

**FARKLI KAYNAKLARDAN ELDE EDİLEN
SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN
ORTOFOTO DOĞRULUĞUNA ETKİLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

(INVESTIGATION OF EFFECTS OF THE DIGITAL ELEVATION MODELS
GENERATED FROM DIFFERENT SOURCES ON THE ORTHOPHOTO ACCURACY)

**Emine ALKANALKA
Altan YILMAZ
Oktay AKSU**

ÖZET

Ortofotoların kalitesine etki eden en önemli faktör, ortofotonun doğruluğudur. Bu doğruluğu saptamak için, farklı kaynaklardan elde edilen Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM)'nin ortofoto haritalar üzerindeki etkileri araştırılmıştır. Toplam olarak yedi farklı SYM verisi üretilmiştir. Bunlardan birisi otomatik korelasyon ile hava fotoğraflarından, ikisi 1:5.000 ve 1:25.000 ölçekli eş yükseklik eğrilerinden Tiriangular Irregular Network (Düzensiz Üçgen Yapısında Ağ) (TIN) olarak, diğerleri ise 1:5.000 ve 1:25.000 ölçekli eş yükseklik eğrilerinden 5 m ve 20 m grid aralıklı olarak SYM verileri şeklinde üretilmiştir.

Doğruluk araştırması amacıyla stereo modeller ve üretilen ortofotolar üzerinde eşlenik noktaların koordinatları ölçülmüş ve stereo model okumaları referans kabul edilerek ortofotolar karşılaştırılmıştır.

ABSTRACT

The most important factor that affects the quality of the orthophoto is the accuracy of the orthophoto. In order to detect this accuracy, effects of Digital Elevation Models (DEMs) generated from different sources on the orthophotos are investigated. Totally seven different kinds of DEM have been produced. The others of the DEMs were generated from 1:5.000 and 1:25.000 scaled contours as TIN and the remainings from 1:5.000 and 1:25.000 scaled contours as 5 m and 20 m grid intervals.

In the accuracy assesment, the coordinates of certain details of the field were measured on the stereo model, and the same details were measured on the orthophotos. All the orthophoto coordinate measured were compared to stereo measured.

1.GİRİŞ

Sayısal ortofotolar bilinen bir doğrulukla üretildikleri takdirde değer kazanmaktadır. Sayısal ortofotoların doğruluğu; çok büyük oranda, taranmış görüntülerin SYM üzerine yerleştirilmesi veya yönlendirilmesinde kullanılan kontrol noktalarının kalitesine ve düşeye çevirmede kullanılacak SYM'nin doğruluğuna bağlıdır/7/.

Ortofotoların kontrolünde fotoğraf ile SYM'nin uyumlandırılabilmesi için, yer kontrol noktalarında arazi ölçümünün yapılması gerekmektedir. Genel olarak, kontrol noktalarından oluşan ikinci bir ağ kurulur. Bunlara fotogrametrik nirengi noktaları denilir. Oluşturulan blokta her çerçevede belirlenen fotogrametrik nirengi noktaları bilinen doğruluklarıyla, sayısal haritalar ve ortofotoların kontrolü için uygundur.

Eğer SYM yardımıyla düşeye çevrilmiş ve yöneltmiş fotoğraflar, haritadan veya bunun gibi doğruluk sağlayan yöntemler yardımıyla temin edilecek koordinatlar ile ortofoto haline dönüştürülecekse, önemli hatalar oluşabilir ve ortofotonun doğruluğu azalabilir.

SYM ve ortofoto üretiminin doğruluğuyla ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmada daha iyi bir doğruluk elde etmek için farklı yöntemler ve girdi verileri denenmiştir. Hava fotoğraflarından otomatik korelasyonla, 1:25.000 ve 1:5.000 ölçekli eş yükseklik eğrilerinden değişik aralıklarda üretilen SYM'lerin doğruluğu araştırılmıştır. Temel amaç, ortorektifikasyon (düşeye çevirme) işlemi sırasında, SYM'nin doğruluğunun, sonuç ürünün konumsal doğruluğuna etkilerini bulmaktır. Eğer kullanılan SYM yeterince doğru olursa, ortogörüntüler dağlık arazilerde bile oldukça iyi tutarlılık göstermektedir. SYM doğruluğunu test etmek için, temel veri olarak stereo modellerden okunan koordinatlar alınmıştır. Nokta okumaları tecrübeli operatörler tarafından gerçekleştirilmiştir.

2. TEORİK TEMELLER

a. Ortorektifikasyon (Düşeye Çevirme)

Ortorektifikasyon, fotoğraf veya görüntü içerisinde mevcut geometrik hataların ortadan kaldırılması işlemidir. Sonuç olarak elde edilen görüntü üzerinde arazinin coğrafi konumunun, uzunlukların, açıların ve alanların doğrudan ölçülebildiği, planimetrik olarak doğru olan bir ortogörüntüdür. Rektifiye edilmemiş bir görüntüde, ölçüm işlemi, rölyef kaymaları ve görüntü yer değiştirmelerine bağlı olarak, ancak yaklaşık olarak yapılabilir. Görüntülerde geometrik hatalara sebep olan değişkenler ise kamera veya algılayıcı yöneltmesi, kamera ve algılayıcıya ilişkin sistematik hatalar, topoğrafik rölyef kayıklığı ve yer küreselliğidir.

Blok dengelemeyle veya tek resim yöneltmesiyle (single frame resection), görüntü yöneltmesine ilişkin parametreler belirlenir. Blok dengelemesi sırasında en küçük karelerle dengeleme tekniği kullanılarak kamera veya algılayıcının tutarsızlığına ilişkin hatalar en aza indirgenir. Ek olarak, kendi kendini kalibre edici özelliğe sahip ışın demetleriyle, blok dengeleme tekniği ilave parametrelerle birlikte kullanılarak, kamera iç geometrisine ilişkin sistematik hataları gidermede rol oynar. Eğer çok fazla sayıda fotoğraftan oluşan bir blok veya uydu görüntüleri kullanılıyorsa yer küreselliği etkileride dikkate alınmalıdır. Bu hata, blok dengeleme sırasında bir SYM kullanılarak giderilir. Topoğrafik rölyef kayıklığının etkileri ortorektifikasyon işlemi sonucunda giderilerek oluşan ürün, ortogörüntü veya ortofoto olarak adlandırılır. Ortogörüntü veya ortofotoların koordinatlı olarak bir araya getirilmelerinden ortofoto mozaikler oluşur. CBS'de, ortofotoları doğrudan girdi verileri olarak kullanılabilir. Bu yöntem, mevcut veri tabanlarını güncelleştirmede oldukça uygun bir yöntemdir. Ortofotolar, kartoğrafik yorumlamaya gerek kalmadığından dolayı detay kaybına uğramamaktadır. Sayısal ortofotolar, klasik vektör verilerin düzeltilebileceği bir geri besleme sistemi olarak da düşünülebilir/2/.

b. Sayısal Yükseklik Modeli (SYM)

SYM, dünya yüzeyinin bir kısmının üç boyutlu olarak sayısal bir temsildir. Ortorektifikasyon işleminde SYM ve yer kontrol noktaları kullanılarak topoğrafyanın yol açtığı konum kayıklığını ortadan kaldırır ve görüntü, ortogonal bir projeksiyona dönüştürülür. Burada, her bir elemanı yüksekliklerden oluşan SYM matrisi, seçilen ortofoto matrisiyle karşılaştırılır. Her bir piksel, SYM'nden yararlanılarak, kendi arazi yüksekliğine uygun bir şekilde bir gri değer atanarak iz düşürülür.

Sayısal yükseklik modeli, gerçek anlamda arazinin topoğrafik yüzeyinin, matematiksel tanımı yapılabilen bir yüzeyle temsil edilmesidir. Bu işlem, topoğrafik yüzey üzerinde üç boyutlu koordinatları ile tanımlanmış dayanak noktalarıyla gerçekleştirilir. Sayısal arazi modeli işlemleri üç gruba ayrılarak incelenebilir. Bunlar; verilerin toplanması, SYM oluşturma (Enterpolasyon), bilgilerin depolanması ve sergilenmesi, olarak sıralanabilir/6/.

