

SAYISAL YÜKSEKLİK MODELİ (SYM) DOĞRULUK VE ÜRETİM MALİYETLERİ

M. Erdoğan^a, G. Toz^b

^a Harita Genel Komutanlığı, Fotogrametri Dairesi, Dikimevi Ankara, Türkiye – mustafa.erdogan@hgk.mil.tr
^b İTÜ, İnşaat Fakültesi, 80626 Maslak İstanbul, Türkiye – tozg@itu.edu.tr

ANAHTAR KELİMELER: Hava Fotoğrafları, Uydu Görüntüleri, SYM, Otomatik Eşleme, Doğruluk

ÖZET:

Fotogrametri alanındaki gelişim, analog ve analitik fotogrametrinin devamı olarak 1990'ların başında 'Digital Fotogrametri' kavramının doğmasına ve gelişmesine neden olmuştur. Bu süreç içinde, basılı topoğrafik haritaların üzerindeki eş yükselti eğrilerinin yerini, vektör eş yükselti eğrileri ve arazi kırıklık hatları ile daha kaliteli ve yüksek çözünürlüklerde "Sayısal Yükseklik Modelleri (SYM)" almıştır. Jeodezi ve fotogrametrinin ana amaçlarından birisi güvenilir SYM üretimidir. Üretilen SYM'ler ayrıca jeodezik ve fotogrametrik veri toplama, düzenleme ve düzeltme, ortofoto üretiminde, topoğrafik harita üretiminde de kullanılırlar. SYM üretimi, manuel olarak eş yükseklik eğrisi kıymetlendirme ile veya otomatik yöntemlerle yapılabilir. Otomatik yöntemler SYM üretim süresini oldukça kısaltmakla birlikte hataları da manuel yöntemlerle üretilenlere göre daha yüksektir. Bu nedenle, üretim sonrası daha fazla kontrol ve editlemeye ihtiyaç bulunmaktadır. Sayısal yükseklik modelleri yer, çevre ve mühendislik bilimlerindeki bir çok uygulamada kullanılmaktadır. SYM'nin ilk kullanımları 1950'li yıllara dayanır. SYM'lerin kullanıldığı genel olarak beş ana uygulama alanı vardır: İnşaat Mühendisliği, Yer Bilimleri, Planlama ve Kaynak Yönetimi, Jeodezi ve Fotogrametri, Askeri uygulamalar. Bu kadar geniş bir uygulama alanı olan SYM'lerin sunum formatları ve bazı formatlar için doğruluklarda standartlık sağlanmış olmasına rağmen, bu standartları sağlamak yada daha da iyileştirmek için kullanılacak veri türleri, bu verilerin kalitesi, üretim yöntemlerine ilişkin standartlar açıkça belirlenmemiştir. Bu şekilde standartların ve açık üretim kriterlerinin bulunmaması, SYM üretimlerinde zaman kaybına ve maliyetlerin artmasına, doğrulukları belli olmayan bir çok farklı SYM'lerin oluşmasına neden olmaktadır. Yine bu standart olmayan üretimler nedeniyle, üretimi yoğun kaynak ve emek gerektiren SYM'lerde veri kaybı oluşmaktadır. Bu konudaki eksiklikleri giderebilmek için farklı veri türleri veya farklı yöntemlerle SYM üretimi ve bunların doğruluklarının belirlenmesi konusunda çeşitli araştırmalar yapılmıştır. Yapılan tüm çalışmalarda, farklı veri türleri kullanılarak farklı çözünürlüklerde SYM'ler üretilmiş, bu SYM'lerin doğrulukları araştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar da kaynak verinin türü, çözünürlük, nirengi dağılımı, üretim yöntemi ve karşılaştırılan referans veriye göre farklılık göstermektedir. Diğer taraftan yapılan çalışmalarda, elde edilen SYM'nin doğruluğu belirlenmekle beraber, bu SYM'nin üretim süresi ve maliyeti genelde gözardı edilmiştir. Bu durum ihtiyaçlar ve kaynakları değerlendirmede optimizasyonun gerçekleştirilmesinde bir engel teşkil etmektedir.

