

# FARKLI BİNDİRME ORANLARININ SAYISAL YÜZEY MODELİ DOĞRULUĞUNA ETKİSİ-ANKARA 3 BOYUTLU ŞEHİR MODELİ ÖRNEĞİ

A. KAYI, G.ARASAN, A. YILMAZ, M. ERDOĞAN, O.ALP, A.OKUL

HGK, Harita Genel Komutanlığı, 06260 Çankaya Ankara - (abdullah.kayi; gokhan.arasan; altan.yilmaz; mustafa.erdogan; osman.alp; abdullah.okul)@hgk.msb.gov.tr

**ANAHTAR KELİME:** Yer Örnekleme Aralığı, Sayısal Yüzey Modeli, İleri ve Yan Bindirme

## ÖZET:

Sayısal Hava Kameralarının 2000'li yılların başında kullanılması, fotogrametrik doğruluğu ve elde edilen ürün çeşidini arttırmıştır. Analog hava fotoğraflarının yerini sayısal hava fotoğrafları almış, yüksek geometrik, radyometrik ve spektral çözünürlüğe sahip ortofotoların yanı sıra otomatik eşleme yöntemleriyle sayısal yüzey ve arazi modeli üretimi de başlamıştır. Çoklu ışın fotogrametrisiyle geliştirilen eşleme algoritmaları sayesinde piksel hassasiyetinde sayısal yükseklik modeli (SYM) ve nokta bulutu üretilmektedir. Yoğun eşleme algoritmalarının başarısını, sadece fotoğraf çözünürlüğü değil fotoğrafların enine ve boyuna bindirme oranları da etkilemektedir. Bu çalışmada piksel tabanlı eşleme tekniğiyle farklı bindirme oranlarının SYM doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. Bu maksatla Ultracam X sayısal hava kamerasıyla Ankara il merkezinde 10 cm çözünürlüğünde çekilmiş 77 adet hava fotoğrafı kullanılmıştır. Blok köşelerinde seçilen dört adet yer kontrol noktası ile blok dengelemesi yapılmıştır. Sayısal Yüzey ve Arazi Modellerinden üretilen gerçek ortofoto ve ortofoto görüntüleri arasındaki farklar irdelenmiş ve otomatik olarak 3B Ankara Şehir Modeli çıkarılmıştır.

**KEY WORDS:** Ground Sample Distance, Digital Surface Model, Overlap and Sidelap

## ABSTRACT:

Use of digital aerial cameras at the beginning of the 2000s improved the photogrammetric accuracy and increased the variety of the obtained data. Digital aerial imagery had superseded the analogue aerial imagery, DSM and DTM production with automatic matching algorithms was started as well as the production of high geometric, radiometric and spectral resolution orthophotos. By the help of developing dense matching algorithms with Multi-Ray Photogrammetry, digital elevation models and point clouds has begun to be produced with the same resolution of the imagery. Dense matching algorithms success is affected by not only the ground sample distance but also photo endlap and sidelap ratio. In this study, the effect of the different overlap ratios on the accuracy of the DSM was investigated. For this purpose, 77 aerial images of the Ankara city center acquired by UltraCamX large format digital aerial camera, with 12 cm ground sample distance, was used. The bundle block adjustment was done using four ground control points selected on the corner of the block. Orthophotos produced by DTM and true orthophotos produced by DSM was examined and 3D model Ankara city model was automatically generated.

## 1. GİRİŞ

Arazi yüzey yükseklikleri coğrafi bilgiler arasında en çok kullanılanlardandır. Bu veriler Sayısal Yükseklik Modeli (SYM) şeklinde dağıtmakta ve türevleri ortofoto üretimi, 3B şehir modelleri, hidrolojik modelleme, görünürlük, taşkın, su baskını analizleri gibi çok geniş bir yelpazede kullanılmaktadır (Fisher ve Tate, 2006).

SYM çok değişik formlarda olabilesine rağmen, çoğunlukla her biri uzayda bir noktanın yüksekliğini temsil eden çok sayıda kayıttan oluşur. SYM'nin, bir dizi modelleme ve işlem adımlarının sonuç ürünü olduğunu bilmek gerekir. SYM, arazi ölçmeleri, eş yükseklik eğrileri, vektör veriler, hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinden otomatik korelasyon ile, hava ve uzay radar verilerinden (yapay açıklıklı) ve lazer tarama (LIDAR) gibi kaynaklardan elde edilebilmektedir.