Bir ortofotonun doğruluğu temel olarak, SYM'nin doğruluğuna ve dolayısıyla enterpolasyon hatalarına bağlıdır. Eğer her ortofoto pikseli için bir SYM noktası varsa hiçbir enterpolasyon gerekmez ve enterpolasyon hataları yer almaz. Bu miktarlarda SYM toplama maliyet, üretim ve hız kriterleri gözönüne alındığında, olanaklı değildir. Uygulamada SYM için daha büyük aralıklar kullanılır/3/.

c. Sayısal Yükseklik Modeli Elde Edilmesinde Kullanılan Veri Kaynakları

SYM için veri kaynakları değişebilir, fakat genelde veriler topoğrafik haritalardan ve hava fotoğraflarından toplanır. Veri, toplama yönteminin seçimi; verinin ulaşılabilirliği, doğruluk, üretim zamanı ve maliyet gibi birçok faktöre bağlıdır. Verilerin toplanmasında kullanılan kaynaklar Tablo-1'de gösterilmiştir.

Tablo-1 : Veri Kaynakları

KAYNAK GRUBU	KAYNAK CİNSİ
Mevcut Harita ve Dokümanlar	Çizgisel Haritalar, Raster Harita Ekran Görüntüleri, Dokümanlar, Ortofoto Haritalar
Fotoğraflar ve Görüntüler	Hava Fotoğrafları, Uzaktan Algılama Görüntüleri (LANDSAT, SPOT, ERS vb.)
Algılayıcı Verileri	Laser Tarama Verileri, Görüntü Verileri, Interferometrik SAR Verileri
Arazi Ölçümü	Elektronik Takeometre Ölçüleri, GPS Ölçüleri
CBS	Sayısal Formatta Coğrafi Bilgi Kütükleri

d.Sayısal Yükseklik Modeli Yapıları

Günümüzde SYM verilerinin oluşturulmasında, iki farklı yapılandırma yönteminden bahsedilebilir. Bunlar, raster ve üçgenleme yöntemleridir.

Raster yönteminde (DEM), arazi üzerine karesel ya da dikdörtgensel bir grid sistemi yerleştirilir ve grid düğüm noktalarının veya piksel orta noktalarının yükseklikleri hesaplanır (Şekil-1). Bu işlem, üç farklı şekilde gerçekleştirilir. Birincisi; fotogrametrik model üzerinden doğrudan ölçmelerle, ikincisi; arazi yüzeyine rastlantısal olarak dağılmış olan dayanak noktalarının ölçülmesi ile, üçüncüsü ise mevcut eş yükseklik eğrisi verilerinden enterpolasyon yöntemidir.

Dayanak noktaları raster formda değilse, kayan yüzeylerle enterpolasyon, en küçük kareler enterpolasyonu, sonlu elemanlarla enterpolasyon ya da amaca uygun diğer bir enterpolasyon yöntemi kullanılarak, raster köşe (grid düğüm) noktalarındaki yükseklikler bulunur.

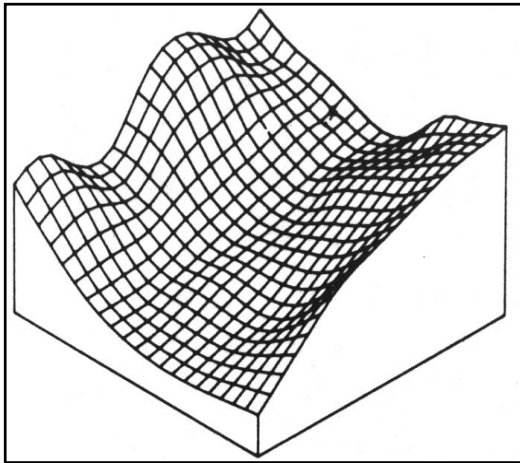
Dayanak noktalarından, bir raster ağının köşe noktalarına geçişte hiçbir bilgi kaybı olmamalıdır. Bu nedenle, raster genişlikleri, dayanak nokta aralıklarından daha küçük seçilir. Raster gözleri ne kadar küçük ise, elde edilecek doğruluk o denli yüksektir. Dar gözlü bir rasterden hesaplanan eşyükseklik eğrilerinin arazi yüzeyini daha iyi temsil eder. Diğer taraftan bu işlemin, veri yükünüde büyük oranda artırdığı göz önünde bulundurulmalıdır.

Ancak, rasterin hesaplandığı dayanak noktalarının yeterli yoğunluğa sahip olması gerektiği unutulmamalıdır/7/.

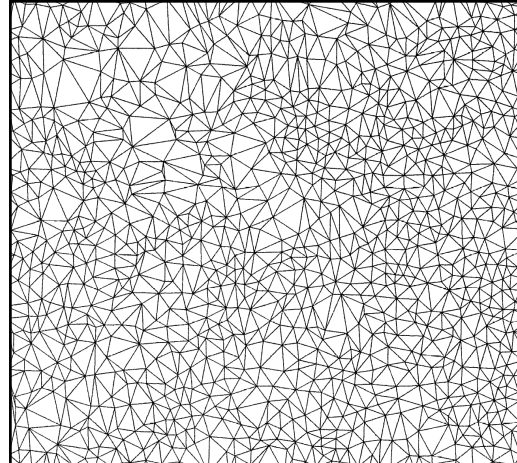
Düzensiz Üçgenleme Ağı (TIN) yönteminde ise arazi yüzeyine rastlantısal ya da düzgün olarak dağılmış bulunan dayanak noktalarının birleştirilmesi ile arazi, düzlem üçgenlerden oluşan (polihedron) çok yüzlü bir yüzeyle kaplanır (Şekil-2).

Bu şekilde elde edilen üçgen ağlarının (Triangulated Irregular Network-TIN) bazıları, topoğrafik yapı çizgileri ve arazinin kırık çizgileri üzerinde bulunan dayanak noktalarına, üçgenlemede bir öncelik vermeksizin, tüm noktaların aynı nitelikte olduğu varsayımına dayanır. Bu ağlarda sözgelimi yapı çizgilerini üçgen kenarları kesebilir. Daha sonraki çalışmalarda ise, ek ölçmeler veya düzeltmelerle bu arazinin yapısını gösteren iskelet çizgilerin ve kırık çizgilerin üçgenlerin mutlaka bir kenarını oluşturması sağlanmıştır.

Bu amaçla noktaların tanınmasını sağlayan bir kodlama sistemi kurulur. Bu kodlama, noktalar arasındaki ilişkiyi ve noktanın bulunduğu yerin niteliğini belirtir. Birçok olanak göz önünde bulundurularak, dayanak noktalarından oluşturulan üçgen ağının kısa kenarlı üçgenlerden meydana gelmesi amaçlanır. Böyle bir ağ, minimal ağırlıklı triangulasyon ağı olarak adlandırılır.



Şekil-1 : Ortogonal Raster Ağı



Şekil-2 : Araziyi Örtün Bir Üçgen Ağı.

e. Sayısal Yükseklik Modellerinin Doğruluğu

SYM'nin doğruluğu, ortofotodaki planimetrik (konumsal) doğruluğu etkilenmesi nedeniyle, sayısal ortorektifikasyon işleminde önemli bir rol oynar. Kaynak verinin ölçeği ve çözünürlüğü, SYM'nin doğruluğunu etkileyen önemli faktörlerdir. Ayrıca kaynak materyallerin ölçeği ile grid seviyelerinin olası sınırlaması arasında bir oran vardır. Örneğin, 1 derecelik SYM'ler için 1:250.000 ölçekli topoğrafik haritalar temel kaynaktır/3/.

Diğer bir faktör de, SYM'nin yatay ve düşey aralığıdır. SYM verisinin yatay doğruluğu, yükseklik matrisinin yatay aralığına bağlıdır. Standart bir SYM içindeki çoğu arazi detayları, yatay düzlemde düzenli aralıklarla yerleşmiş grid noktalarına genelleştirilerek azaltılmıştır. Bu genelleştirme; yüzey gridlemesi sırasında kullanılan sabit aralıktan küçük detayların konumlarını iyileştirme belirlemede yetersiz kalır.

SYM'nin düşey doğruluğu, çözünürlük (yatay grid aralığı), kaynak veri kalitesi, toplama ve işleme yöntemleri ve sayısallaştırma yöntemlerine bağlıdır. Proje tanımlamayla başlayan, kaynak veri setlerinin toplanmasıyla devam eden ve gridleme işlemleriyle sonuçlanan SYM

oluşturma işlemi, her bir uygulama için gerekli doğruluk kriterini sağlamalıdır. Her kaynak veri kümesi, bir sonraki adımda hataları katlayarak arttıracaktır.

