100'e atamaktadır. Filtreleme işlemi sonucunda oluşan hatalı piksellere komşu olan piksellerin değerleri incelenmiş ve eğer bu komşu piksel değerleri de istatistiksel olarak anormalse bu piksellerin de hatalı piksel değerine atanması için "Boşlukları Aşındırma Filtresi" (Erode Holes Filter) uygulanmıştır. Son olarak tüm SYM interpolate edilerek hatalı piksellere çevre piksellerle uyumlu yükseklik değerleri atanmıştır. Şekil 6a'da SYM oluştururken görüntü eşleme sırasında hatalara neden olabilecek parlak bina çatısı bulunan bir alan gösterilmekte, Şekil 6b'de ise bu alanlara karşılık gelen SYM sonuçlarındaki hatalı pikseller görülmektedir. Şekil 6c ve d'de ise sırasıyla üzerinde düzeltme ve filtreleme işlemleri yapılmış SYM gösterilmektedir.



Şekil 6: (a) IKONOS pankromatik uydu görüntüsü, (b) oluşturulan SYM’de hatalı pikseller, (c) düzeltme işlemleri yapıldıktan sonra SYM ve (d) filtreleme işlemleri yapıldıktan sonra elde edilen SYM.

Son olarak SYM’nin koordinatlandırma işlemi yapılmıştır. Koordinatlandırma işlemi ile oluşturulan SYM’nin koordinat sistemi belirlenmektedir. Bu işlem sonucunda SYM verisi TM ED50 izdüşüm sistemine dönüştürülmüştür. Şekil 7’de düzeltilmiş ve koordinatlandırması yapılmış SYM görülmektedir.



Şekil 7: Düzeltme ve Koordinatlandırma yapıldıktan sonra SYM

4. DOĞRULUK ANALİZİ

Elde edilen SYM'lerin X, Y ve Z koordinatlarındaki Karese Ortalama Hataları (KOH) hem YKN'ler hem de BDN'ler için hesaplanmıştır. SYM'lerin yükseklik doğrulukları kullanılan BDN'lerin araziden veya sayısal haritalardan ölçülen yükseklik değerleri ile SYM oluşturulduktan sonra bu noktalara atanan yükseklik değerlerinin KOH'ları hesaplanarak bulunmuştur. Ayrıca yine bu değerler arasındaki farklara bakılarak minimum, maksimum ve ortalama hatalar da hesaplanmıştır. Tablo 1 oluşturulan üç SYM'deki X, Y ve Z KOH'ları, Tablo 2 ise yalnız Z koordinatı için hesaplanmış olan hataları göstermektedir.

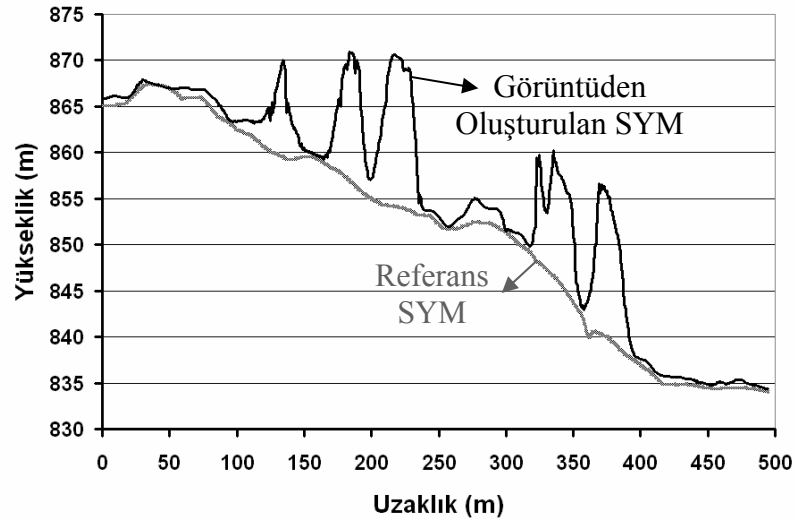
Tablo 1: Farklı kaynaklardan toplanan YKN'ler ile oluşturulan SYM'lerin X,Y ve Z KOH'ları

