

**FARKLI KAYNAKLARDAN DEĞİŞİK YÖNTEM VE ÖLÇEKLERDE ÜRETİLEN
SAYISAL YÜKSEKLİK MODELLERİNİN DOĞRULUK ARAŞTIRMASI**
(ACCURACY ASSESSMENT OF DIGITAL ELEVATION MODELS, PRODUCED IN
DIFFERENT SCALES FROM DIFFERENT SOURCES BY USING VARIOUS
TECHNIQUES)

Erhan ÖZTÜRK¹, Erdal KOÇAK²

¹Harita Genel Komutanlığı, Ankara

²Birlik mah. Vadi 300 sitesi C Blok d.4 Çankaya, Ankara

erhan.ozturk@hgk.mil.tr

ÖZET

Farklı kaynaklardan değişik yöntem ve ölçeklerde üretilen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) doğruluğu ile ilgili çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Bu çalışmada, farklı yöntemler ve girdiler denenerek SYM'lerden daha iyi bir doğruluğun elde edilmesi amaçlanmıştır. Bu amacı gerçekleştirmek için 1/35.000 ve 1/16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik korelasyonla 20m, 10m, ve 5m, aralıklı SYM'ler ile, 1/35.000 ve 1/16.000 ölçekli hava fotoğrafları ile oluşturulan stereo modeller kullanılarak kıymetlendirilmiş 5m ve 10m aralıklı eşyükseklik eğrilerinden üretilen 20m, 10m, ve 5m, aralıklı SYM'lerin doğruluğu araştırılmıştır. Temel amaç, değişik ölçek ve çözünürlükteki kaynaklardan elde edilen verilerin, SYM'nin doğruluğuna etkilerini test etmektir. SYM doğruluğunu test etmek için, referans veri olarak 1/16.000 ölçekli hava fotoğraflarından oluşturulmuş stereo modellerden 5m aralıklı kıymetlendirilmiş 1/5.000 ölçekli eşyükseklik eğrileri kullanılmıştır. Referans veriden üretilen SYM diğer SYM'lerin içine dahil edilmiş, farkları alınarak karşılaştırılmışlardır. Yapılan karşılaştırmalardan hata histogramları ve istatistiksel sonuçlar elde edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Sayısal Yükseklik Modeli(SYM), Otomatik Korelasyon.

ABSTRACT

Various researches have been made about accuracy assesment of digital elevation models (DEM) that had been produced in different scales by using different tecniques. In this study, different techniques and input data were tested to get better accuracy from DEMs. DEMs with 20m, 10m, 5m interval were produced by using automatic correlation from 1/35.000, 1/16.000 scaled aerial photographs. Besides, DEMs with 20m, 10m, 5m interval were produced from contours with 5m, 10m interval from 1/35.000, 1/16.000 scaled aerial photographs by stereo digitizing. The aim of this study is to investigate the effect of the source data on DEMs. 1/5.000 scaled DEMs with 5 m interval which were digitized from 1/16.000 scaled stereo models were used as the reference data. The error histograms between the reference and the other DEMs were calculated and statistical results were obtained.

Key Words: Digital Elevation Model(DEM), Automatic Correlation.

1. GİRİŞ

Bilgisayar teknolojisindeki gelişmelere koşturarak; yirminci yüzyılın ortalarında, yeryüzünün sayısal temsil edilmesi anlamına gelen Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) kavramının matematiksel yapısı üzerindeki çalışmaların da yoğunlaştığı görülmektedir.

SYM yöntemleriyle tanımlanan yeryüzü bilgilerinin, yüzey üzerinde haritacılık ve planlama faaliyetlerinde bilgisayar desteği ve aynı zamanda çizgi harita örneklerine göre üstün olanaklar sağlaması nedeniyle, kullanımı giderek yaygınlaşmaktadır. SYM teknikleri, deterministik olmayan bir yüzeyi matematiksel bir fonksiyonla ifade etmiş olmasından ötürü, haritacılık dışında çeşitli disiplinler tarafından da günümüzde yaygın olarak kullanılmaktadır.

SYM oluşturulmasının zaman ve maliyet açısından en önemli adımı, tasarlanan yüzeyi yaratacak dayanak noktalarının, üç boyutlu koordinatlarının ilgili yüzey üzerinden ölçülerek elde edilmesidir. Bu değerlerin yersel ölçmelerle derlenmesi küçük alan çalışmalarında kabul edilse bile, büyük alanlarda ekonomik bir üretim yöntemi olmayacaktır. Bu nedenle, dayanak noktalarının fotogrametrik yöntemlerle üretilmesi gündeme gelmiş ve bu alandaki teknikler hızla gelişmiştir. SYM oluşturma işlemleri günümüzde uygulama alanına giren sayısal fotogrametri ve uydu görüntü teknikleri sayesinde bilgisayar desteği ile beraber görüntü işleme yazılımları ile her geçen gün gelişerek yaygın biçimde kullanım alanına girmektedir.

SYM oluşturmada, arazinin morfolojik yapısı, dayanak noktaları derleme biçimi, modeli oluşturan matematiksel fonksiyonun yetkinliği gibi faktörler, yaratılan yüzeyin gerçek yüzeye uyumunu daima tartışılır kılmaktadır. Bu çalışmada, çeşitli ölçek ve kalitede sayısal vektörel haritalar ve hava fotoğrafları kullanılarak değişik yöntemlerle SYM verilerinin elde edilmesi, kullanımı, karşılaştırılması, oluşan fonksiyonların analizi ve bu verilerin doğruluğu ele alınmıştır.

2. SAYISAL GÖRÜNTÜ İŞLEME

Sayısal görüntü işleme denildiğinde, görüntüler üzerinde görüntünün kalitesini artıran, görüntü zenginleştirme, histogram analizi, kontrastlık işlemlerinin yapılması gibi sayısal işleme adımları olan görüntü işleme tekniklerinin uygulanması akla gelir.

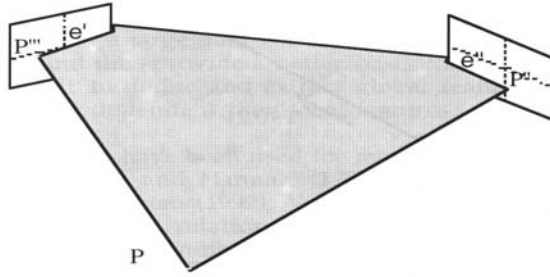
a. Epipolar Geometri

Fotogrametrik görüntüyle işlem yapılırken genellikle merkezi perspektif projeksiyon yöntemi kullanılır. Merkezi perspektif projeksiyon, epipolar geometri olarak adlandırılan çok önemli bir sınırlama sağlar (Şekil 1). İki görüntü dikkate alınırsa, üç boyutlu uzayda epipolar düzlem, bu obje noktasını ve her iki görüntünün projeksiyon merkezini içeren düzlem olarak tanımlanır. Bu düzlem, her iki görüntüyü epipolar doğru olarak adlandırılan doğrularla keser. Eğer iki görüntünün de karşılıklı yöneltmesi biliniyorsa, bir görüntüde verilen bir nokta için diğer görüntüde epipolar

doğru hesaplanabilir ve bu noktaya karşılık gelen nokta mutlaka epipolar doğru üzerinde bulunur.