Bu çalışmada, SYM üretimi için farklı veri türleri ve üretim yöntemleri kullanılmıştır. Bunlar farklı ölçeklerde (1:16.000 ve 1:35.000) stereo siyah beyaz hava fotoğrafları, 10 metre çözünürlüklü siyah beyaz SPOT ve 1 metre çözünürlüklü renkli IKONOS uydu görüntüleridir. Bu verilerden otomatik görüntü eşleme tekniği ile SYM'ler üretilmiş, elde edilen SYM'lerin doğruluğu test edilmiştir. Aynı zamanda IKONOS hariç aynı verilerden fotogrametrik değerlendirme ile sayısal eş yükseklik eğrisi üretimi yapılarak, bu sayısal eş yükseklik eğrilerinden SYM'ler üretilmiştir. SYM'lerin doğruluğu test edilmiş, fotogrametrik değerlendirme ve otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'ler karşılaştırılarak iki yöntem değerlendirilmiştir. Son olarak elde edilen doğruluklar ve veri türlerine göre SYM üretim maliyetleri karşılaştırılmıştır. SYM üretimine ilişkin yaklaşık doğruluk, birim maliyet ve süre bilgilerinin beraber analiz edilmesi sonucu, 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından eş yükselti eğrisi değerlendirme ve 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerin optimum çözüm olduğu, ancak maksimum maliyet ve üretim süresi ile minimum doğruluk kriterlerinin önem derecesine göre diğer optimum noktalarında belirlenebileceği görülmüştür.

1. GİRİŞ

1.1 Sayısal Arazi Modeli

Yeryüzü, matematiksel olarak tanımlanamayacak üç boyutlu düzensiz bir şekildedir. Tam olarak tanımlanabilmesi için sonsuz sayıda noktaya gereksinim vardır. Bu da olanaksız olduğundan, belirli sayıdaki nokta kümesi seçilir ve yüzey bu noktalardan yararlanılarak temsil edilmeye çalışılır. Yeryüzünün uygun bir şekilde temsili, yerbilimlerinde, çok sayıdaki mühendislik alanında, askeri uygulamalarda ve diğer birçok alanda büyük bir ihtiyaç olarak görülmektedir.

Literatürde Sayısal Arazi Modeli (SAM) için çok sayıda tanım bulmak mümkündür. SAM, kısaca, yüzeyin sayısal olarak gösterimi olarak tanımlanmaktadır. Diğer bir tanımda SAM, yüzeyi temsil eden sayılar dizisi olarak açıklanmaktadır. 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 temsil edilmesidir" sözleri ile 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).

Bazı kaynaklarda SAM ve SYM aynı anlamda kullanılmakla birlikte aralarında topoğrafyanın gösterimi açısından bir fark

bulunmaktadır. SAM ile topoğrafya zeminden geçen bir yüzey olarak tanımlanmaktadır. Ancak özellikle otomatik yöntemlerle üretilen SYM boş arazilerde zeminden geçmekte, fakat SAM'dan farklı olarak topoğrafyadaki doğal (orman vb.) ve yapay (binalar vb.) detayların da yüksekliklerini içermektedir.

SYM üretimi fotogrametride önemli bir görevdir. SYM'ler tek başına birer ürün olduğu kadar, ortofoto gibi ikinci ürünlerin oluşturulmasında da kullanılmaktadır. Dijital fotogrametri, SYM'lerin otomatik toplanması için ideal bir ortamdır. Bilgisayar kapasitelerinin yeterli olduğu günden itibaren, araştırmacılar otomatik SYM toplama üzerinde çalışmışlardır. Kabul edilebilecek yöntemlerin olmasına rağmen bu problem hala tamamen çözümlenmiş değildir. Örneğin büyük ölçekli bir yerleşim alanını düşündüğümüz zaman, mevcut yöntemler yeterli doğruluklarda otomatik SYM toplayamamaktadır.

Son zamanlarda, kullanıcıların geniş kapsamlı arazi analizi yapabilmeleri için SYM'ler sağlanmakta ve geliştirilmektedir. SYM genellikle, yüksekliklerin birbirinden ayrı iki dik doğrultuda bulunduğu düzenli matris yapısındadır. SYM verileri, kullanıcılara referans olması açısından genellikle doğrulukları ile bildirilir. Fotogrametrik olarak örneklenen SYM'lerin geometrik doğruluğu eşleme yöntemlerine ve arazi tipine bağlıdır. Arazi tipi ne kadar heterojen olursa olsun SYM noktalarının yoğunluğu genelde homojendir (Lee ve diğ., 1992).