SYM üretildiği kaynağa, yöntemine göre hatalar içermektedir. Kullanılan SYM'de bu hataların biliniyor olması SYM kullanımından kaynaklanan hataların tanımlanabilmesi açısından önem arz etmektedir.

## 2. TANIMLAR

Sayısal Yükseklik Modeli (Digital Elevation Models (DEM)), düzenli bir grid yapıda ve çoğunlukla karesel, azınlıkla üçgen ve dikdörtgen formda olmak üzere yükseklik verileri kümesidir. Gridin boyutları ve her bir satırdaki gözlem sayısı

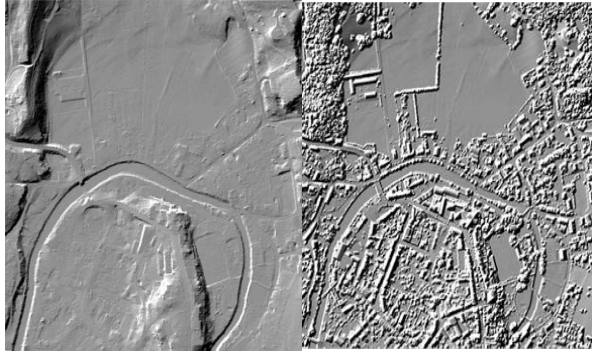
bilindiğinden yükseklik değerleri arasındaki kesin olmayan konumsal ilişki kurulabilir. Sayısal Yükseklik Modeli denildiğinde genellikle grid yapıdaki yükseklik modelleri ifade edilmektedir (Fisher ve Tate, 2006).

Grid, arazi ve su altı yükseklikleri modellemede kullanılan en yaygın coğrafi veri modelidir. Gridler, düzenli veya eşit dağılımlı noktalar kümesi ile temsil edilirler. Gridlerin, diğer yükseklik coğrafi veri modellerinden üstün bazı özellikleri vardır. Yüksekliklerin düzenli aralıklarla olmasından dolayı sadece bir noktanın yatay bir koordinata dayandırılması yeterlidir. Bu noktadan, faydalanarak, grid ile birlikte sağlanan referans koordinat bilgisi ile birlikte diğer noktaların yatay konumu belirlenebilir. Bu, her bir noktanın yatay geometri koordinat çiftinin açıkça belirlenmesi ihtiyacını ortadan kaldırır ve böylelikle dosya boyutları daha küçük olur. Grid, ayrıca veri işleme için oldukça kolay bir yapıdır. Grid içindeki aralıklar, modellenecek arazi engebesinin sıklığı ve boyutuna göre etkin olacak şekilde seçilir. Örnek olarak, engebeli ve kesintisi fazla olan bir arazi küçük, dar bir grid aralığına ihtiyaç duyarken yumuşak bir rölüfeye sahip olan arazi ise oldukça geniş bir grid aralığına ihtiyaç duyacaktır (Federal Geographic Data Committee, 2008).

Sayısal Yükseklik Modeli, Sayısal Yüzey Modeli ve Sayısal Arazi Modeli olarak ayrılmaktadır.

Sayısal Yüzey Modeli (SYM) (Digital Surface Models (DSM)), yeryüzünün herhangi bir bölümüne ilişkin

topoğrafyayı tüm arazi detaylarıyla yansıtan 3 boyutlu bir sayısal yükseklik modelidir. Bitki örtüsü ve insan yapımı tüm detayların tepesinden geçen yüksekliği temsil eder (Şekil-1 Sağ).



Şekil-1 Sayısal Arazi Modeli Sayısal Yüzey Modeli

Sayısal Arazi Modeli (SAM) (Digital Terrain Models (DTM)), SYM'den farklı olarak, çıplak arazi yüzeyindeki yükseklik değerlerini ifade eden sayısal yükseklik modelidir. Arazinin sadece çıplak topoğrafyasını yansıtır (Şekil-1 Sol).