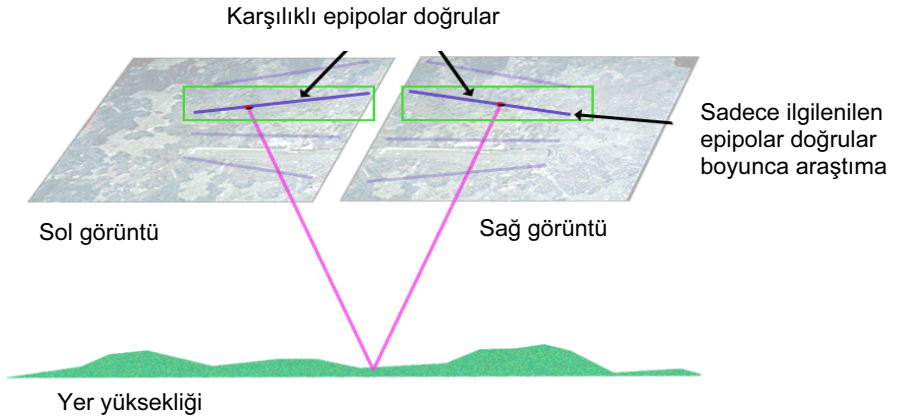
Böylece görüntü eşleme problemi, iki boyutlu işlemden bir boyutlu bir işleme dönüşür. Epipolar doğrular boyunca eşlemeyi kullanabilmek için, her iki görüntü bütün stereo modelde düşey veya y-paralaksı giderilerek normal duruma dönüştürülmelidir.

Sonuç olarak, eşlemenin sadece baz doğrusu yönünde yapılması gerekir. Epipolar sınırlamayı kullanabilmek için bir ön işlem gerekli değildir. Bir görüntüde verilen bir nokta için, diğer görüntüdeki epipolar doğru karşılıklı yöneltme parametreleri kullanılarak hesaplanabilir ve eşleme bu epipolar doğrular boyunca sürdürülür.



Şekil 1. Epipolar sınırlama, epipolar düzlem (P,P',P'') ve epipolar doğrular e' ve e''.

Epipolar sınırlama, belirsizlik problemlerinin çözümü ve hesaplama süresini azaltmak için çok önemlidir. Karşılıklı yöneltme parametrelerinin yaklaşık değerleri bilinse bile, eşlenik noktalar için baza dik doğrultuda araştırma alanını azaltmak amacıyla epipolar sınırlama kullanılmalıdır (Şekil 2). Epipolar sınırlamanın sadece görüntü çiftleri için hesaplanabildiği göz önünde bulundurulmalıdır (Heipke, 1996).



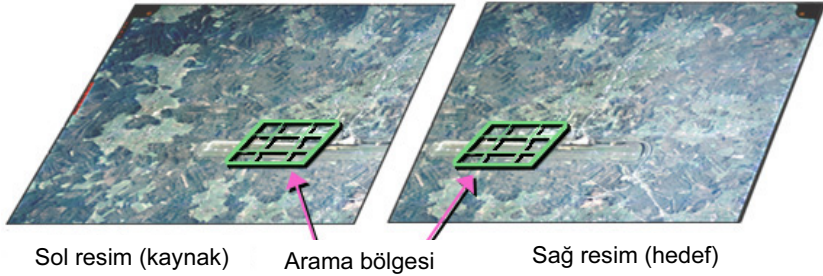
Şekil 2. Epipolar eşleme.

b. Görüntü Eşleme

Eşleme terimi; eşitini ya da benzerini bulmak veya yapmak anlamına gelir. Aynı şekilde eşleme problemi de, ilişki kurma olarak ifade edilir. Görüntüler, haritalar, obje modelleri ve Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) verileri veri setlerini oluşturur. Sayısal görüntü eşleme, en azından kısmen aynı alanı kapsayan iki veya daha fazla dijital görüntüden elde edilen temel elemanlar arasındaki ilişkinin otomatik olarak kurulmasıdır (Şekil 3). Temel elemanlar, görüntülerden çıkarılan detaylar veya gri düzey ton pencereleri olabilir.

Görüntü eşleme ile ilgili ilk çalışmalar 1950'li yılların sonlarında başlamıştır. Temelde çözüm analog yöntemle dayanmakta olup, korelatörler donanımsal olarak stereo modeldeki gri seviyelerini karşılaştırmaktaydı. Eşleme probleminin sonuçlanmasının neden çok uzun zaman aldığı düşünülebilir. Bu soruya verilecek ilk cevap, piksel olarak adlandırılan en temel görüntü elemanının bilgi içeriği dikkate alınarak açıklanabilir. 15 µm ile taranan bir hava fotoğrafı yaklaşık olarak 285 milyon pikselden ve her bir gri tonu da 0 - 255 arasında bir değeri oluşur. Bu değerlerin büyüklüğü, tek tek piksellere dayalı bir eşlemenin imkansız olduğunu göstermektedir. Bu nedenle görüntü eşlemede farklı yöntemler geliştirilmiştir (Heipke, 1996).

Fotogrametrik işlem adımlarının çoğunluğu bir şekilde eşleme ile ilişkilidir. İç yöneltmede fotoğraf kenar göstergesinin iki boyutlu modelinin eşlenmesi, karşılıklı yöneltmede ve fotogrametrik nirengide nokta transferi, sayısal arazi modellerinde bir görüntü bölümünün diğer görüntü bölümleriyle eşlenerek üç boyutlu arazi noktalarının elde edilmesi eşlemeye verilebilecek örneklerdir.



Şekil 3. Görüntü eşleme.

c. Eşleme Yöntemleri

(1) Alana Bağlı Eşleme

Alana bağlı eşlemedeki varlıklar gri seviyelerdir. Buradaki düşünce, görüntü parçası adı verilen küçük bir görüntü alanındaki gri düzey dağılımının diğer görüntüde karşılık gelen parçasıyla karşılaştırılmasıdır. Görüntülerden birinde kalıp adı verilen görüntü parçası genellikle sabit konumda kalmaktadır.

Kalıp ile karşılaştırılacak olan görüntü parçalarının kapladığı alan tarama penceresi veya eşleme pencereleri olarak adlandırılır. Karşılaştırma çeşitli benzerlik ölçüm kriterleri ile gerçekleştirilir. Çapraz korelasyon ve en küçük kareler eşlemesi en iyi bilinen iki kriterdir (Schenk, 1996; Gruen, vd., 1998). Karşılıklı görüntü alanları, farklı görüntü istasyonlarında aynı arazi kesiminin görüntüsü olarak gri değer sunumunda bazı benzerlikler gösterirler. Görüntüden görüntüye doğrudan eşleme yöntemi, alan eşlemesinin en basit durumudur. Alana bağlı eşleme yöntemleri çok yüksek doğruluk elde etme olanağı sağlar. Pencere boyutuna ve eşlenmiş görüntüler arasındaki benzerliğe bağlı olarak 0.1 pikselden daha iyi eşleme doğruluğu, genelde 0.05 ve daha iyi doğruluklar elde edilebilmektedir. Alana bağlı eşleme görüntüler arasındaki benzerlik derecesine bağlıdır. Düzlem arazi alanlarında daha iyi geometrik model uygulanmadıkça, alana bağlı eşleme yöntemi ile ideal bir çözüm sağlanmaktadır. Aynı nedenle pencereler küçük tutulmalıdır. Pratikte eşleme alanları 10 pikselden 20 piksele kadar doğrusal olarak değişir. Ayrıca alan eşleme yöntemlerinin küçük bir birleşme yarıçapı vardır. Eşlemede, 2-3 piksellik çok iyi başlangıç yaklaşımına gereksinim duyulur.