SYM'ler yüzey tanımlama olarak bilinen genel bir problemin parçasını oluşturmaktadır. Bu konu ile ilgili bilgisayar ortamında yoğun çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Bilgisayar dünyasındaki önemli paradokslardan biri de yüzeylerin obje tanıma ve görüntü anlama gibi ardışık görsel görevlerin izlenmesinde önemli bir rol oynadığıdır. Bir robotun dağınık bir ortamda navigasyonu gibi buna benzer bir çok görev yüzey özelliklerinin yoğun bir şekilde kullanımını gerektirmektedir. İnsanoğlunun görüş sistemi şekil bilgilerinin algılanmasında dikkate değer bir şekilde adapte olmuştur ve bu şekilleri anlamlı sembollerle ifade edebilmektedir. Bütün SYM programları çeşitli sistemlerin karşılaştırılmasında yararlı kriterler olan bir takım kabuller ve sınırlandırmalar kullanılmaktadır. Dijital fotogrametrideki 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 aşamadan oluşmaktadır :

1. Karşılıklı noktaların bulunması (Görüntü Eşleme),
2. Yüzeyin enterpolasyonu ve sıklaştırılması (Yüzey Geçirme),
3. SYM'nin kontrolü ve düzeltilmesi (Kalite Kontrol).

Karşılıklı noktaların bulunması işlemi, görüntü eşleme bazen de görüntü korelasyonu olarak adlandırılır. Birinci görevde 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 yüzden 3 boyutlu noktaların enterpole edilmesi gerekmektedir. Bu enterpolasyon işlemine yüzey uydurma adı verilmektedir. Bir kere başlatıldığında ilk iki görev için genellikle insan müdahalesi gerekmemekte olup üçüncü görev tamamen insan müdahalesini gerektirmektedir.

1.2 Otomatik Görüntü Eşleme

Eş, kelime anlamı olarak; bir diğerine benzer ya da aynı olan bir kimse ya da şeydir. Eşleme; eşitini ya da benzerini bulmak veya yapmak anlamında kullanılır. Aynı şekilde eşleme problemi de, ilişki kurma olarak ifade edilir. Veri setleri; görüntüleri, haritaları, obje modellerini ve CBS (Coğrafi Bilgi Sistemi) verilerini temsil eder.

Dijital görüntü eşleme, en azından kısmen aynı manzarayı içeren iki veya daha fazla sayısal görüntüden elde edilen temel elemanlar arasındaki ilişkinin otomatik olarak kurulmasıdır. Temel elemanlar, görüntülerden çıkarılan detaylar veya gri düzey ton pencereleri olabilir (Heipke, 1996).

Fotogrametrik işlem adımlarının pek çoğu bir şekilde eşleme ile ilişkilidir. Somut örnekler gösterecek olursak; iç yönlüde resim kenar göstergesinin iki boyutlu modelinin eşlenmesi, karşılıklı yönlüde ve fotogrametrik nirengide nokta transferi, sayısal arazi modellerinde bir görüntü bölümünün diğer görüntü bölümleriyle eşlenerek üç boyutlu arazi noktalarının elde edilmesi sayılabilir.

Görüntü eşleme ile ilgili ilk çalışmalar 1950'li yılların sonlarında (1959, Hobrough) başlamış olmasına rağmen, sonuçlanmasının neden çok uzun zaman aldığı düşünülebilir. Verilecek ilk cevap, piksel olarak adlandırılan en temel görüntü elemanının bilgi içeriği dikkate alınarak ortaya konur. 15 µm ile taranan bir hava fotoğrafı yaklaşık olarak 285 milyon pikselden ve her bir gri tonu da 0 - 255 arasında bir değerden oluşur. Bu değerlerin büyüklüğü; tek tek piksellere dayalı bir eşlemenin imkansız olduğunu göstermektedir.

Daha gerçekçi bir yaklaşım, çapraz korelasyon tekniğidir. İki pencerenin çapraz korelasyon fonksiyonunu hesaplamak için , bir kalıp pencere daha büyük bir araştırma penceresi boyunca piksel piksel gezdirilir ve her bir konum için kalıp pencere ile araştırma penceresinin ilgili bölümü arasında hesaplanan bir çapraz korelasyon katsayısı bulunur. Çapraz korelasyon fonksiyonunun maksimum sonucu, kalıp ve araştırma pencereleri arasındaki en iyi eşleme durumunu ifade eder (Heipke, 1996).