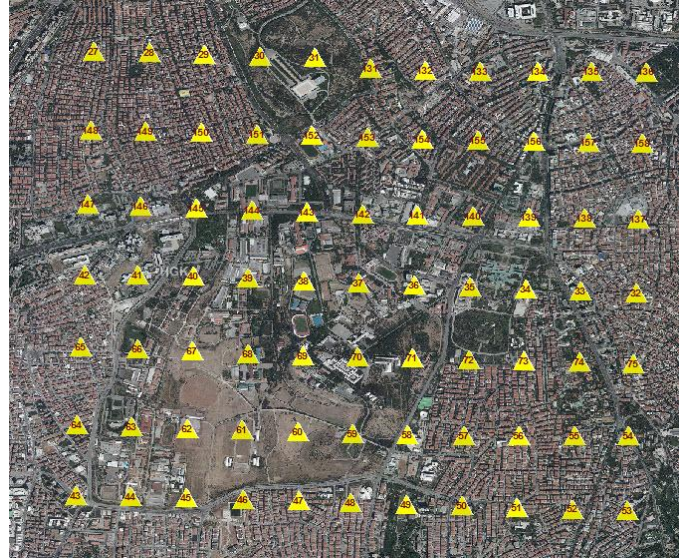
### 3. FARKLI BİNDİRME ORANLARIYLA SAYISAL YÜZEY-ARAZİ MODELİ OLUŞTURMA VE ORTOFOTO ÜRETİMİ

Geleneksel stereo görüntü eşleme algoritmaları obje tabanlı sınıflandırmaya dayanmakta ve görüntü üzerinde bulunduğu detayı diğer görüntü çiftinde aramaktadır (Heipke, 1993). Buna karşın piksel tabanlı sınıflandırma algoritmalarında yaşanan gelişmeler (Hirschmüller,2008) sayesinde stereo hava fotoğraflarından sayısal yüzey modelleri yüksek doğruluklarla üretilebilmektedir. SYM doğruluğu bindirme oranlarına doğrudan bağlıdır. Dolayısıyla standart fotogrametrik üretim için gerekli olan %60 ileri ve %30 yan bindirme oranları yerini hassas yüzey modeli elde etmek amacıyla %80 ileri ve %60 yan bindirmeye bırakmak zorunda kalmıştır. Bu ise hem projedeki veri boyutunu artırmış hem de uçuş süresini uzatmıştır. Hassas sayısal yüzey modeli için üretim sistemlerini değiştirirken, geçmişe yönelik çekilmiş normal bindirme oranlarına sahip hava fotoğraflarından üretilecek SYM doğruluğu bu çalışmanın yapılmasına neden olmuştur. Norbert HAALA tarafından yapılan Çoklu Işın Fotogrametrisi ve Yoğun Görüntü Eşleme adlı çalışmada bu problem ele alınmış fakat küçük bir blokta test çalışması yapılmış, büyük bloklarda denenmemiştir (2011). Bu kapsamda Ankara şehir merkezinde 21 km<sup>2</sup>'lik bir alanda 12 cm yer örnekleme aralığında çekilmiş %70 ileri %60 yan bindirmeli 77 adet hava fotoğrafı 4 yer kontrol noktası kullanılarak Microsoft UltraMap-AT yazılımıyla dengelenmiş, sayısal yüzey ve sayısal arazi modeli oluşturulmuş, oluşturulan bu yükseklik verileri kullanılarak sırasıyla gerçek ortofoto ve ortofoto üretilmiştir. İkinci aşamada ileri ve yan bindirme oranlarını azaltmak amacıyla, öncelikle kolondaki çift numaralı fotoğraflar çıkarılmış, daha sonra kolonlarda çift numaralı kolonlar çıkarılarak aynı üretim aşamaları gerçekleştirilmiştir.

#### a. Yüksek Bindirme Oranlarına Göre SYM ve Ortofoto Üretimi (%70 ileri-%60 yan)-Blok1

Ankara şehir merkezinde 12 cm çözünürlüğünde %80-%60 bindirme oranlarında, 14.06.2015 tarihinde çekilmiş 77 adet hava fotoğrafı Ultramap-AT yazılımı ile dengelenmiştir.