Alana bağlı eşleme düzgün dokulu görüntü bölümlerinde yüksek bir doğruluk potansiyeline sahiptir. Gri tonların aydınlatma vb. nedenlerle ortaya çıkabilecek radyometrik değişimlere duyarlılığı, eşlemede çeşitli lokal uçları da içeren büyük bir araştırma alanının kullanılması ve ele alınması gereken veri hacminin büyük olması, bu eşleme yönteminin zayıf taraflarını oluşturmaktadır. Örtülü alanlarda ve zayıf dokularda kaba hatalar ortaya çıkabilir.

Alana bağlı eşlemede kabul edilen iki yöntem bulunmaktadır :

(a) Çapraz Korelasyon

Fotogramride karşılıklı noktaların bulunmasında uygulanan korelasyon tekniklerindeki temel düşünce, kalıp ile eşleme penceresi arasındaki benzerliğin korelasyon faktörünün hesaplanması sonucu ölçülmesidir.

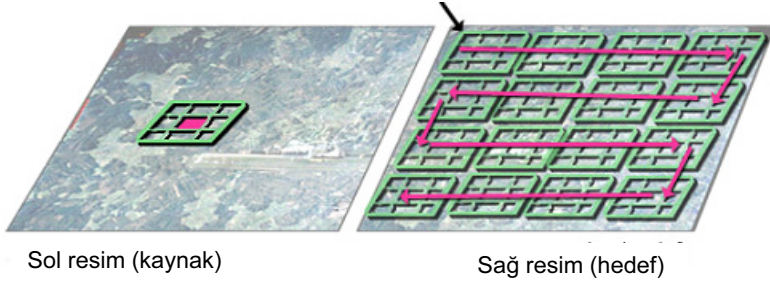
Daha gerçekçi bir yaklaşım, çapraz korelasyon tekniğidir (Şekil 4). İki pencerenin çapraz korelasyon fonksiyonunu hesaplamak için bir kalıp pencere daha büyük bir araştırma penceresi boyunca piksel piksel gezdirilir. Her bir konum için kalıp pencere ile araştırma penceresinin ilgili bölümü arasında (1) eşitliği ile hesaplanan bir ρ çapraz korelasyon katsayısı bulunur. Çapraz korelasyon fonksiyonunun maksimum değeri, kalıp ve araştırma pencereleri arasındaki en iyi eşleme durumunu ifade eder.

$$\rho = \frac{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g1(r,c) - \mu1)(g2(r,c) - \mu2)}{\sqrt{\sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g1(r,c) - \mu1)^2 \sum_{r=1}^R \sum_{c=1}^C (g2(r,c) - \mu2)^2}} ; -1 \leq \rho \leq +1 \quad (1)$$

- $g1(r,c)$: Kalıp matrisinin tek tek gri tonları,
 $\mu1$: Kalıp matrisinin ortalama gri tonu,
 $g2(r,c)$: Araştırma matrisinin ilgili bölümünün tek tek gri tonları,
 $\mu2$: Araştırma matrisinin ilgili bölümünün ortalama gri tonu,
 R, C : Kalıp matrisinin satır ve sütun sayısı.

Çeşitli eşleme algoritmaları arasındaki en önemli fark, eşlemede kullanılan temel elemanların farklı olmasıdır.

Hedef görüntüdeki pikseller uygun bir eşleme yapmak için kaynak görüntüdeki piksellerle karşılaştırılır.



Şekil 4. Çapraz korelasyon.

Çapraz korelasyon, uygulaması kolay ve hesaplanması hızlı bir yöntemdir. Çapraz korelasyon faktörü (1) bağıntısı kullanılarak tarama penceresindeki bütün eşleme penceresi konumlarındaki ρ değerlerinin hesaplanması ile belirlenir. İkinci aşamada ise en yüksek korelasyon faktörünü sağlayan (r,c) konumu belirlenir. Çapraz korelasyon fonksiyonunun maksimum sonucu, kalıp ve araştırma pencereleri arasındaki en iyi eşleme durumunu ifade eder. Eğer tarama penceresi epipolar hattı ile zorlanmış ise korelasyon faktörleri grafik olarak çizilebilir (Schenk, 1996; Gruen, vd., 1998; Gerhard, vd., 1991).

(b) En Küçük Kareler Eşlemesi

En küçük kareler eşlemesi ile ilgili ilk uygulamalar 1980'lerin ortalarında Almanya'daki araştırmacılar tarafından gerçekleştirilmiştir. Buradaki temel düşünce, konum ve eşleme penceresi şekline ait parametrelerin dengelemeli olarak belirlenerek, kalıp ve eşleme penceresi arasındaki gri seviye farklarının minimize edilmesidir. Matematiksel model olarak genellikle affin transformasyonu kullanılmaktadır. Yani sabit kalıp ile değişken pencere arasındaki gri seviye farkları en küçük değere ulaşmadıkça eşleme penceresinin şekli ve konumu değişmektedir.

Bütün görüntüyü kapsayacak şekilde optimum bir matris boyutunun kullanılabilmesi nadiren karşılaşılan bir durumdur. Karşılık gelen nokta bulunmadıkça ve eşleme penceresinin hareket ettirilmesi fikri tam olarak yakalanmadıkça, değişken pencere oranı açık olarak gözükmebilir. Eşleme penceresinin şeklinin değişmesi; bilinmeyen yöneltme parametreleri, eğik yüzey parçaları, yüksekliği değişen yüzey

parçaları,vb. kaynaklanan çeşitli geometrik sapmaları tartıştıktan sonra açıklığa kavuşacaktır; böylece penceredeki bütün pikseller karşılık geldikleri kalıptakilerle çakışacaktır. Bu yöntemin avantajı yüksek doğruluğu ve güvenirliliği olup, dezavantajı ise yüksek hesap yükünün olması nedeniyle yavaş olması ve çok iyi yaklaşık değerlere ihtiyaç göstermesidir. Yakın yaklaşık değerlerin kullanılabilmesinde yardımcı olarak görüntü piramitleri kullanılmaktadır (Schenk, 1996; Gruen, vd., 1998; Kraus, Waldhausl, vd., 1993). Eşleme yöntemleri, benzerlik ölçümleri ve eşleme varlıkları arasındaki ilişkiler Tablo 1’de gösterilmiştir (Schenk, 1996).