Düşey SYM hataları; kaba , sistematik ve rastgele hatalar olmak üzere üç türdür. Kaba hatalar temel kısımlarda görülen hatalar olup, etkilenimli editleme sırasında kolayca ortadan kaldırılabilir. Sistematik hatalar sabit bir değer içeren hatalar olup, veri toplama yöntemleri ve sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Sistematik hatalar; düşey yükseklik kayıklıkları, ağaç, bina ve gölgelere bağlı arazi yüzeyinin yanlış yorumlanması, hayali kayalıklar, zirveler ve hendekler gibi nedenlerle oluşmaktadır. Rasgele hatalar, bilinmeyen veya adından da anlaşıldığı gibi rasgele olaylardan kaynaklanırlar. Bu hataların büyüklüğü editleme ile azaltılır. Fakat tamamen ortadan kaldırılamaz/4/.

Karesel ortalama hata (KOH); elde edilen sayısal yükseklik modelinin doğruluğunu ifade eder. KOH, konumları ve yükseklikleri bilinen dayanak noktalarının gerçek yükseklikleri ile, SYM’ndeki noktaların enterpolasyonundan elde edilen yükseklikleri arasındaki farklardan yararlanarak hesaplanır.

$$KOH = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n di^2}{n-1}} \quad (1)$$

Burada n, hesaplamada kullanılan nokta sayıdır.

SYM’nin doğruluk derecesi, test noktaları alan içinde homojen dağılmış olmasına ve yükseklik değerleri yeterli doğrulukta olmasına bağlıdır. Yükseklik değerlerinin doğruluk derecesine göre test noktaları sırası ile;

- (a) Yer kontrol noktaları,
- (b) Fotogrametrik nirengi noktaları,
- (c) Yükseklikleri münhanilerden bulunmuş olan noktalardır/3/.

SYM’deki hata, ortogörüntüde planimetrik hataya sebep olur. Bu hata, yükseklik hatası büyüklüğü, bakış geometrisi, algılayıcı sistem gibi faktörlere bağlıdır.

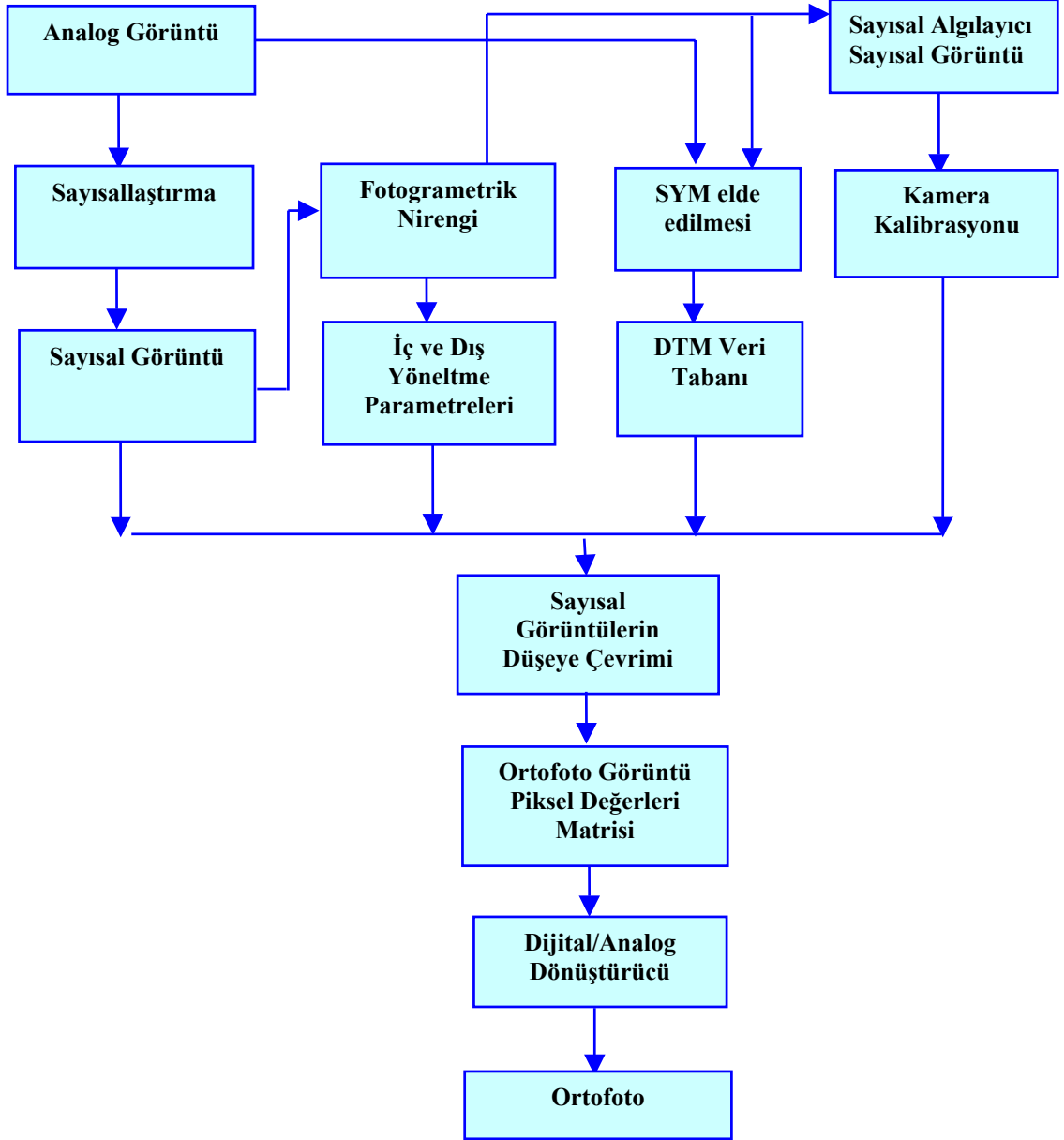
f. Otomatik SYM Üretimi

SYM verileri, otomatik korelasyon yöntemlerine dayanan yaklaşımlar kullanılarak stereo görüntülerden kolaylıkla elde edilebilirler. Otomatik görüntü korelasyonu, bir stereo çiftteki iki görüntünün aynı anda sayısal analizine dayanır. İşlem, her iki görüntü için algılayıcı konumunu ve dönüklükleri modelleyerek ve epipolar geometriyi hesaplayarak başlar. Sonra, çiftin bir görüntüsü epipolar geometride örneklenir. Epipolar doğrular ve herhangi bir referans noktası arasında korelasyon hesaplanır; en iyi karşılık gelen nokta araştırılır. Korelasyon sonuçları kontrol edilir ve yumuşatma işlemiyle düzeltilir. Eğer sonuçlar yeterli düzeyde değil ise, işlem daha iyi bir eşleme tanımlanarak bir sonraki adıma kadar iterasyonla devam eder. Son olarak, yükseklikler bir kartoğrafik projeksiyonda hesaplanır.

g. Sayısal (Digital) Ortofoto Harita Üretimi

Sayısal ortofoto harita üretiminde izlenecek işlem adımları Şekil-3’de gösterilmiştir. Sayısal ortofoto üretimine başlamadan önce ortofoto üretilecek analog fotoğraf, tarayıcı yardımıyla üretilecek ortofotonun ölçeğine bağlı olarak belirlenen duyarlılıkta sayısallaştırılır. Tarama piksel boyutu, fotoğraf ölçeği ile sonuç ortofoto ölçeği arasındaki orana doğrudan bağlıdır. Pratik yöntem; fotoğraf ölçeğinden, sonuç ortofoto ölçeğine kaç kez büyütülecekse o

oranın 240 dpi (dot per inch) kez daha fazla çözünürlük ile taranmasıdır. Örneğin 5 kez büyötmek için $5 \times 240 = 1200$ dpi veya daha hassas tarama yapılması gerekmektedir. Bu oranlara mümkün olduğu kadar sadık kalınarak yüksek kaliteli ürünler elde etmek mümkündür. Ortofotonun kapladığı alanın parametreleri ve piksel boyutu belirlenmeli ve ortofoto bunlara göre oluşturulmalıdır.



Şekil-3 : Digital Ortofoto Üretimi İçin Akış Diagramı

Görüntü sayısal ise bilgisayar ortamına alınır ve daha sonra ortofoto üretimi için, ilgili fotoğrafın kapladığı alana ait SYM verileri, kamera kalibrasyon verileri ve fotogrametrik nirengi sonuçları kullanılır/5/.