1.3 SYM Hata Kaynakları

SYM'nin doğruluğu, kaynağa ve veri profillerinin grid aralığı olan konumsal çözünürlüğe bağlıdır. Kaynak verinin ölçeği ve çözünürlüğü, SYM'nin doğruluğunu etkileyen önemli faktörlerdir. Kaynak materyallerinin ölçeği ile grid seviyelerinin olası sınırlaması arasında bir bağımlılık vardır. Kaynak çözünürlük, sayısallaştırma sırasında önemli bir faktördür. Örneğin, 1 derecelik SYM'ler için 1:250.000 ölçekli topoğrafik haritalar temel kaynaktır.

Diğer bir faktörde SYM'nin yatay ve düşey aralığıdır. SYM verisinin yatay doğruluğu, yükseklik matrisinin yatay aralığına bağlıdır. Standart bir SYM içinde çoğu arazi detayları, yatay düzlemde düzenli aralıklarla yerleşmiş grid noktalarına genelleştirilerek azaltılmıştır. Bu genelleştirme yüzey gridlemesi sırasında kullanılan sabit aralıktan küçük detayların konumlarını iyileştirme yeteneğini azaltır.

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

gridleme işleriyle sonuçlanan SYM oluşturma işlemi, her bir uygulama için gerekli doğruluk kriterini sağlamalıdır. Her kaynak veri kümesi, bir sonraki adımda hataları katlayarak artıracığı için ona göre kaliteli olmalıdır.

Düşey SYM hataları üç türdür. (1) Kaba hata, (2) Sistematik ve (3) Rastgele hata. Kaba hatalar temel kısımlarda görülen hatalar olup, interaktif editleme sırasında kolayca ortadan kaldırılabilir. Sistematik hatalar sabit bir konum içeren hatalar olup, veri toplama yöntemleri ve sistemlerinden kaynaklanmaktadır. Bu hata çeşitleri şunları içerir: Düşey yükseklik kayıklıkları, ağaçlara, binalara ve gölgelere bağlı arazi yüzeyinin yanlış yorumlanması, hayali kayalıklar, zirveler ve hendekler. Rasgele hatalar, bilinmeyen veya tesadüfî olaylardan kaynaklanırlar. Bu hataların büyüklüğü editleme ile azaltılır. Fakat tamamen ortadan kaldırılamaz.

Karesel ortalama hata (KOH); veri toplama sırasında ortaya çıkan rastgele ve sistematik hataları ifade ederek SYM'nin düşey doğruluğunu tanımlamada kullanılır. Doğruluk; konumları bilinen nokta yükseklikleri, bunlara karşılık gelen doğrusal enterpole edilmiş SYM'deki yükseklikler karşılaştırılarak hesaplanır. Test noktaları iyi dağılmış olmalı, arazi yüzeyini iyi temsil etmeli ve SYM doğruluk kriterleri içinde iyi bilinen doğruluklarda gerçek yüksekliklere sahip olmalıdır (Erdoğan, 2000).

Kabul edilebilir test noktaları tercih sırasına göre: Arazi kontrol noktaları, daha yüksek doğrulukta diğer bir SYM, havai nirengisi yapılmış test noktaları, nokta yükseklikleri veya kaynak haritalarda uygun aralıktaki eş yükseklik eğrileri üzerindeki noktalar (Erdoğan, 2000).

2. SYM ÜRETİMİ MALİYET ANALİZİ

Maliyet analizi amacıyla 1 adet 1:100.000 ölçekli paftanın kapsadığı alan örnek seçilmiştir. Bu da yaklaşık 2400 km²'dir. Böyle bir alanda 1:16.000 ve 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları ile IKONOS ve SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme ve eş yükselti eğrisi değerlendirme ile SYM üretim maliyetlerinin analizi yapılmıştır.

Maliyet hesabında görüntü, jeodezik nirengi ve fotogrametrik değerlendirmeye ilişkin personel maliyetleri dikkate alınmıştır. SYM maliyet analizinden önce ise, hava fotoğrafları ile uydu görüntülerinin ayrıntılı bir maliyet analizi yapılarak, hangi büyüklüklerdeki alanlarda uydu görüntüsü, hangi büyüklüklerdeki alanlarda hava fotoğrafı kullanımının daha uygun olacağı belirlenmiştir.