Tablo 1. Eşleme yöntemleri, benzerlik ölçümleri ve eşleme varlıkları arasındaki ilişkiler.

EŞLEME METODU	BENZERLİK ÖLÇÜMÜ	EŞLEME VARLIKLARI
Alana bağlı	Korelasyon ,EKY	Gri seviyeler
Detaya bağlı	Maliyet fonksiyonu	Kenarlar
Sembolik	Maliyet fonksiyonu	Sembolik tanımlar

(2) Detaya Bağlı Eşleme

Detaya bağlı eşlemede, karşılık gelen varlıklar orijinal gri seviye görüntüsünden türetilmiş özelliklerdir. Bu özellikler detay noktalarını, kenarları ve bölgeleri ihtiva etmektedir. Kenarlar özellikle fotogrametride sıkça kullanılan detaylardır. İgi noktaları olarak da adlandırılan detay noktaları popüler olmasına rağmen bu detay noktalarını eşleme tam olarak detaya bağlı eşlemenin kriterlerini sağlayamamaktadır. Detaya bağlı eşleme yöntemi bütün görüntülerdeki detayların tespit edilmesi ve detayların eşlenmesi olmak üzere iki adımdan oluşmaktadır (Gruen, 1998)

Kenarlar görüntüdeki ışık farklarına karşılık gelmektedir. Bu farklar ani olabilir veya uzayan bir alan üzerinde olabilir. İdeal olarak bir operatör ani ve düzgün kenarları tespit edebilmelidir. Digital görüntülerdeki dağınık fonksiyonlar gibi türevleri belirlenmesi ya da n-dereceli farkların belirlenmesi için ışık fark miktarları bulunmaktadır. Farkları almak gürültüyü arttırmaktadır, bu nedenle kenar operatörleri gürültüye karşı duyarlıdır. Önceden yapılması gereken bir başka işlem ise gürültünün etkisini azaltmak için görüntünün yumuşatılmasıdır.

Noktaları sistematik olarak ortaya çıkarmaya yarayan matematiksel bir ifade olan operatör, her görüntü için uygun olacak şekilde seçilip kullanarak grup görüntü detayları ayrı ayrı çıkarılır. İkinci adımda, bindirilmiş görüntü alanında eşlenik noktalar ayrıştırılır. Eşlemede, şekil ve detaylardaki benzerlik gibi kriterler kullanılır ve buna göre ağırlıklar verilir. Bazı metotlar alt piksel doğruluğunda sonuçlar vermektedir, fakat alana bağlı eşlemenin derecesine ulaşamamaktadır (Schenk, 1996; Gruen, vd., 1998; Kraus, Waldhausl, vd., 1993).

Detay çıkarmanın sonucu, bir detay listesi ve onların her bir görüntüdeki tanımları olarak ortaya çıkar. Sonraki işlemede yalnızca bu listeler ele alınır. Çıkarılan detaylar konumdan ayrı bir fonksiyondur; yani detay çıkarmadan sonra verilen bir konumda, bir detay vardır veya yoktur.

(3) Sembolik Eşleme

Sembolik eşlemede, detayların birbirine göre olan komşuluk, geometrik, diğer ilişkilerini ve topolojilerini esas alan ve yanılma oranı yüksek olduğu için, yüksek doğruluk gerektiren uygulamalarda kullanılmayan ve iyi yaklaşımlara ihtiyaç duymayan bir yöntemdir (Gruen, 1998; Kraus, Waldhausl, vd., 1993).

Sembolik eşleme, görüntülerin sembolik tanımlarını karşılaştırır ve bir maliyet fonksiyonuyla benzerlikleri ölçer. Sembolik tanımlar gri katmanlara veya türetilmiş detaylara başvurur. Onlar grafik, ağaç veya anlamsal ağlar olarak gösterilirler. Diğerlerinin tersine, sembolik eşleme geometrik benzerlik özelliklerine katı bir şekilde bağlı değildir. Bir benzerlik kriteri olarak şekil veya konumu kullanma yerine topolojik özellikleri karşılaştırır.

3. SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ

Yeryüzü, matematiksel olarak tanımlanamayan üç boyutlu düzensiz bir yüzeydir. Bu yüzeyin tanımlanabilmesi için sonsuz sayıda noktaya gereksinim vardır. Bu da olanaksız olduğundan, belirli sayıdaki nokta kümesi seçilir ve yüzey bu noktalardan yararlanılarak matematiksel olarak temsil edilmeye çalışılır. Yeryüzünün bu biçimde temsili Sayısal Arazi Modeli (SAM) olarak tanımlanır ve yüzeyin bu biçimde temsili yerbilimlerinde, çok sayıda mühendislik alanında, askeri uygulamalarda ve diğer birçok alanda yaygın olarak kullanılır (Alp, 1998).

Sayısal arazi modeli kavramı ilk olarak, 1958 yılında Miller ve Laflamme tarafından yol projelerinin sayısallaştırılması amacıyla ortaya atılmıştır. Başlangıçta uygulamalar, eşyükseklik eğrilerinin oluşturulması ile sınırlı kalmıştır. Genel olarak grafik işlemlerden bilgisayar işlemlerine geçilmesi ile SAM veya SYM tek başına bir ürün olmuştur. Burada SYM ve SAM kavramları arasında, bazı ülkelerde kullanıldığı gibi herhangi bir ayrıma gidilmemiş ve çalışmada SYM ifadesinin kullanılması yeğlenmiştir (Ackerman, 1996; Özer, vd., 1989).

Literatürde SAM için çok sayıda tanım bulmak mümkündür. SAM kısaca, yüzeyin sayısal olarak gösterimi demektir. Diğer bir tanımda SAM, yüzeyi temsil eden sayılar dizisi olarak açıklanır. Bazı kaynaklarda, yüzey özelliklerinin ve görünümünün gösteriminde bir çözüm yöntemi olarak ifade edilmektedir. SAM'ın elde edilmesinde hemen her adımda bilgisayar kullanımı kaçınılmaz olduğundan "SAM, yeryüzünün bilgisayarla yapılacak işlemlere esas olmak üzere sayısal olarak temsili" şeklinde de tanımlanmaktadır. Bu tanım, pratikte en yaygın kullanılan ve planimetrik bilgiler yanında, yükseklik bilgilerini de içeren geniş anlamdaki SAM tanımı ile yalnızca yükseklik bilgilerini içeren dar anlamdaki SAM tanımını da içermektedir. SAM terimi, daha çok yükseklik kavramı için kullanıldığından, bu terim ile eş anlamlı olmak üzere, Sayısal Yükseklik Modeli (SYM), Sayısal Zemin Modeli (SZM), Sayısal Arazi Yükseklik Modeli (SAYM) terimleri de kullanılmıştır (Alp, 1998).