Taranmış fotoğraflar veya CCD sayısal kameralar ya da uzaktan algılama algılayıcılarından elde edilen sayısal görüntüler ile gerekli olan diğer veriler bilgisayar

ortamına alındıktan sonra, kullanılacak yazılımın kabul edeceği uygun formatlara dönüştürülür. Bu aşamada kullanılacak yazılımın özellikleri ön plana çıkmaktadır. Fotogrametrik yazılımlar; Softcopy yazılımları ve Görüntü İşleme Sistemi yazılımları olmak üzere iki grupta toplanabilir.

3.UYGULAMA

a. Çalışma Alanı

Çalışma alanı İstanbul Boğazı'nın kuzeyinde, deniz kıyısında seçilmiştir (Resim-1,2). Bu bölge içerisinde yerleşim alanları, ormanlık alanlar, yollar ve vadiler mevcut olup arazi yüksekliği 0 ile 300 metre arasında değişmektedir. Bu alan seçilirken, bütün arazi detaylarının bir arada bulunabildiği bir alan olmasına dikkat edilmiştir. Yani, ortofotodaki doğruluğu incelerken, bütünüyle ormanla kaplı, dağlık veya yerleşim yeri olmamasına özen gösterilmiştir.



Resim-1 : Çalışma Bölgesinin Genel Görünümü



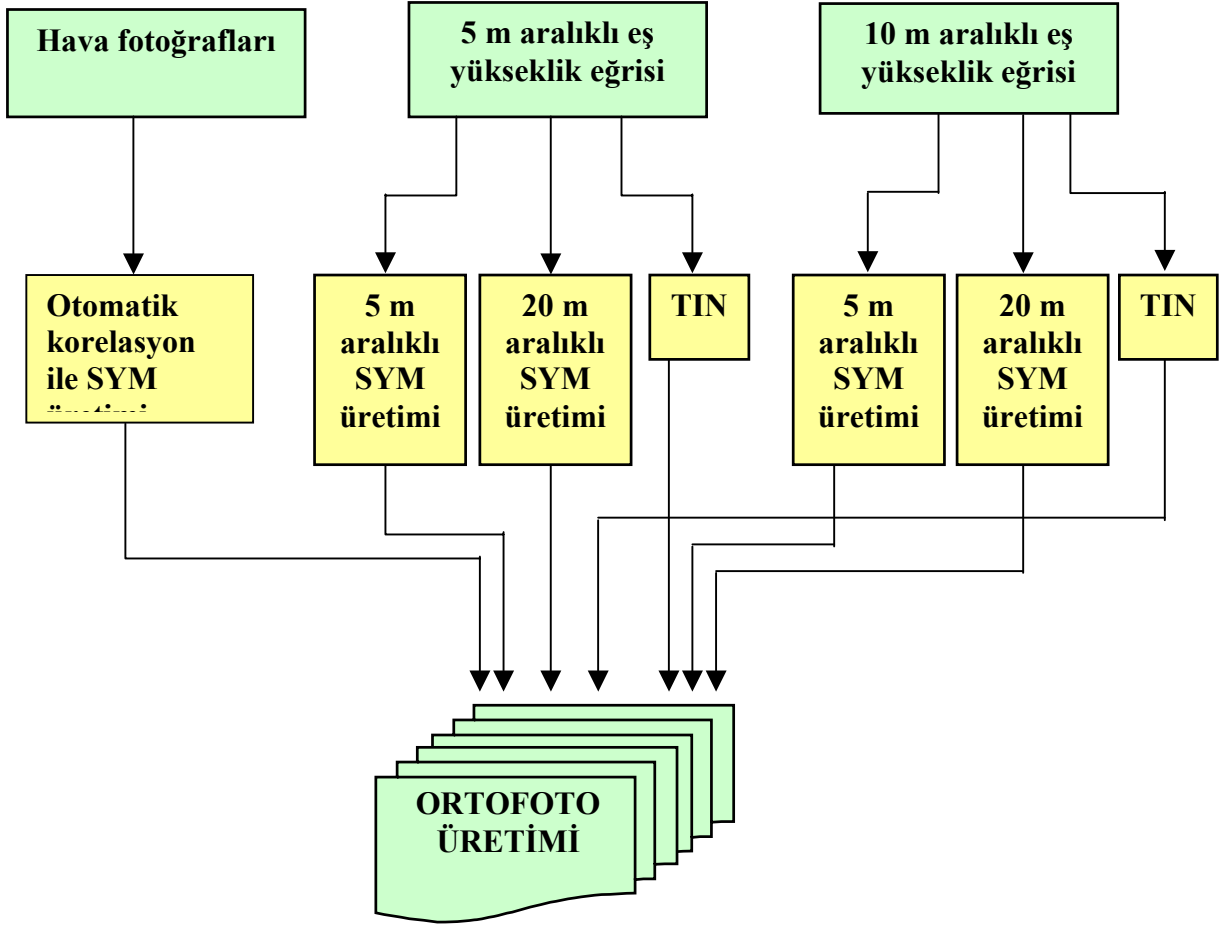
Resim-2 : Çalışma Bölgesinin Perspektif Görüntüsü

b. Uygulanan İş Akışı

İş akışı Şekil-4’de görülmektedir. Öncelikle, SYM verileri, çalışma istasyonlarında Vision Softplotter fotogrametri yazılımı ve PCI EASIPACE görüntü işleme yazılımı kullanılarak elde edilmiştir. Yazılımlar, SYM ve TIN oluşumunda farklı algoritmalar kullanılmaktadır. Kullanılan veri kaynakları; 1:16000 ölçekli renkli hava fotoğrafları, 5 m ve 10 m aralıklı üretilmiş eş yükseklik eğrileridir.

10 m grid aralıklı SYM, stereo hava fotoğraflarından otomatik korelasyon yöntemiyle, Vision Softplotter yazılımında oluşturulan stereo modelden üretilmiştir. Bir başka üretim şekli de eş yükseklik eğrilerindedir. 5 m aralıklı eş yükseklik eğrilerinden TIN verisi üretilmiştir. Yine aynı verilerden, 5 m ve 20 m grid aralıklı SYM verileri üretilmiştir. Aynı üretimler 10 m aralıklı eş yükseklik eğrilerinden de gerçekleştirilmiştir.

Üretilen tüm SYM ve TIN’ler ortogörüntünün üretilmesinde kullanılmış ve daha sonra ortogörüntüler üzerinde seçilen belirgin noktalarda doğruluk araştırması yapılmıştır. Ortorektifikasyon işlemi sırasında fotoğrafların yöneltmesi için kullanılan yöneltme parametreleri değiştirilmemiştir. Bu nedenle, ortofotolarda hataya yol açan tek neden, SYM verilerinin olduğu anlaşılmıştır. Fotoğrafların yöneltmesi için fotogrametrik nirengi işlemi gerçekleştirilmiş olup, fotoğrafların iç ve dış yöneltme işlemleri, Vision Softplotter yazılımında otomatik olarak yapılmıştır.



Şekil-4 : Çalışmada Uygulamada İş Akışı

c. Kullanılan Veriler

Sistemde kullanılan temel veriler, hava fotoğrafları ve fotogrametrik nirengi sonuçlarıdır. Hava fotoğrafları 1:16.000 ölçekli renkli görüntülerdir. Standart %60 ileri ve %20 yan bindirmeli görüntüler oldukları için, otomatik SYM üretiminde kullanılabilir. Fotogrametrik nirengi işleminde arazide kireçlenmiş, koordinatı bilinen noktalar kullanılmıştır.

Hava fotoğrafları; 1998 yılında, 153 mm odak uzaklıklı Zeiss RMK TOP15 kamerasıyla, 1:16.000 ölçeğinde çekilmiş renkli fotoğraflardır. Hava fotoğrafları renkli olup, Zeiss SCAI Film tarayıcısıyla 21 mikron duyarlılığında taranmıştır.

Uygulamanın birinci aşamasındaki tarama işlemleri SCAI Film Tarayıcı, blok oluşturma ve dengeleme işlemleri ise PHODIS-AT yazılımı ve PATB-GPS yazılımları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Eş yükseklik eğrilerinden SYM verisi üretimi, PCI EASI/PACE yazılımında yapılmıştır. Üçüncü aşamadaki blok oluşturma, TIN üretimi, otomatik SYM verisi üretimi, stereo model oluşturma, ortofoto ve mozaik üretimi ve kontrol noktalarının okunması işlemleri SOFTPLOTTER 1.7 yazılımı ile gerçekleştirilmiştir. Uygulama çalışmaları sırasında Harita Genel Komutanlığı bünyesindeki tüm sayısal fotogrametrik yazılımlar farklı aşamalarda kullanılmaya çalışılmış ve böylece bu yazılımları test etme olanağı da sağlanmıştır.

d. Fotogrametrik İşlemler

Çalışmada dayanak noktası olarak, stereo modeller üzerinde ölçülen noktalar kullanılmıştır. Her ne kadar, bu modeller üzerinde ölçülen noktaların doğruluğu, operatörün noktalara yaklaşmasına bağlıysa da, SYM oluşturmak için kullanılan eş yükseklik eğrileri de operatörler tarafından stereo modellerden çizilerek üretilmiştir.