2.1 Uydu Görüntüsü ve Hava Fotoğrafları Maliyet Analizi

SYM üretiminde yoğun olarak kullanılan 1:16.000 ve 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları ile IKONOS ve SPOT uydu görüntülerinin maliyetleri analiz edilmiştir. Hava fotoğraflarına ilişkin hesaplamalarda uçuşu yapılacak bölgenin, kalkış yapılan havaalanına 30 dakika mesafede olduğu, 1 ABD dolarının 1.45 YTL ve 1 Avronun 1.85 YTL olduğu farz edilmiştir.

Uydu görüntüleri ve hava fotoğraflarına ilişkin yapılan ayrıntılı maliyet analizlerine göre 1 adet 1:100.000 ölçekli paftayı kapsayan alanın SYM üretimi için gerekli 1:16.000 ve 1:35.000 ölçekli hava fotoğrafları ile 1 metre çözünürlüklü IKONOS ve 10 metre çözünürlüklü SPOT uydu görüntülerinin maliyetleri hesaplanmıştır. Hesaplanan maliyetler Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1: Uygulamada kullanılan görüntülerin maliyetleri

	1:16.000 Hv.Ft.	1:35.000 Hv.Ft.	İkonos Uydu Gör.	SPOT Uydu Gör.
Maliyet (YTL)	59634	16596	308125	5976

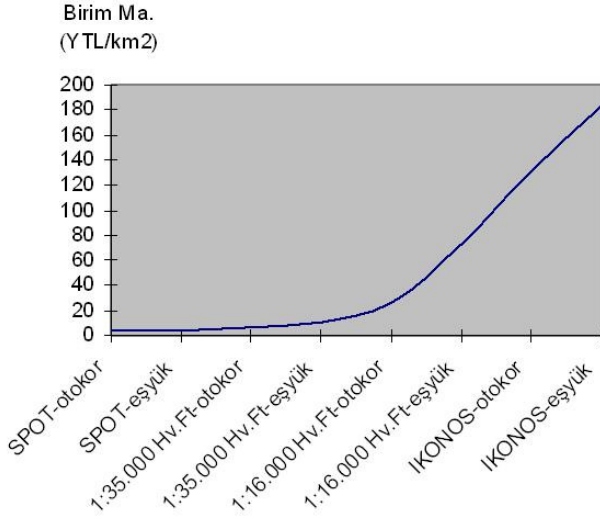
2.2 Toplam Maliyetler

Maliyet hesabında kullanılan bütün kalemler toplanarak bir adet 1:100.000 ölçekli paftayı kapsayan yaklaşık 2400 km²'lik bir alanın SYM'nin üretimini toplam maliyeti, birim maliyeti ve toplam üretim süresi hesaplanmış ve Tablo 2'de verilmiştir. Tablodaki tüm değerler YTL ve parantez içindeki değerler üretim süreleridir.

Tablo 2: Yaklaşık SYM maliyetleri.

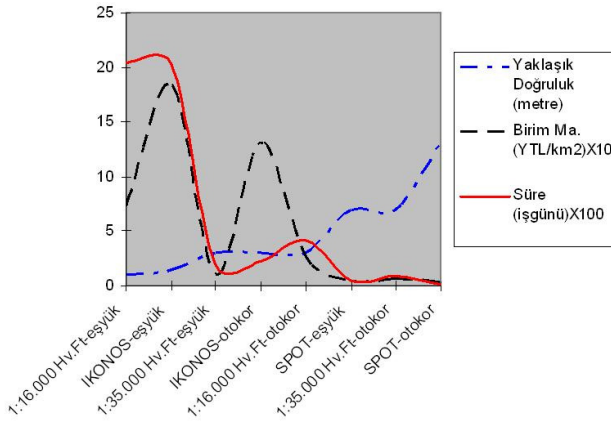
	1:16.000 Hv.Ft		1:35.000 Hv.Ft		İKONOS		SPOT	
	EYE Değ.	Otom. Eşleme	EYE Değ.	Otom. Eşleme	EYE Değ.	Otom. Eşleme	EYE Değ.	Otom. Eşleme
Görüntü Maliyeti	59634		16596		308125		5976	
YKN Maliyeti	900 (5)		400 (2)		4000 (20)		400 (2)	
Nirengi Maliyeti	3030 (38)		670 (9)		405 (5.5)		90 (1)	
Değerlen. Maliyeti	140000 (2000)	25830 (369)	12950 (185)	5390 (77)	140000 (2000)	14000 (200)	3220 (46)	700 (10)
Toplam Maliyet	203564	89394	30616	23056	452530	326530	9686	7166
Birim Ma. (YTL/km ²)	84.82	37.25	12.76	9.61	188.55	136.05	4.04	2.98
Süre (işgün)	2043	412	196	88	2025.5	225.5	49	13
Yaklaşık Doğ. (m.)	1	3	3	7	1.5	3	7	13