Sayısal arazi modeli gerçekte, arazinin topoğrafik yüzeyinin, matematiksel tanımlanabilen bir yüzeyle temsil edilmesi problemidir. Bu problem, topoğrafik yüzey

üzerinde üç boyutlu koordinatlarıyla tanımlanmış dayanak noktalarına bağlı olarak çözülebilmektedir (Koçak, 1988). Sayısal arazi modelinin gerçek topoğrafyaya uygunluğu, bu modelin dayandığı dayanak noktalarının uygun sıklıkta ve özelliklerde derlenmesine bağlıdır.

Arazi üzerinde, arazinin morfolojik yapısını oluşturan su toplama ve su ayrımı çizgilerini belirleyen noktalar ile eğimin değiştiği yerleri belirleyen noktaların dayanak noktaları olarak alınması durumunda, bu noktalara dayalı olarak oluşturulan model şüphesiz topoğrafik yüzeyle daha uyumlu olacaktır. Ancak, oluşturulacak modelin topoğrafik yüzeyle uygunluğunu sağlamak için çok sayıda örnekleme noktasının seçimi de yöntemin özü ile uyuşmamaktadır (Koçak, 1988).

Sayısal yükseklik modeli işlemleri üç gruba ayrılarak incelenebilir:

- Verilerin toplanması,
- SYM oluşturma,
- Bilgilerin depolanması ve sergilenmesi.

SYM üretimi fotogrametride önemli bir işlemdir. SYM'ler tek başına birer ürün olduğu kadar, ortofoto gibi ikinci ürünlerin oluşturulmasında da kullanılmaktadır. Dijital fotogrametri, SYM'lerin otomatik olarak toplanması için ideal bir yöntemdir. Bilgisayar kapasitelerinin yeterli olduğu günlerden itibaren, araştırmacılar otomatik SYM toplama üzerinde çalışmışlardır. Kabul edilebilecek doğruluk sınırları içerisinde birçok uygulamada otomatik olarak SYM toplanmaktadır. SYM'ler veya SAM'lar, dijital anlamdaki nokta ve çizgi elemanları ile arazi yüzeyinin geometrik gösterimini sağlarlar. SYM'ler, değişik enterpolasyon yöntemleri ile bütünlenen kare veya dikdörtgen yapıdaki düzenli grid deseni veya düzensiz üçgen ağ yapısı ile temsil edilirler (Ackerman, 1996). Bir yüzey için SYM'nin elde edilmesi, bu yüzey üzerinde rasgele dağılmış ve (x,y,h) koordinatları bilinen noktaların var olmasını gerektirir. Bu noktalara "dayanak" ya da "örnekleme noktaları" adı verilir. SYM'ler genellikle arazi yüzeyini $z=f(x,y)$ gibi tek değer fonksiyonu ile temsil ederler. Yani bir (x,y) konumundan, SYM gridinden sadece bir z değeri türetilir.

Bütün SYM programları çeşitli sistemlerin karşılaştırılmasında yararlı kriterler olan bir takım kabuller ve sınırlandırmalar kullanmaktadır. Dijital fotogrametri alanında çalışan bazı araştırmacılar, en küçük kareler eşlemesi ile radyometrik modelin geometrik modele eklenmesiyle stereo ve gölgelendirmenin bütünleşmesini önermişlerdir. Bununla birlikte SYM üretimindeki geçerli metod stereo olarak kalmıştır (Schenk, 1996). Stereo modellerden otomatik SYM üretimi aşağıdaki üç işlem adımından oluşmaktadır:

- Karşılıklı (eşlenik) noktaların bulunması,
- Yüzeyin enterpolasyonu ve sıklaştırılması,
- SYM'nin kontrolü ve editlenmesi.

Karşılıklı noktaların bulunması işlemi, görüntü eşleme bazen de görüntü korelasyonu olarak adlandırılır. Birinci adımda elde edilen noktalar tam dağılım gösterememekte ve yüzeyi tam olarak temsil edememektedir. Görüntüdeki bütün pikseller seçilse bile

eşlemenin başarılı olmadığı yerlerde boşluklar meydana gelecektir. Bu nedenle üç boyutlu noktaların enterpole edilmesi gerekmektedir. Bu enterpolasyon işlemine yüzey uydurma adı verilmektedir. İşlem bir kere başlatıldığında ilk iki işlem için genellikle operatör müdahalesi gerekmemekte, ancak üçüncü işlem tamamen operatör müdahalesiyle gerçekleştirilmektedir.

a. Sayısal Yükseklik Modelleri İçin Doğruluk Standartları

Arazinin tipine veya SYM boyutuna bağlı olarak SYM doğruluğu hakkında kabul edilen bir kriter bulunmamaktadır. Klasik yöntemle üretilen haritalarda eşyükseklik eğrisi aralıkları ile eşyükseklik doğruluğu arasında tanımlanmış ilişkiler mevcuttur. Sadece grid boyutunun özellikleri ile ilgili olarak belirgin olmayan kurallar bulunmaktadır. Örneğin 5 metre aralıklı bir gridin çok doğru olduğu düşünülürse, düzgün arazi yapısında SYM verilerinin karesel ortalama hatasınının 10 ila 25cm ve kayalık alanların dışında engebeli arazi yapısında ise bunun yaklaşık iki katı daha fazla olacağı belirtilmektedir. 10m ve 50m aralıklı 3 üncü düzey SYM verilerinin karesel ortalama hatası $\pm 0.5m$, düzgün arazide ise $\pm 2.5m$ arasında tahmin edilmektedir. SYM gridi ile ilgili olarak genel bir kural koymak yararlı olacaktır. Düşey doğruluk, doğrusal grid boyutunun düzgün arazilerde $1/20'$ si kadar, engebeli arazilerde $1/10'$ u kadarına karşılık gelmelidir. SYM'lerin yanlış değerlendirilmesini engellemek amacı ile bu şekildeki bağlantıların araştırılması ve belirlenmesi tavsiye edilmektedir. SYM amaçlı veri elde etmedeki en büyük sorun istenen doğruluğu elde etmek için gözlenen noktaların hangi yoğunlukta belirleneceğidir (Ackerman, 1996).

Çizgisel haritalar için oluşturulan standartlar SYM'ler için de iyi bir örnek oluşturmaktadır. Yalnız bir problem şudur: Harita standartları daima ölçekle ilişkili olmasına rağmen, SYM verileri, verilen hassas koordinat terimleri ile ifade edildiğinden ölçekten bağımsızdır. Ley, SYM'de ölçeğe eş olarak grid nokta ayırımı veya yatay çözünürlüğü önermektedir. Ayrıca 30m den 100m ye kadar nokta ayırımları $1/50.000'$ den $1/250.000'e$ kadar harita ölçeklerine eşittir. Sonra, doğruluğu, grid nokta uzaklığının bir fonksiyonu olarak düşünür. Örneğin; grid nokta yüksekliklerinin standart hatası, birinci sınıf bir doğruluk için grid nokta aralıklarının üçte biri olmalıdır. Bu yaklaşım, sadece grid bazlı SYM'nin , grid yükseklik değerlerinin fotogrametrik veya yersel ölçme yöntemleriyle doğrudan derlendiği yerlerde geçerli olduğu görülmektedir. Grid nokta değerleri orijinal rasgele dağılmış veriden enterpole edildiği yerlerde çoğu SYM paketi, kullanıcıya nokta aralıklarını seçme olanağını sunmaktadır. Açıkçası bu işlem, girdi verilerinin yoğunluk ve dağılımına bağlı olarak yapılmalıdır. Nokta aralıklarını azaltmanın, doğrulukta bir iyileşmeye sebep olmayacağı açıktır (Ackerman, 1996)

4. UYGULAMA

SYM'nin doğruluğunun araştırılması amacıyla yapılan uygulama çalışmasında, Ankara Gölbaşı bölgesine ait mevcut çeşitli ölçek ve kalitedeki sayısal vektörel haritalar ve hava fotoğrafları kullanılmış ve bu kaynaklardan yararlanarak SYM verilerinin değişik yöntemlerle elde edilmesi, kullanımı, karşılaştırılması, üretilen SYM verilerinin kalitesi ve doğruluğu hakkında bilgi sahibi olunması amaçlanmıştır.