Fotogrametrik nirengi işlemi için ölçümler, PHODIS-AT yazılımı kullanılarak bir blok halinde yapılmıştır. Bloğa ait ölçülen yer kontrol noktaları ve resim noktaları PATB-GPS yazılımı kullanılarak dengelenmiş ve sonuç olarak, bloktaki her bir fotoğrafa ait dış yöneltme parametrelerinin verildiği yöneltme dosyaları (ASCII formatında) elde edilmiştir. İkinci adımda, taranmış hava fotoğrafları (görüntüler) ve yöneltme elemanlarının yazılı olduğu ASCII dosya, Vision Softplotter yazılımının yüklü olduğu çalışma istasyonuna alınmış ve burada bir proje oluşturulmuştur.

İç yöneltme işlemi otomatik olarak gerçekleştirmek için; Zeiss RMK TOP 15 kamerası ile ilgili olarak kamera kalibrasyon raporunda yer alan bilgiler, kamera editöründe sisteme girilmiştir. Sistemin projeksiyonu Transvers Merkator (TM) olarak tanımlanmış, ED-50 datumu seçilmiş ve çalışma bölgesinin dilim orta meridyeni değeri olan 30°, sisteme yüklenmiştir. Ardından, görüntüler ve yöneltme parametreleri sisteme dahil edilmiş, tanımlanan kamera ve projeksiyon seçilmiştir. Bloktaki modellere ait fotogrametrik nirengi ile bulunan yöneltme parametreleri ve stereo görüntüler yardımıyla stereo modeller elde edilmiştir. Daha sonra, Stereo Tool da, sol ve sağ görüntüler girilerek stereo modeller meydana getirilmiş ve bu stereo modeller KDMS Tool'a alınarak, arazide seçilebilen detaylara ait üç boyutlu koordinatlar ölçülmüştür.

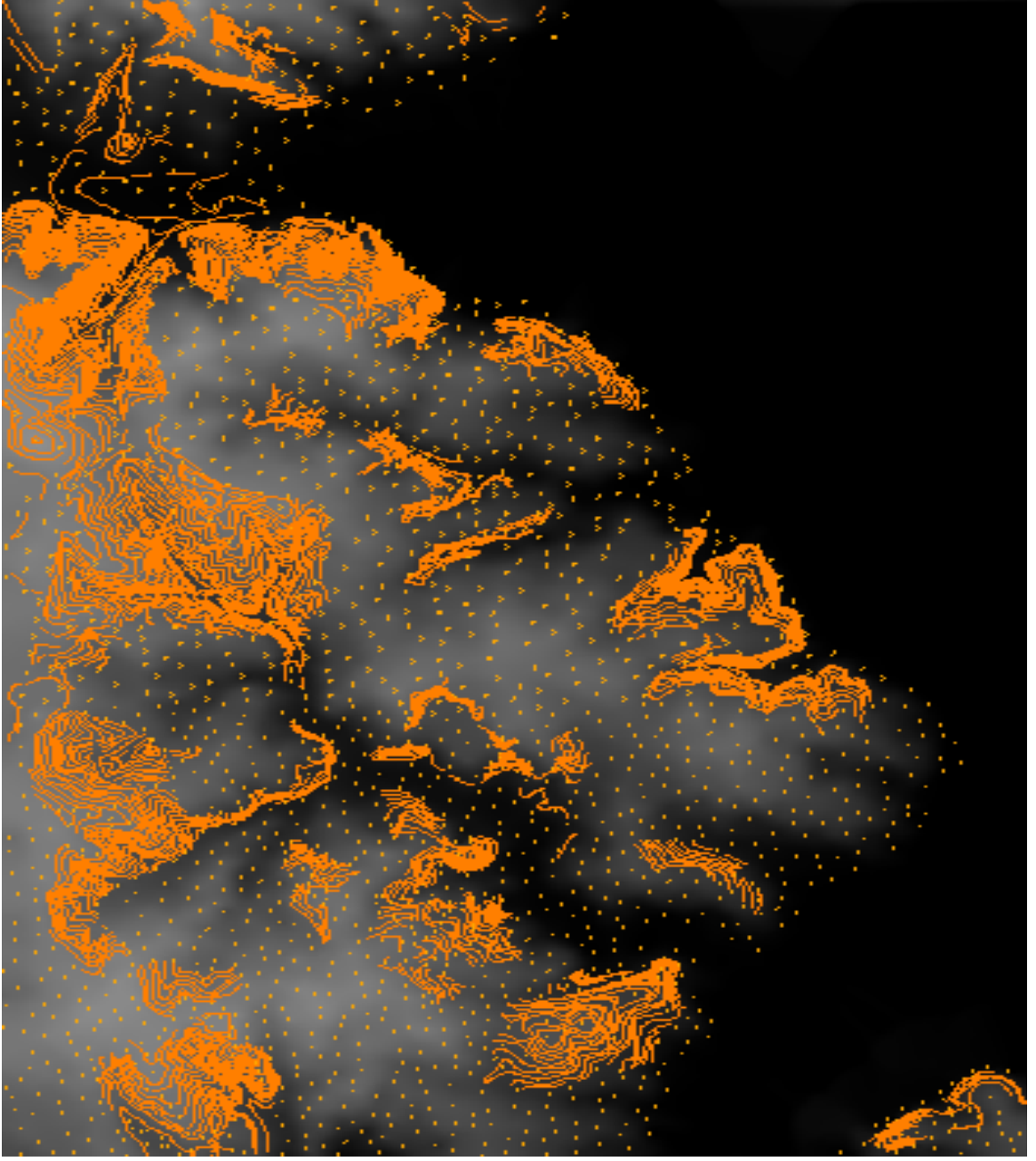
e. Verilerin İşlenmesi

(1) SYM Üretimi

(a) Eş Yükseklik Eğrilerinden SYM Üretimi

SYM verilerinin elde edilmesinde kullanılan önemli veri kaynaklarından birisi de eş yükseklik eğrileridir. 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritalar, Context A0 tarayıcıda taranmış, sonuçta elde edilen raster görüntü üzerinde ekranda çizgi izleyerek operatörler tarafından manuel işlemlerle vektöre dönüştürülmesi sağlanmış ve hatalar ekranda editlenmiştir.