YKN Kaynağı	Görüntüler	Yer Kontrol Noktaları (YKN)				Bağımsız Denetim Noktası (BDN)			
		KOH (m)	XKOH (m)	YKOH (m)	ZKOH (m)	KOH (m)	XKOH (m)	YKOH (m)	ZKOH (m)
DGPS	Sol Görüntü	0,41	0,31	0,26	0,7	0,49	0,35	0,34	0,5
	Sağ Görüntü	0,44	0,29	0,33		0,44	0,26	0,36	
Ortofoto ve Harita	Sol Görüntü	0,47	0,28	0,38	0,6	0,65	0,44	0,48	0,7
	Sağ Görüntü	0,47	0,31	0,35		0,58	0,38	0,44	
Tümü	Sol Görüntü	0,45	0,31	0,32	0,7	0,55	0,36	0,42	0,6
	Sağ Görüntü	0,49	0,33	0,36		0,65	0,37	0,53	

Tablo 2: Farklı kaynaklardan toplanan YKN'ler ile oluşturulan SYM'lerde Z koordinatı hataları.

YKN Kaynağı	Z Değeri Hataları	YKN	BDN
DGPS	Ortalama Hata (m)	0,58	0,36
	En büyük Hata (m)	1,80	1,00
	En küçük Hata (m)	0	0
Ortofoto ve Harita	Ortalama Hata (m)	0,49	0,53
	En büyük Hata (m)	1,50	1,20
	En küçük Hata (m)	0	0
Tümü	Ortalama Hata (m)	0,56	0,46
	En büyük Hata (m)	1,50	1,70
	En küçük Hata (m)	0	0

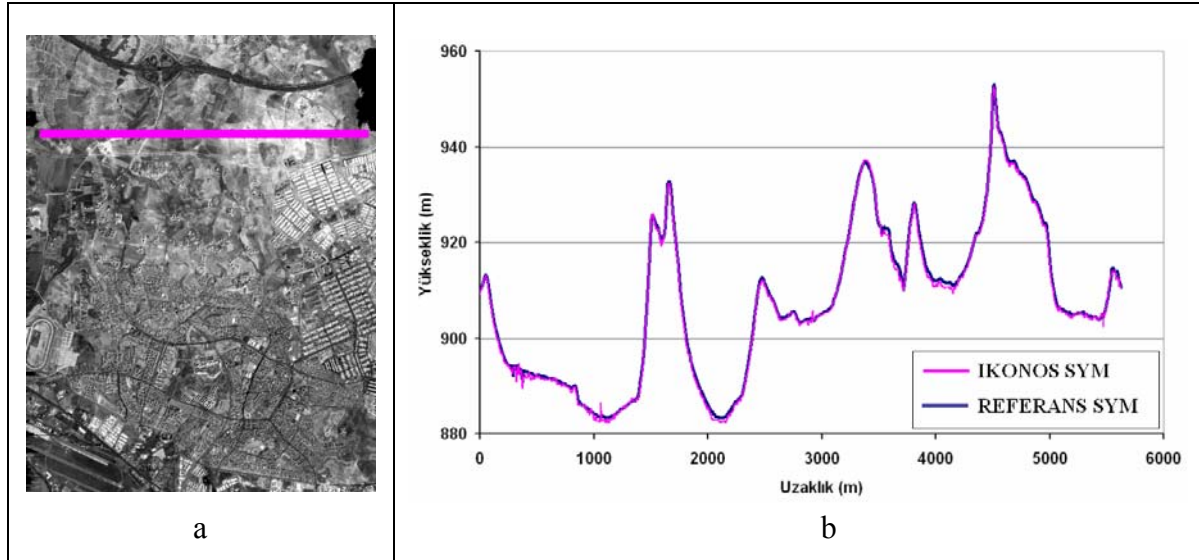
Yükseklik doğruluğunun testi ayrıca referans SYM ve oluşturulan SYM'lerden alınan kesitler üzerinde yapılmış ve sonuçlar grafiksel olarak gösterilmiştir. Referans SYM daha önce de açıklandığı gibi yalnız arazinin yükseklik modeli olup bina vb. üç boyutlu kent objelerini içermemektedir. Bindirmeli uydu görüntülerinden oluşturulan SYM'ler ise yer yüzeyinin yükseklik modelini göstermekte olup topoğrafyanın yanı sıra objelerin de yükseklik değerlerini içermektedir (Şekil 8). Bu nedenle bu iki SYM'yi doğrudan karşılaştırmak doğru sonuçlar vermez. Karşılaştırma yapılabilmesi için öncelikle binaların bulunduğu alanların maskelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla mevcut sayısal haritadaki vektör bina sınırları hücre yapısına dönüştürülmüş ve hem referans SYM hem de oluşturulan SYM'lerde bu alanlara "0" değeri verilerek bina alanları maskelenmiştir. Daha sonra, PCI Geomatica'nın Focus modülü kullanılarak bir dikey, iki yatay ve iki diagonal olmak üzere beş adet kesit alınmış ve bu kesitlerin profil grafikleri ve tabloları oluşturulmuştur. Bundan sonra profil tabloları Excel dosyasına dönüştürülmüş ve oluşturulan SYM'ler ile referans SYM'lerin yükseklik değerleri arasındaki farklar bulunarak ortalama, en büyük ve en küçük hata değerleri hesaplanmıştır. Tablo 3'de bu hata değerleri verilmektedir. Şekil 9'da yatay kesitlerden birinin uydu görüntüsü üzerindeki yeri ve ilgili grafiği görülmektedir.