Çalışma alanına ait 1/16.000 ve 1/35.000 ölçekli siyah-beyaz hava fotoğraflarından otomatik korelasyonla 5, 10 ve 20m aralıklı, yine aynı bölgeye ait 1/5.000 ve 1/25.000 ölçekli sayısal vektörel haritalardan 5, 10 ve 20m aralıklı SYM verisi üretilmiştir. Gerek üretilen SYM'lerin karşılaştırılmasında gerekse referans verinin seçilmesinde kullanılmak üzere, 1/16.000 ölçekli hava fotoğraflarından stereo olarak hassas yaklaşmayla çalışma sahası içerisine homojen olarak dağılmış ve yer kontrol noktası adı altında 257 adet nokta tespit edilmiştir. Bu noktalar üretilen SYM'lerin içerisine dahil edilerek farklar hesaplanmış, bu çalışmanın sonunda 1/5.000 ölçekli sayısal vektörel haritalardan elde edilen SYM verisi referans veri olarak alınmıştır. Elde edilen referans SYM verisinden üretilen diğer SYM verilerinin farkları alınarak karşılaştırmalar yapılmış, SYM verilerinin kalitesi ve doğruluğu incelenmiştir.



Şekil 5. Çalışma alanının görünümü.

Çalışma alanının arazi yüksekliği 970m ile 1250m arasında değişmektedir. Bu alan seçilirken hem 1/16.000 hem de 1/35.000 ölçekli hava fotoğraflarının bindirmeli olarak aynı bölgeyi kapsamasına, arazi detaylarının bir arada bulunabildiği bir alan olmasına özen gösterilmiştir (Şekil 5).

a. İş Akışı

Öncelikle, çalışma alanına ait 1/16.000 ve 1/35.000 ölçekli hava fotoğrafları ve gerekli proje bilgileri sayısal çalışma istasyonlarında Vision Softplotter dijital fotogrametri yazılımında değerlendirilerek stereo modeller oluşturulmuştur. Stereo modellerin oluşturulmasını müteakip çalışmada kullanılmak üzere otomatik korelasyon yöntemiyle Erdas Imagine görüntü işleme yazılımında kullanılabilecek

yapıda 5, 10, 20m aralıklı SYM' ler üretilmiştir. 1/16.000 ölçekli hava fotoğraflarından oluşturulan stereo modeller kullanılarak 1/5.000 ölçeğinde 5m aralıklı eşyükseklik eğrisi çizilmiş, 1/35.000 ölçekli hava fotoğraflarından oluşturulan stereo modeller kullanılarak 1/25.000 ölçekli standart topoğrafik haritalardan taranarak elde edilen 10m aralıklı eşyükseklik eğrisi editlenmiştir.

Referans veri olarak kabul edilecek SYM'nin belirlenmesi, kalite ve doğruluk karşılaştırılmasında kullanılmak üzere öncelikle çalışma sahasında homojen olarak dağılmış 257 adet nokta, Yer Kontrol Noktası olarak kullanılmak üzere, 1/16.000 ölçekli hava fotoğraflarından oluşturulan stereo modeller üzerinden hassas yaklaşma yapılarak toplanmıştır.

Çizilen eşyükseklik eğrilerine editleme işlemi yapılmıştır. Editlenen eşyükseklik eğrileri PCI-Geomatica görüntü işleme yazılımı kullanılarak Erdas Imagine görüntü işleme yazılımında kullanılabilecek yapıda her iki ölçekte 5m, 10m ve 20m aralıklı SYM verileri üretilmiştir.

Çalışma alanına homojen olarak dağılmış olan noktalar üretilmiş olan tüm SYM'ler içine dahil edilerek farkları ve buna bağlı olarak karesel ortalama hataları hesaplanmış ve doğruluk araştırması yapılmıştır.Yapılan doğruluk araştırması sonucunda, üretim ve doğruluk hasiyeti değerlendirilerek 1/5.000 ölçeğinde 5m aralıklı çizilen ve editlenen eşyükseklik eğrisinden oluşturulan 5m aralıklı SYM referans veri olarak kabul edilmiştir. Farklı kaynaklardan oluşturulan SYM'lerin doğruluğu da farklı olacağından Erdas Imagine görüntü işleme yazılımı kullanılarak, referans SYM verisinden değişik ölçek ve aralıkta üretilen diğer SYM verilerinin farkları alınarak FARK SYM verileri elde edilmiştir.

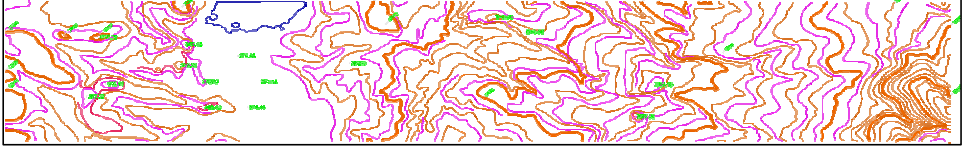
Elde edilen fark SYM verilerinin Erdas Imagine görüntü işleme yazılımı kullanılarak fark görüntüleri ve istatistiksel bilgileri oluşturulmuştur. SYM verilerinin kalite ve doğruluk araştırması son olarak elde edilen istatistiksel bilgiler kullanılarak yapılmıştır.

b. Eşyükseklik Eğrilerinden SYM Verilerinin Üretimi

Eşyükseklik eğrilerinden ve hava fotoğraflarından yararlanılarak 12 farklı SYM verisi üretilmiştir. SYM'lerinin önemli kaynaklarından birisi de eşyükseklik eğrileridir. 1/25.000 ölçekli standart topoğrafik haritalar, Context A0 tarayıcıda taranmış, sonuçta elde edilen raster görüntü üzerinde ekranda çizgi izleyerek operatörler tarafından vektör yapıda sayısallaştırılmıştır. Hatalar stereo modeller üzerinde ekranda editlenmiştir (Şekil 6).

1/5.000 ölçekli eşyükseklik eğrileri ise doğrudan, 1/16.000 ölçekli hava fotoğrafları kullanılarak oluşturulan stereo modeller üzerinden üç boyutlu olarak kıymetlendirilmiştir. Çizilen eşyükseklik eğrileri DGN formatında editlenmiştir.