Yazılımının kendine has iş akışı nedeni ile fotoğraflar diğer yazılımların aksine seviye-3 görünebilen düzeyde değil de seviye-2 "RGB bantlarının pankromatik bantla eşleştirme yapılmadığı seviye" kullanılarak dengelenmiştir. Yaklaşık dış yöneltme parametreleri AeroOffice ve Graftnav yazılımları kullanılarak ANKR Tusaga-Aktif istasyonuna ait 1 sn aralıklı Rinex formatındaki GNSS verisiyle iyileştirilmiştir. Şekil-2'de bloğa ait kolon ve fotoğraf bilgileri gösterilmiştir. Sarı üçgenlerle gösterim fotoğraf çekim orta noktalarını, rakamlar fotoğraf numaralarını ifade etmektedir. Bu şekil sonraki bölümlerde ileri ve yan bindirme oranlarını değiştirmede kullanacağımız strateji açısından önemlidir.



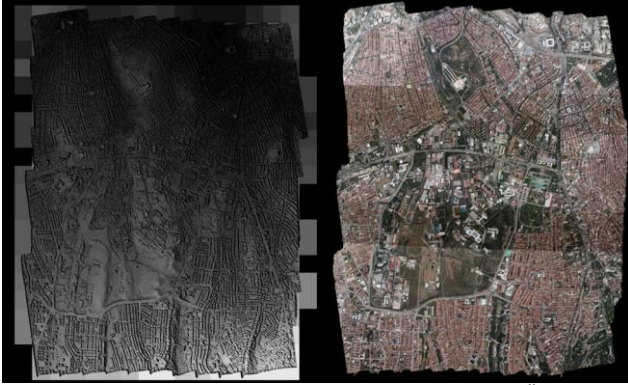
Şekil-2 Kolon ve Fotoğraf Bilgilerini Ayrıntılı Gösterimi

Blok kenarlarında 4 adet detay noktası, yer kontrol noktası olarak kullanılmıştır.



Şekil-3 Detay Yer Kontrol Noktaları

Fotoğraflara ait dış yöneltme elemanları dengeleme ile elde edildikten sonra, yoğun eşleme algoritması kullanılarak sayısal yüzey/arazi modeli ve ortofoto üretilmiştir (Şekil-4).



Şekil-4 Yoğun Eşleme Tekniğiyle Otomatik Olarak Üretilen Sayısal Yüzey Modeli ve Ortofoto.

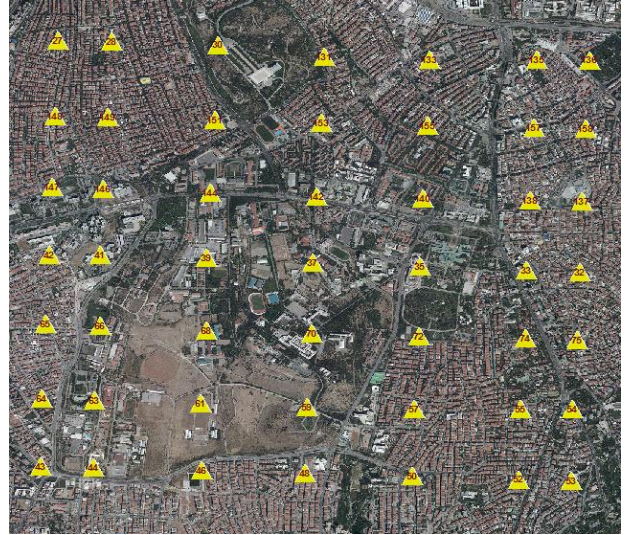
Bu aşamada; Sayısal Arazi modeli kullanılarak ortofoto, sayısal yüzey modeli kullanılarak ise gerçek (True) ortofoto üretilmiştir. Yüksek binaların yan yüzeylerini gösteren dolayısıyla, fotoğraf çekim açısına göre tabanında belirli bir alanın görsel olarak kapanmasına neden olan ortofoto ile bina çatılarının olması gerektiği gibi modelleyen gerçek ortofoto üretimi gerçekleştirilmiş ve görsel karşılaştırılması yapılmıştır (Şekil-5).