SYM'ler birim maliyetlerine göre sıralanarak Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekilde en pahalı SYM üretim yönteminin IKONOS uydu görüntülerinden eş yükselti eğrisi değerlendirme, en ucuz yöntemin ise SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme olduğu görülmektedir.



Şekil 1: SYM birim maliyetleri

SYM üretimine ilişkin yaklaşık doğruluk, birim maliyet ve süre bilgileri birleştirilerek Şekil 2'de gösterilmiştir. Şekil incelendiğinde 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından eş yükselti eğrisi değerlendirme ve 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM noktalarında, yaklaşık doğruluk, birim maliyet ve üretim süresi eğrilerinin alt seviyelerde birbirine yaklaştıkları görülmektedir. Bu noktalar optimum noktaları oluşturmaktadır. Bu şekilden faydalanarak amaçlanan doğruluk, maliyet ve üretim süresi ve bu değişkenlere ilişkin olabilecek kısıtlamalara göre, en optimum veri kaynağının ve üretim yönteminin seçimi mümkündür.



Şekil 2: SYM doğruluk, maliyet ve üretim süresi grafiği

3. SONUÇLAR

Çalışma kapsamında hava fotoğrafları ile uydu görüntülerinin maliyet analizi yapılmış, hava fotoğraflarına yaklaşık eş olduğu düşünülebilecek İkonos uydu görüntülerinin yaklaşık 100 km²'lik bir alan büyüklüğüne kadar hava fotoğraflarına göre daha ucuz, bu aşamadan sonra ise hava fotoğraflarının daha ucuz duruma geldiği görülmüştür.

Bir adet 1:100.000 ölçekli paftayı kapsayan yaklaşık 2400 km²'lik bir alanın SYM'sinin üretiminin toplam maliyeti, birim maliyeti ve toplam üretim süresi analiz edilmiş; en uzun süreli

üretim tekniğinin 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından eş yükselti eğrisi değerlendirme, en kısa süreli üretim tekniğinin SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme, en pahalı SYM üretim yönteminin İKONOS uydu görüntülerinden eş yükselti eğrisi değerlendirme, en ucuz yöntemin SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme, en yüksek doğruluklu SYM'nin 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından eş yükselti eğrisi değerlendirme ve en düşük doğruluklu SYM'nin SPOT uydu görüntülerinden otomatik görüntü eşleme olduğu belirlenmiştir.

SYM üretimine ilişkin yaklaşık doğruluk, birim maliyet ve süre bilgilerinin beraber analiz edilmesi sonucu, 1:35.000 ölçekli hava fotoğraflarından eş yükselti eğrisi değerlendirme ve 1:16.000 ölçekli hava fotoğraflarından otomatik görüntü eşleme ile üretilen SYM'lerin optimum çözüm olduğu, ancak maksimum maliyet ve üretim süresi ile minimum doğruluk kriterlerinin önem derecesine göre diğer optimum noktalarında belirlenebileceği görülmüştür.

KAYNAKÇA

- Alp, O., 1998. Sayısal Arazi Modeli Üzerine Bir İnceleme, *Doktora Tezi*, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Erdoğan, M., 2000. Investigating The Effect Of Digital Elevation Model Accuracy On The Planimetric Accuracy Of Orthorectified Spot Imagery, *Yüksek Lisans Tezi*, ODTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Heipke, C., 1996. Overview of Image Matching Techniques, *Official Publication*, OEEPE.
- Lee, J., Snyder, P.K., Fisher, P.F., 1992. Modeling The Effect Of Data Errors on Feature Extraction from Digital Elevation Models, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 58, 1461.
- Schenk, A. F., 1996. Automatic Generation of DEM's, *Digital Photogrammetry: An Addendum to the Manual of Photogrammetry*, 6, 145, USA.