DGN uzantılı bu dosyalarda yer alan eşyükseklik eğrileri, PCI görüntü işleme sisteminin yüklü olduğu çalışma istasyonuna aktarılmıştır. Ortho Engine modülü kullanılarak vektör veriler sisteme dahil edilmiş, projeksiyon sistemi tanımlanarak, 5m, 10m ve 20m grid aralıklı SYM'ler oluşturulmuştur (Şekil 7).



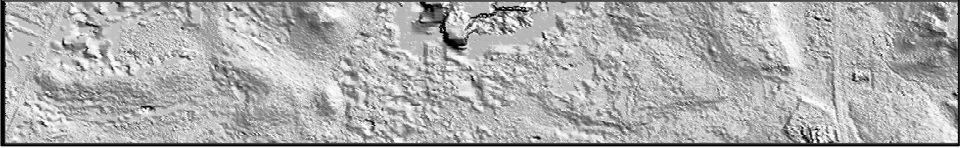
Şekil 6. Eşyükseklik eğrisi



Şekil 7. Eşyükseklik eğrisinden üretilen SYM verisi.

c. Hava Fotoğraflarından SYM Üretimi

Hava fotoğrafları 21 mikron duyarlıkta taranmış ve siyah-beyaz 122 Mb boyutunda depolanmıştır. Daha sonra Vision Softplotter yazılımında DEM modülü kullanılarak SYM istenilen aralıkta otomatik olarak toplanmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Hava fotoğraflarından otomatik korelasyonla üretilen SYM verisi.

ç. 1/16.000 Ölçekli Hava Fotoğraflarından Oluşturulan Stereo Modellerden Toplanan YKN' ları İle SYM'lerin Karşılaştırılması

Referans SYM' nin belirlenmesi ve SYM'lerde doğruluk araştırması yapmak üzere; öncelikle çalışma alanında homojen olarak dağılmış 257 adet nokta, yer kontrol noktası olarak kullanılmak amacıyla, 1/16.000 ölçekli hava fotoğraflarından oluşturulan stereo modeller üzerinden hassas yaklaşma (yükseklikte yaklaşık 30 cm) yapılarak toplanmıştır. Toplanan bu noktalar üretilmiş olan tüm SYM'ler içine dahil edilerek farkları ve buna bağlı olarak karesel ortalama hataları hesaplanarak doğruluk araştırması yapılmıştır. Karşılaştırmada PCI Geomatica yazılımı kullanılmıştır. Karşılaştırmada değişken olarak, grid aralığı ve üretim kaynağı esas alınmıştır ve elde edilen sonuçlar Tablo 2'de sunulmuştur.

Yapılan karşılaştırma ve doğruluk araştırması sonucunda, 1/16.000 ölçekli hava fotoğraflarından oluşturulan stereo modeller kullanılarak çizilen 1/5.000 ölçekli eşyükseklik eğrisinden 5m aralıklı üretilen SYM referans veri olarak kabul edilmiştir.

Tablo 2. Karşılaştırma sonuç tablosu.

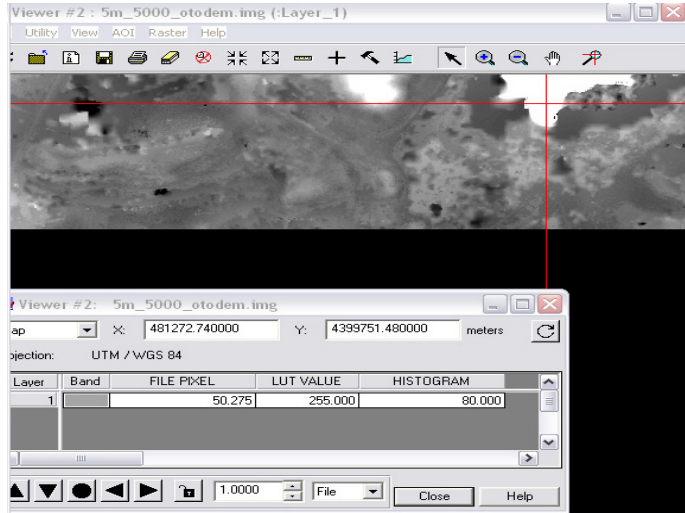
Kaynak/Aralık	5 (m)	10 (m)	20 (m)
5.000_eşyükseklik	1.195	1.405	1.347
25.000_eşyükseklik	2.469	2.676	2.401
16.000_otomatik	2.065	2.770	2.931
35.000_otomatik	3.496	2.955	2.897

d. SYM'lerin Referans Olarak Seçilen SYM İle Karşılaştırılması

Üretilen 12 adet SYM; 1/5.000 ölçekli eşyükseklik eğrilerinden 5m aralıklı olarak elde edilen SYM referans kabul edilerek karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada 2 farklı yöntem kullanılmış olup, uygulamada ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Bütün SYM'lerin referans SYM ile olan fark görüntüleri ortaya çıkarılmış ve bunların hata histogramları elde edilmiştir.

e. Birinci Grup Karşılaştırma

Bu karşılaştırmada 1/16.000 ölçeğindeki hava fotoğraflarından oluşturulan stereo modellerin kıymetlendirilmesiyle elde edilen 1/5.000 ölçeğindeki 5m aralıklı münhane verisinden elde edilen 5m, 10m ve 20m aralıklı SYM'ler referans alınmıştır. Değişik ölçek ve verilerden üretilen diğer SYM'lerin 5m, 10m ve 20 m aralıklı SYM'leri ile karşılaştırma yapılmış, bunların hata histogramları ve istatistiksel değerleri elde edilmiştir (Şekil 9). Sonuçlar Tablo 3'de verilmiştir.



Şekil 9. Fark görüntülerinde hatalar.

Fark görüntüsü incelendiğinde, hataların çoğunlukla eğimin hızlı değiştiği yerlerde olduğu görülmektedir. Fark görüntülerinde hatalar bir gri renk skalası olarak gösterilmekte ve beyaz renk (255) en büyük hatayı, siyah renk (0) en küçük hatayı göstermektedir.

Tablo 3. Grup karşılaştırma sonuçları.

KARŞILAŞTIRILAN SYM	REFERANS SYM		
	1/5.000-EŞYE 5M	1/5.000-EŞYE 10M	1/5.000-EŞYE 20M
1/16.000-FOTO-5m	2.581m		
1/16.000-FOTO-10m		3.072m	
1/16.000-FOTO-20m			3.233m
1/35.000-FOTO-5m	4.793m		
1/35.000-FOTO-10m		5.330m	
1/35.000-FOTO-20m			5.448m
1/25.000-EŞYE-5m	1.818m		
1/25.000-EŞYE-10m		2.663m	
1/25.000-EŞYE-20m			2.779m

f. İkinci Grup Karşılaştırma

Bu karşılaştırmada 1/16.000 ölçeğindeki hava fotoğraflarından oluşturulan stereo modellerin kıymetlendirilmesiyle elde edilen 1/5.000 ölçeğindeki 5m aralıklı eşyükseklik eğrisi verisinden elde edilen 5m aralıklı SYM referans alınmıştır. Değişik ölçek ve verilerden üretilen diğer SYM'lerin 5m, 10m ve 20m aralıklı SYM'leri ile karşılaştırma yapılmış ve elde edilen sonuçlar Tablo 4 'de verilmiştir.