Şekil 8: Binaların bulunduğu bir alanda yalnız arazi yüksekliklerini içeren Referans SYM ile tüm yüzeyin yüksekliklerini içeren IKONOS bindirmeli uydu görüntülerinden oluşturulan SYM'den alınmış bir kesit.

Tablo 3: Farklı kaynaklardan toplanan YKN'lerin kullanılmasıyla oluşturulan SYM'lerin, alınan kesitlerdeki Z değeri hataları

YKN Kaynağı	Hata	Kesit				
		Dikey	Yatay1	Yatay2	Diagonal1	Diagonal2
DGPS	Ortalama Hata	0,62	0,57	0,73	0,71	0,69
	En Büyük Hata	6,59	2,77	3,28	8,15	3,76
	En Küçük Hata	0	0	0	0	0
Ortofoto ve Harita	Ortalama Hata	0,57	0,58	0,62	0,67	0,71
	En Büyük Hata	4,87	2,86	3,51	5,90	4,12
	En Küçük Hata	0	0	0	0	0
Tümü	Ortalama Hata	0,57	0,53	0,65	0,64	0,62
	En Büyük Hata	6,88	2,90	4,45	5,88	3,80
	En Küçük Hata	0	0	0	0	0



Şekil 9: (a) Yatay kesitin görüntüsü üzerindeki yeri ve (b) görüntüden oluşturulan SYM ile Referans SYM'nin bu kesitteki grafiği.

5. TARTIŞMA

Bu çalışmada DGPS yöntemi ile araziden ve mevcut sayısal ortofoto ve haritalardan seçilmiş olan YKN'ler kullanılarak IKONOS pankromatik bindirmeli uydu görüntülerinden üç adet SYM oluşturulmuştur. Birinci ve ikinci SYM'de 24 YKN ve 24 BDN kullanılırken, üçüncü SYM'de ise 48 YKN ve 48 BDN kullanılmıştır. Doğruluk analizleri neticesinde elde edilen sonuçlar incelendiğinde oluşturulan üç SYM arasında önemli bir fark olmadığı görülmektedir. Otomatik görüntü işleme tekniği kullanılarak elde edilen SYM'lerin doğruluğu yaklaşık ± 0.7 m olarak bulunmuştur.

YKN ve BDN'leri eşit sayıda ve farklı iki kaynaktan elde edilen SYM'lerin doğruluk analizi sonuçları karşılaştırıldığında konumsal olarak, DGPS'den oluşturulan SYM'nin hem YKN hem de BDN karesel ortalama hatalarının sayısal ortofoto ve haritalardan oluşturulan SYM'ye göre biraz daha düşük olduğu görülmüştür. Her iki kaynaktan toplanan tüm noktalar (48 YKN, 48 BDN) kullanılarak oluşturulan SYM diğer SYM'lerle karşılaştırıldığında, bu SYM'nin konumsal doğruluğunun yalnızca DGPS yöntemi ile toplanan noktalar kullanılarak oluşturulan SYM'ye göre daha düşük, ortofoto ve haritalardan seçilen noktalar kullanılarak oluşturulan SYM'yle ise çok yakın değerlerde olduğu görülmüştür. Yükseklik değerleri incelendiğinde ise yine çok büyük bir fark olmamakla birlikte BDN'lerdeki yükseklik değeri doğruluğunun DGPS yöntemi ile oluşturulan SYM'de daha yüksek, YKN'lerdeki yükseklik doğruluğunun ise sayısal ortofoto ve haritalardan toplanan YKN'ler ile oluşturulan SYM'de daha yüksek olduğu görülmektedir. Tüm noktalar kullanılarak oluşturulan SYM'nin Z doğruluğu ise YKN'ler için DGPS'den elde edilen SYM ile aynı, BDN'ler için DGPS'den elde edilen SYM'den düşük, ortofoto ve haritalardan oluşturulan SYM'den ise daha yüksektir. Alınan kesitlerden çıkan sonuçlara göre de yükseklik değeri hatalarında üç SYM arasında çok büyük bir fark yoktur ve değerler ± 0.5 m ile ± 0.7 m arasında değişmektedir. Diğer taraftan 48 ve 96 adet nokta kullanılarak oluşturulan SYM'lerin doğrulukları arasında önemli bir fark olmadığından nokta sayısını çok fazla arttırmanın sonucu fazla etkilemediği görülmüştür.

Yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden SYM'ler oluşturulurken görüntülerde bulunan bulut gölgeleri, parlak bina çatıları gibi korelasyonun sağlanamadığı alanlarda hatalı pikseller oluşmaktadır. Hatalı piksellerin almış olduğu yükseklik değerleri yanlış olduğundan bu piksellerin düzeltilmesi gerekir.

6. SONUÇLAR

Bu çalışmada DGPS yöntemi ile araziden ve mevcut sayısal ortofoto ve haritalardan olmak üzere farklı iki kaynaktan toplanan YKN'ler kullanılarak IKONOS pankromatik bindirmeli uydu görüntülerinden SYM'ler oluşturulmuştur. Bu SYM'lerin konumsal ve dikey doğrulukları arasında çok önemli bir fark olmadığı görülmüştür. Her iki kaynaktan da oldukça yüksek doğrulukta SYM'ler elde edilmiştir.

Karşılaştırma yapıldığında, DGPS kullanılarak oluşturulan SYM doğruluğunun mevcut ortofoto ve haritalar kullanılarak oluşturulan SYM doğruluğuna göre biraz daha yüksek olduğu görülmektedir. Ancak DGPS yönteminin kullanılabilmesi için gerekli aletler oldukça pahalıdır ve araziden nokta toplanması zahmetli bir işlemdir. Bu nedenle SYM'si oluşturulacak olan alana ait 1:1000 ölçekli sayısal ortofoto ve/veya haritalar mevcutsa bu veriler kullanılarak da oldukça iyi konumsal doğrulukta SYM'lerin oluşturulabildiği görülmektedir.

Konumsal doğruluğunun oldukça düşük (50m) olması nedeni ile Geo formatı IKONOS ürünleri arasında en düşük maliyetli olanıdır. Bu çalışmada elde edilen sonuçlar, PCI Geomatica'nın OrthoEngine modülü ile yeterli sayıda ve hassas YKN'ler kullanılarak GEO formatında IKONOS bindirmeli görüntü çiftlerinden 1 m'nin altındaki doğrulukta SYM'ler elde edilebileceğini göstermektedir. Dolayısı ile, SYM oluşturulması için IKONOS ürün formatları arasında daha yüksek doğrulukta ve çok daha maliyetli olan Precision formatındaki ürünler yerine çok daha az maliyetli Geo formatındaki ürünler tercih edilebilir.

IKONOS vb. yüksek çözünürlüklü bindirmeli uydu görüntülerinden elde edilen SYM'ler, doğal ve insan yapımı kent objelerini (bina, ağaç vb.) de içerdiğinden aslında Sayısal Yüzey Modelidir. Yüksek doğrulukta bu modeller şehircilik ve fotogrametri uygulamalarında, üç boyutlu kent modellemelerinde, nesne belirleme çalışmalarında vb. birçok alanda kullanılabilir.

KAYNAKLAR

- /1/ Ganas, A., E. Logios, N. Tzannetos : An Investigation into the Spatial Accuracy of the IKONOS 2 Orthoimagery within an Urban Environment, International Journal of Remote Sensing, Cilt No: 23, Sayı No:17, 3513-3519, 2002.
- /2/ PCI Geomatics : OrthoEngine User Guide, Canada, 2003
- /3/ Toutin, Th., : DTM Generation from IKONOS in track Stereo Images Using a 3D Physical Model, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Cilt No:70, Sayı No:6, 695-702, 2004.
- /4/ Toutin, Th., P. Cheng : Comparison of Automated Digital Elevation Model Extraction Results Using Along-Track ASTER and Across-Track SPOT Stereo Images, SPIE Journal, Optical Engineering, 41(9): 2102-2106, 2002