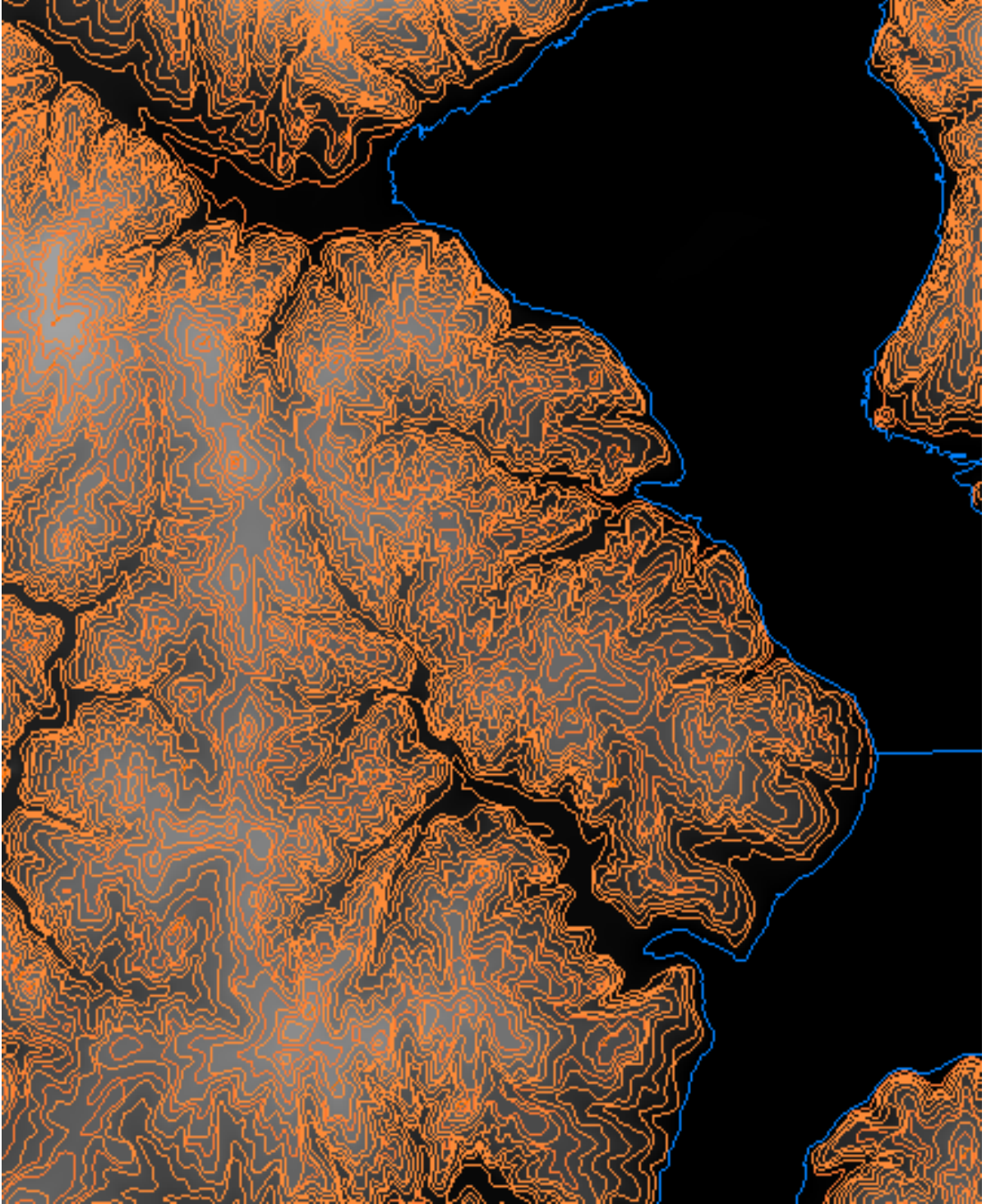
Vektör veriler IGDS (Intergraph Desing) File formatında olup, eş yükseklik eğrileri, planimetrik koordinatların yanı sıra yükseklikleri de içermektedir (Resim-3,4).



Resim-3 : SYM Üzerine Bindirilmiş 1/5.000 Ölçekli Eş Yükseklik Eğrileri

1:5.000 ölçekli eş yükseklik eğrileri ise, 1:16.000 ölçekli hava fotoğrafları kullanılarak oluşturulan stereo modeller üzerinden doğrudan çizimle elde edilmiştir.

Bu DGN uzantılı dosyalarda yer alan eş yükseklik eğrileri, PCI görüntü işleme yazılımının yüklü olduğu Çalışma İstasyonuna alınmıştır. ORTHO-ENGINE modülü kullanılarak vektörler sisteme dahil edilmiştir. Bir projeksiyon tanımlanarak, 5 m ve 20 m grid aralıklı SYM'ler oluşturulmuştur.



Resim-4 : SYM Üzerine Bindirilmiş 1/25.000 Ölçekli Eş Yükseklik Eğrileri

(b) 1:25000 ve 1:5000 Ölçekli Eş Yükseklik Eğrilerinden TIN Üretimi

1:25.000 ve 1:5.000 ölçekli eş yükseklik eğrileri ASCII dosyasına (X, Y, Z koordinatları) dönüştürülmüştür. Sonra, ASCII dosyaları Vision softplotter sistemine alınarak, yüksekliği ve planimetrik koordinatları bilinen noktalardan 10 metre aralıklarda TIN verisi oluşturulmuştur (Resim-5).

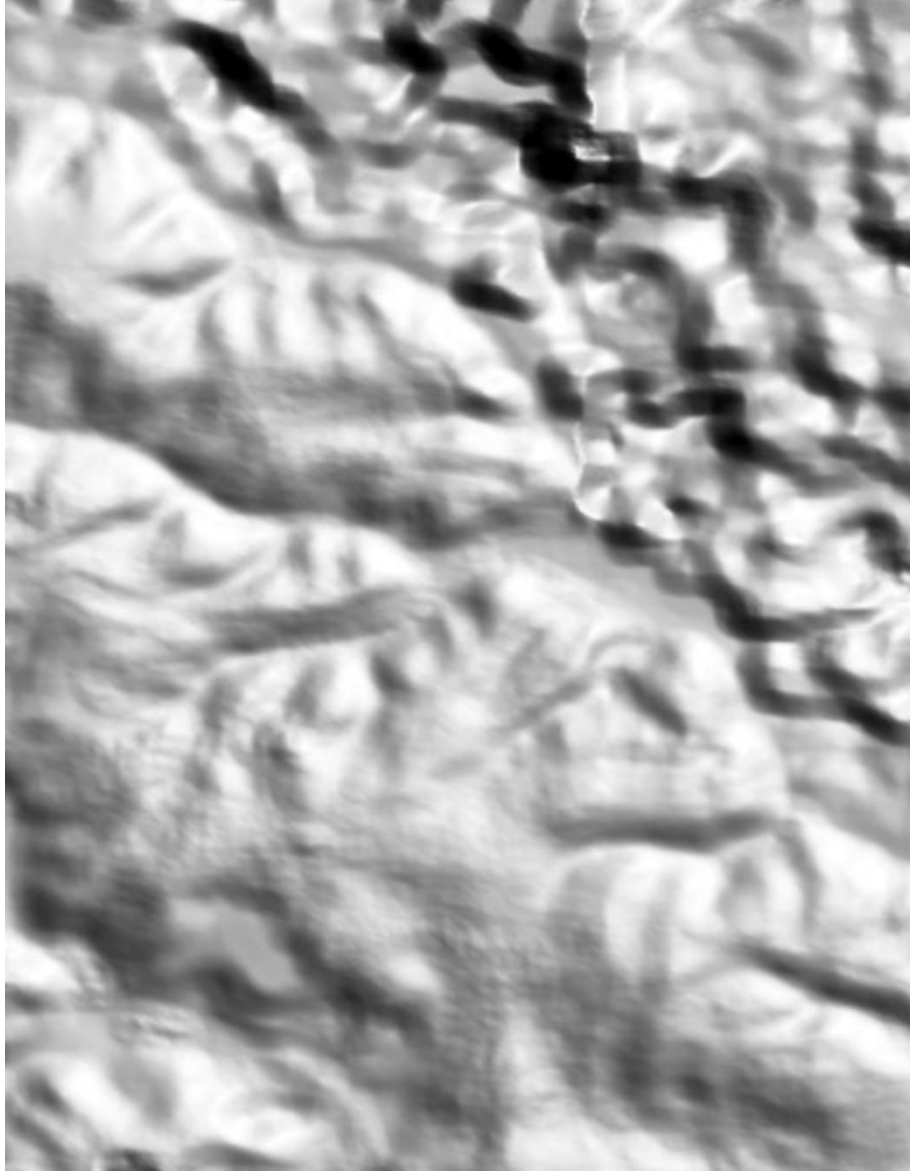


Resim-5 : Oluşturulan TIN'in Kabartma Görüntüsü

(c) Hava Fotoğraflarından SYM Üretimi

Hava fotoğrafları taranarak, renkli görüntüler halinde ve 360 MB boyutunda depolanmışlardır. Daha sonra, Vision Softplotter yazılımında DEM modülü kullanılarak, SYM istenilen aralıkta ve otomatik olarak toplanmıştır (Resim-6).

Toplanan SYM verileri, DEM modülünde stereo görüntüler alta getirilerek editlenmiştir. Yani, yükseklik noktalarının yer yüzeyinde olup olmadığı operatör tarafından kontrol edilerek, yanlış noktaların yer yüzeyi ile uyumu sağlanmıştır.



Resim-6 : Hava Fotoğraflarından Otomatik Korelasyon İle Üretilen SYM'nin Kabartma Görüntüsü

(2) Ortofoto Üretimi

Farklı kaynaklardan ve farklı aralıklarda elde edilen yedi farklı SYM verisi kullanılarak ortofotolar üretilmiştir. Ortofoto üretirken kullanılan dış yöneltme parametreleri ve yapılan otomatik yöneltme bütün ortofotolar için aynı olduğundan, ortofotonun planimetrik doğruluğunda meydana gelecek farkların tek nedeni, kullanılan SYM verileri olacaktır. Ortofoto üretimi, Vision Softplotter yazılımının Ortho Tool modülü kullanılarak gerçekleştirilmiştir.