Tablo 4. Grup karşılaştırma.

KARŞILAŞTIRILAN SYM	REFERANS SYM
	1/5.000-EŞYE-5M
1/5.000-EŞYE-10m	1.104m
1/5.000-EŞYE-20m	1.326m
1/16.000-FOTO-5m	2.581m
1/16.000-FOTO-10m	2.615m
1/16.000-FOTO-20m	2.867m
1/35.000-FOTO-5m	4.793m
1/35.000-FOTO-10m	4.851m
1/35.000-FOTO-20m	6.812m
1/25.000-EŞYE-5m	1.818m
1/25.000-EŞYE-10m	2.000m
1/25.000-EŞYE-20m	2.049m

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada farklı kaynaklardan değişik ölçek ve yöntemlerle üretilen SYM'lerin doğruluğunun araştırılması amaçlanmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

a. Yapılan karşılaştırma ve doğruluk araştırması sonucunda, 1/16.000 ölçekli hava fotoğraflarından oluşturulan stereo modellerden çizilen 1/5.000 ölçekli eş yükseklik eğrisinden 5 metre aralıklı üretilen SYM verisinin en doğru SYM verisi olduğu görülmüştür. Buradan yola çıkarak yapılan karşılaştırmalardan:

(1) 1/16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik korelasyonla üretilen SYM'lerin 1/35.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik korelasyonla üretilen SYM'lerden daha yüksek doğrulukta olduğu, eşyükseklik eğrilerinden üretilen SYM'lerin, gerek 1/16.000 ölçekli gerekse 1/35.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik korelasyon ile üretilen SYM'lere göre yaklaşık 2 veya 3 kat daha yüksek doğrulukta olduğu görülmüştür. Sonuç çizelgeler incelendiğinde, düşük çözünürlükte üretilen SYM'lerin araziyi temsil etme yeteneğinin azaldığı ve hataların yükseldiği, çözünürlüğe göre SYM doğruluklarının değişmesi nedeniyle daha küçük ölçekli fakat yüksek çözünürlükteki SYM nin, daha büyük ölçekli fakat daha düşük çözünürlüklü SYM'lerin yerine kullanılabileceği görülmüştür. Çeşitli hizmet birimlerinin yüksek doğruluk gerektirmeyen çalışmalarında, işgücü zaman ve maliyet açısından, hava fotoğraflarından otomatik korelasyon yöntemiyle üretilen SYM'lerin kullanımının daha uygun olduğu söylenebilir.

(2) Eşyükseklik eğrilerinden üretilen SYM'lerin doğruluğunun eşyükseklik eğrisi aralığının yaklaşık 1/5' i kadar olduğu görülmüştür.

(3) 1/16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik korelasyonla üretilen SYM'lerin doğruluğunun, refrans SYM eşyükseklik eğrisi aralığının yaklaşık 2/5'i kadar olduğu görülmüştür.

(4) 1/35.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik korelasyonla üretilen SYM'lerin doğruluğunun, refrans SYM eşyükseklik eğrisi aralığının yaklaşık 1/5' i kadar olduğu görülmüştür.

(5) 1/16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik korelasyonla üretilen SYM'lerde ortalama $\pm 2.5m$ hatalar oluştuğu görülmüştür.

(6) 1/35.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik korelasyonla üretilen SYM'lerde ortalama $\pm 5m$ hatalar oluştuğu görülmüştür.

(7) 1/5.000 ölçekli eşyükseklik eğrilerinden üretilen SYM'lerde ortalama $\pm 1.1m$ hatalar oluştuğu görülmüştür.

(8) 1/25.000 ölçekli eşyükseklik eğrilerinden üretilen SYM'lerde ortalama $\pm 2m$ hatalar oluştuğu görülmüştür.

b. Uygulama çalışması sonucu aşağıda sunulan görüşlerin belirtilmesinde yarar görülmektedir.

(1) Çalışmada seçilen arazi kesimi ormanlık, kentsel alan ve deniz gibi çok fazla değişim gösteren yerleri içermemektedir. Orman ve deniz gibi süreklilik arz eden yerlerde piksellerin eşlenmesinde problemler yaşanabilmektedir. Ayrıca,

yerleşim yerlerinde yüksek binalar, suni olarak oluşturulmuş çeşitli yapılar, yükseklik hatalarına neden olmaktadır. Daha sonra yapılabilecek çalışmalarda yalnızca ormanlık bir arazide veya tümüyle kentsel bir alanda bu çalışmalar tekrarlanabilir.

(2) Daha sonra yapılabilecek çalışmalarda çeşitli alan ve çizgi detaylar vektörel olarak kıymetlendirip farklı SYM verileri kullanıldığında ne kadar deformasyona uğradıkları tespit edilebilir. Ayrıca çalışma alanı içerisinde değişik eğim grupları oluşturularak, eğimin doğruluğu ne derece etkilediği kontrol edilebilir. Çeşitli istikametlerde kesitler alınarak bu yönlere ilişkin hata profilleri çıkarılabilir.

(3) Sayısal kıymetlendirme ile toplanan detay bilgilerinden, arazi yüzeyine ilişkin olanlara ait koordinatlar da oluşturulacak TIN veya SYM içersine dahil edilerek sonuçlar irdelenebilir.

(4) Otomatik korelasyonla elde edilen SYM'lerdeki yüksek hataların giderilmesi için filitreleme tekniklerinin kullanıldığı çalışmalar yapılarak sonuçlar irdelenebilir.

KAYNAKLAR

Ackerman, F. , 1996, Techniques and Strategies for DEM Generation, Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry, Chapter 6, 135, USA.

Alp, O., 1998, Sayısal Arazi Modeli Üzerine Bir İnceleme, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Gerhard, A., 1991, Digital Orthoprojection, Scanning, Handling and Processing of Aerial Images, Ebner/Fritsch/Heipke Digital Photogrammetric Systems, Herbert Wichmann Verlag GmbH, Karlsruhe.

Gruen, A., 1998, *DTM Generation and Visualization, Symposium on digital Photogrammetry*, İ.T.Ü., İstanbul.

Heipke, C., 1996, Overview of Image Matching Techniques, Official Publication, OEEPE.

Kraus,K.And Waldhausl, P., 1993, Photogrammetry, Volume 2, Ferd. Dümmlers Verlag, Bonn.

Koçak, E., 1988, Sayısal Arazi Modeli, *Yüksek Lisans Ders Notları*, ZKÜ,Zonguldak.

Özer, H., 1989, Sayısal Arazi Modeli Oluşturma Yöntemleri, *Harita Dergisi*,102,15, Harita Genel Komutanlığı,Ankara

Schenk, A. F., 1996, Automatic Generation of DEM's, Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry, Chapter 6, 145, USA.