Bu yazılımda ortofoto üretimi oldukça kolaydır. Daha önce belirtildiği gibi, oluşturulan bloğun hali hazırda iç ve dış yöneltme işlemleri gerçekleşmiş durumdadır. Ortho Tool modülünde yapılan işlem kullanılacak fotoğrafın, SYM'nin ve çıktı projeksiyonunun seçimi işlemidir. Fotoğraflar için oluşturulan ortofotolar Mosaic Tool modülü kullanılarak mozaiklenmiştir.

(3) Oluşturulan Ortofotolar ve Stereo Model Üzerinde Ölçümlerin Yapılması

Öncelikle, iş bölgesine giren stereo modeller üzerinde, operatörler tarafından arazide belirgin noktalara yaklaşılarak üç boyutlu koordinatlar tespit edilmiştir. Daha sonra stereo model üzerinde okunan noktalar, ortofotolar ve SYM verileri ile birleştirildikten sonra üç boyutlu olarak okunmuştur (Resim-7). Bütün okunan noktalar ASCII formatına dönüştürülerek Microsoft Excel yazılımı kullanılarak birbirleriyle karşılaştırılmıştır.



Resim-7 : 1/5.000 Ölçekli Eş Yükseklik Eğrilerinden Üretilen Ortofoto Görüntüsü

4. SONUÇ

a. SYM'leri ve Ortogörüntülerde Doğruluk Araştırması

Toplam olarak, yedi farklı SYM verisi üretilmiştir. Bunlardan birisi otomatik korelasyon ile hava fotoğraflarından, ikisi 1:5.000 ve 1:25.000 ölçekli eş yükseklik eğrilerinden TIN olarak, diğerleri ise 1:5.000 ve 1:25.000 ölçekli eş yükseklik eğrilerinden, 5 m ve 20 m aralıklı olarak üretilen SYM verileri biçimindedir.

Doğruluk araştırmasında, stereo modellerde yapılan gözlemler referans olarak alınmıştır. Stereo modeller üzerindeki gözlemler Vision Softplotter yazılımı kullanılarak, tecrübeli bir operatör tarafından, arazide belirgin ve iyi kontrastlık sağlayan noktalara hassas bir şekilde yaklaşılarak yapılmıştır. Stereo modeller üzerinde yapılan gözlemler, oluşturulan ortofotolara referans olarak getirilmiş ve aynı noktalar ortofotolar üzerinde de okunmuştur.

Yapılan bu gözlemler ASCII formatına dönüştürülmüş, Excel yazılımında stereo modellerdeki gözlemlerle karşılaştırılmıştır. Doğruluk kriterleri olarak, ortalama hata ve karesel ortalama hata değerleri hesaplanmıştır (Tablo-2). Karşılaştırmanın bir örneği de EK-A'da verilmiştir. Standart sapmalar hesaplanarak 3 katını geçen gözlemler kaba hatalı olarak ayıklanmışlardır. Karşılaştırmada aşağıdaki formüller kullanılmıştır.

$$\text{planimetrik (konumsal) doğruluğu; } \mathbf{dx} = \mathbf{X}_{\text{stereo}} - \mathbf{X}_{\text{orto}} , \quad (2)$$

$$\mathbf{dy} = \mathbf{Y}_{\text{stereo}} - \mathbf{Y}_{\text{orto}} , \quad (3)$$

$$\mathbf{dp} = \sqrt{\mathbf{dx}^2 + \mathbf{dy}^2} , \quad (4)$$

$$\text{yükseklik doğruluğu; } \mathbf{dz} = \mathbf{Z}_{\text{stereo}} - \mathbf{Z}_{\text{orto}} , \quad (5)$$

$$\text{planimetrik ortalama hata; } \mathbf{OH} = \frac{\sum_{i=1}^n |\mathbf{dp}_i|}{n} , \quad (6)$$

$$\text{planimetrik karesel ortalama hata; } \mathbf{KOH} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \mathbf{dp}_i^2}{n-1}} , \quad (7)$$

$$\text{yükseklik ortalama hata; } \mathbf{OH} = \frac{\sum_{i=1}^n |\mathbf{dz}_i|}{n} , \quad (8)$$

$$\text{yükseklik karesel ortalama hata; } \mathbf{KOH} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \mathbf{dz}_i^2}{n-1}} , \quad (9)$$

Tablo-2 : Sayısal Yükseklik Modellerinin Planimetrik ve Yükseklik Hataları

Oluşturulan Sayısal Yükseklik Modelleri	KOH_{planimetrik} (metre)	KOH_{yükseklik} (metre)
stereo otomatik korelasyon	1.9526	4.7473
stereo 5000TIN	1.2570	2.3160
stereo 5000-5	1.8780	2.9245
stereo 5000-20	1.9700	3.7000
stereo 25000TIN	2.1729	4.1725
stereo 25000-5	2.1727	4.4197
stereo 25000-20	3.8662	4.4837

b. Sonuç ve Öneriler

- Temel olarak, manuel kıymetlendirme ile toplanan eş yükseklik eğrilerinden üretilen SYM verilerinin, otomatik korelasyon ve sayısallaştırma sonucu elde edilen eş yükseklik eğrilerinden üretilen SYM verilerinden daha doğru olduğu görülmüştür. Burada dikkat edilmesi gereken konu manuel kıymetlendirmedeki üretim zamanının uzun olması ve maliyetin fazla olmasıdır.
- Otomatik korelasyon yöntemi, ormanlık alanlarda ve denizlerde pikselleri yanlış eşleyebilmektedir. SYM oluşturma ve otomatik korelasyon algoritmaları, daha iyi doğruluk sağlamak ve homojen bir SYM verileri oluşturmak için geliştirilmelidir. Üretilen SYM kontrol edilerek, boşluklar ve yanlış eşleştirmeler SYM editleme algoritmaları ile düzeltilmelidir.
- Üretilen ortofotolar ve stereo modelin karşılaştırılmasından elde edilen hatalar incelendiğinde; 5 m aralıklarla üretilmiş eş yükseklik eğrilerinden üretilen SYM'ler, 10 m aralıklı eş yükseklik eğrilerinden üretilen SYM'lere göre daha iyi sonuç vermiştir. Grid aralığı olarak, 5 m aralıklı SYM'ler, 20 m aralıklı SYM'lere göre daha doğru olmaktadır. Ayrıca, TIN'den üretilen ortofotolardaki planimetrik doğruluk ve TIN'lerin yükseklik doğruluğu, SYM'lere göre daha iyi olmuştur.
- Otomatik korelasyon ile üretilen SYM'lerinden elde edilen ortofotonun planimetrik doğruluğu, 5 m aralıklı eş yükseklik eğrilerinden üretilen SYM ile elde edilen ortofotonun doğruluğuna yakın çıkmıştır. Bunun sebebi, ortofotolar üzerinde belirlenen noktaların, çevresiyle iyi kontrastlık gösteren noktalardan seçilmiş olmasıdır. İyi kontrastlığa sahip noktalarda görüntü eşleme algoritmaları en iyi eşlemeyi verdiği için, bu noktaların yükseklik doğruluğu da oldukça iyi olmaktadır. Ayrıca otomatik korelasyon yönteminden elde edilen SYM'lerin yükseklik doğruluğu oldukça düşük çıkmıştır. Yine de bu değer, otomatik olarak 10 m aralıklı eş yükseklik eğrisi çiziminde kullanılabilir.
- 1/16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik korelasyon yöntemi ile üretilen ortofotoların doğruluğu, standart 1:25.000 ölçekli topoğrafik haritaların planimetrik doğruluğu olan ± 5 metreyi sağladığı için, bu hava fotoğraflarından elde edilen yükseklik verisi 1:25.000 ölçekli ortofotoların üretilmesinde kullanılabilir. Ancak, üretilen SYM verileri mutlaka editlenmelidir.
- Daha sonra yapılabilecek bir çalışmada, çeşitli alan ve çizgi detaylar vektörel olarak kıymetlendirip, farklı SYM'lerde ne kadar deformasyona uğradıkları tespit edilebilir. Ayrıca çalışma alanı içerisinde değişik eğim grupları oluşturularak, eğimin, doğruluğu ne derece etkilediği kontrol edilebilir. Çeşitli doğrultularda kesitler alınarak bu yönlerle ilişkin hata profilleri çıkarılabilir.
- Seçilen bölgenin üçte birinin denizle kaplı alan olması ve geriye kalan alanlarda ise ormanlık alanların fazla olması nedeniyle örnekleme noktalarının seçimi güç olmuştur. Bundan sonraki çalışmalarda seçilen alanın daha çok nokta seçmeye elverişli olması kontrolün artması için daha uygun olacaktır.
- Sayısal kıymetlendirme ile toplanan detay bilgilerinden, arazi yüzeyine ilişkin olanlara ait koordinatlar da oluşturulacak TIN veya SYM içerisine dahil edilerek sonuçlar irdelenebilir.

K A Y N A K L A R

- /1/ Boniface, P. R. : /Photogrammetry, Digital Photogrammetry, An Addendum to the Manual of Photogrammetry, ASPRS,1996.
- /2/ Erdas Imagine 8.4 : Field Guide
- /3/ Erdoğan ,M. : Investigating The Effect of Digital Elevation Model Accuracy On The Planimetric Accuracy of Orthorectified Spot Imagery, ODTÜ Yüksek Lisans Bitirme Tezi, Ankara, 2000.
- /4/ Gerhard, A. : Digital Orthoprojection, Scanning, Handling and Processing of Aerial Images, Ebner/Fritsch/Heipke Digital Photogrammetric Systems, Herbert Wichmann Verlag GmbH, Karlsruhe., 1991.
- /5/ Gruen, A.W. : Digital Photogrammetric Processing Systems Current Status and Prospects, ISPRS-88, 1988.
- /6/ Heipke, C., Rentsch, H., Würlander, R. : The Digital Orthophoto Map Vernagfferner 1990, Niversitatsverlag Wogner, Innsbruck, 1995.
- /7/ Mikuni, A : Digital Orthophotos: Production, Mosaicking and Hardcopy, Digital Photogrammetry, An Addendum to Manual of Photogrammetry, American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Maryland, 1996.
- /8/ Novak, K. : Rectification of Digital Imagery, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol.58, No. 3, March 1992. pp:33P-344, 1992.
- /9/ PCI Manuals : PCI OrthoEngine Release Notes, Canada.
- /10/ Softplotter Manuals : Softplotter, Spatial Data Production for Professional Mapping, USA

**EK-A : Stereo Model Koordinatları ile 1/5.000 Ölçekli TIN ile Üretilen Ortofotonun
Koordinatlarının Karşılaştırılması**

STEREO koordinatlar			5000TIN koordinatları			Karşılaştırma sonucu ortalama ve karesel ortalama hata								
x	y	z	x	y	z	dx	dy	d	dkare	dz	IdzI	dzkare		
419152.77	4555171.67	39.48	419152.00	4555169.88	35.58	0.77	1.79	1.95	3.815	3.91	3.91	15.249		
419219.50	4557888.32	99.82	419218.81	4557887.19	100.81	0.69	1.13	1.32	1.755	-0.99	0.99	0.970		
419332.46	4558046.17	53.65	419332.56	4558045.63	53.47	-0.10	0.54	0.55	0.307	0.18	0.18	0.031		
419359.24	4557656.59	121.00	419359.63	4557657.00	120.48	-0.39	-0.41	0.56	0.316	0.53	0.53	0.276		
419359.24	4557656.59	121.00	419359.63	4557657.00	120.48	-0.39	-0.41	0.56	0.316	0.53	0.53	0.276		
419377.07	4555586.64	65.37	419376.94	4555586.94	63.17	0.13	-0.30	0.33	0.106	2.20	2.20	4.840		
419386.92	4558228.96	1.81	419386.56	4558228.75	2.06	0.36	0.21	0.42	0.172	-0.25	0.25	0.062		
419386.95	4558228.73	1.90	419386.81	4558227.56	3.96	0.14	1.17	1.18	1.383	-2.06	2.06	4.227		
419443.50	4554742.25	21.98	419443.88	4554743.56	22.95	-0.38	-1.31	1.36	1.862	-0.97	0.97	0.947		
419454.14	4555930.06	90.34	419453.00	4555929.81	88.35	1.14	0.25	1.17	1.361	2.00	2.00	3.980		
419481.95	4555001.46	18.57	419482.75	4555001.44	19.13	-0.80	0.02	0.80	0.641	-0.56	0.56	0.314		
419496.25	4556812.51	84.33	419496.56	4556812.44	84.34	-0.31	0.07	0.32	0.103	-0.01	0.01	0.000		
419513.49	4557982.06	59.85	419513.75	4557982.00	60.00	-0.26	0.06	0.27	0.071	-0.15	0.15	0.023		
419569.24	4558182.61	2.04	419569.38	4558181.94	3.62	-0.14	0.67	0.69	0.470	-1.58	1.58	2.484		
419659.96	4555280.12	108.33	419657.50	4555278.38	103.48	2.46	1.74	3.02	9.097	4.85	4.85	23.542		
419708.51	4557549.28	63.18	419709.06	4557548.56	64.39	-0.55	0.72	0.90	0.819	-1.21	1.21	1.457		
419884.25	4554699.36	13.62	419885.13	4554700.56	15.93	-0.88	-1.20	1.49	2.210	-2.31	2.31	5.345		
420059.08	4557426.05	43.64	420060.00	4557425.44	44.99	-0.92	0.61	1.11	1.221	-1.35	1.35	1.814		
420212.07	4556708.22	19.83	420211.25	4556708.69	17.23	0.82	-0.47	0.94	0.891	2.60	2.60	6.770		
420272.05	4555073.04	91.91	420273.25	4555073.25	92.54	-1.20	-0.21	1.22	1.484	-0.63	0.63	0.392		
420279.82	4555607.91	104.08	420280.63	4555608.38	104.40	-0.81	-0.47	0.93	0.864	-0.32	0.32	0.099		
420296.68	4555286.21	87.63	420298.56	4555287.50	91.05	-1.88	-1.29	2.28	5.210	-3.42	3.42	11.676		
420390.47	4554530.85	23.08	420387.75	4554531.31	22.39	2.72	-0.46	2.76	7.612	0.69	0.69	0.471		
420401.00	4557061.22	29.77	420402.13	4557060.63	32.23	-1.13	0.59	1.27	1.620	-2.46	2.46	6.071		
420447.11	4557294.94	55.82	420447.31	4557295.00	55.20	-0.20	-0.06	0.21	0.045	0.62	0.62	0.382		
420512.79	4556489.28	6.31	420512.50	4556489.31	6.53	0.29	-0.03	0.29	0.085	-0.22	0.22	0.050		
420608.86	4556663.64	2.92	420609.88	4556663.19	11.37	-1.02	0.45	1.11	1.235	-8.45	8.45	71.470		
420632.71	4555983.44	56.86	420632.25	4555983.31	55.89	0.46	0.13	0.48	0.228	0.97	0.97	0.939		
420786.87	4554744.09	58.52	420787.19	4554745.56	60.75	-0.32	-1.47	1.51	2.268	-2.23	2.23	4.986		
420799.74	4555105.48	83.76	420799.31	4555105.25	83.39	0.43	0.23	0.49	0.235	0.37	0.37	0.138		
420942.07	4555146.68	102.42	420942.31	4555144.81	98.46	-0.24	1.87	1.88	3.549	3.96	3.96	15.713		
421016.68	4554741.75	77.57	421016.81	4554740.69	76.29	-0.13	1.06	1.07	1.148	1.28	1.28	1.646		
421073.99	4555732.63	62.43	421073.69	4555732.94	63.12	0.30	-0.31	0.43	0.186	-0.69	0.69	0.473		
421099.41	4556229.16	3.18	421099.13	4556229.00	5.26	0.28	0.16	0.33	0.107	-2.08	2.08	4.306		
421202.45	4555080.19	93.10	421202.56	4555080.75	94.32	-0.11	-0.56	0.57	0.326	-1.22	1.22	1.481		
421253.75	4554756.88	79.90	421253.75	4554757.56	80.87	0.00	-0.68	0.68	0.465	-0.97	0.97	0.947		
421410.69	4555548.44	9.47	421410.63	4555549.00	11.84	0.06	-0.56	0.56	0.318	-2.37	2.37	5.593		
421419.85	4554380.47	11.10	421419.81	4554382.44	13.53	0.04	-1.97	1.97	3.871	-2.43	2.43	5.905		
421933.84	4554824.83	15.67	421932.69	4554823.75	13.67	1.15	1.08	1.58	2.494	2.00	2.00	4.004		
									toplam	40.25	60.01		65.4	209.195
									OH :	1.032			1.68	
									KOH :		1.257			2.316