Şekil-5 Gerçek Ortofoto-Ortofoto Karşılaştırılması

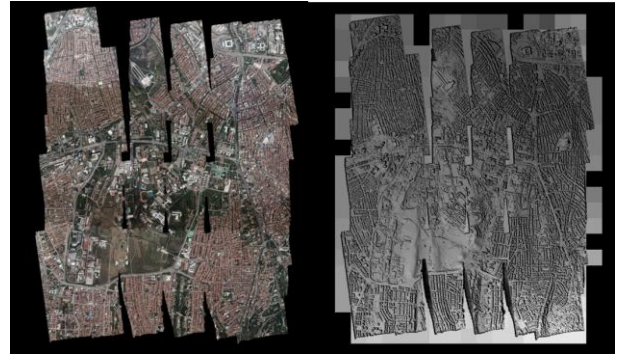
#### b. İleri Bindirme Oranının Değiştirilmesi ile SYM ve Ortofoto Üretimi (%40 ileri -%60 Yan)-Blok2

Bu bölümde farklı ileri bindirme oranlarının ortofoto doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda; mevcut 7 kolon, 77 fotoğraftan oluşan blokta, yer kontrol noktasının bloğun çok köşesinde olması nedeniyle, ilk ve son fotoğrafların ardışık çiftleri dışında, fotoğrafların ardışık çiftler blokta çıkarılmıştır. Örneğin; 65 numaralı fotoğrafla başlayan blokta 67-69-71 ve 73 numaralı fotoğraflar çıkarılmıştır. Fotoğraf çiftlerinden eğer tüm ardışık çiftler çıkarılmış olsa, yer kontrol noktasının bloğun çok dışında seçilmesi nedeniyle sadece tek bir fotoğrafta görünebilecek, bu ise dengeleme doğruluğunu etkileyecektir. Bu kapsamda yeni oluşturulan blok Şekil-6'da gösterilmiştir. 49 fotoğraftan oluşan yeni bloğun ileri bindirme oranı %40, yan bindirme oranı %60'dır.



Şekil-6 %40 İleri-%60 Yan Bindirme Oranlarına Sahip Blok-2

Blok dengelemesi yapıldıktan sonra sırasıyla SYM-SAM ve ortofoto üretimi gerçekleştirilmiştir. Üretilen SYM ve ortofoto Şekil-7'de gösterilmiştir.



Şekil-7 Yoğun Eşleme Tekniğiyle Otomatik Olarak Üretilen Blok-2 SYM ve Ortofoto Üretim Durumu

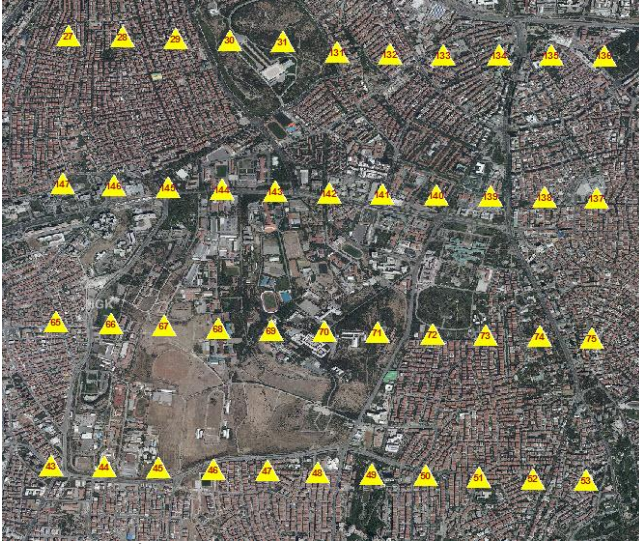
Blok içinde bazı bölgelerde SYM üretimi için eşleme yapılamadığı, dolayısıyla bu bölgenin ortofotosunun üretilmediği gözlenmiştir. Eşlemenin yapılamadığı bölgelere ait fotoğraf çiftleri incelenmiş %40 ileri bindirme sebebi ile blokta boşluk oluştuğu ve Şekil-8'de gösterilen SYM'i üretilmeyen alanın sadece bir 144 numaralı fotoğrafta görüldüğü, 142 ve 146 numaralı fotoğraflarda görünmediği tespit edilmiştir.



Şekil-8 Eşleme Yapılamayan Bölgenin 144 Numaralı Fotoğrafta Gösterimi

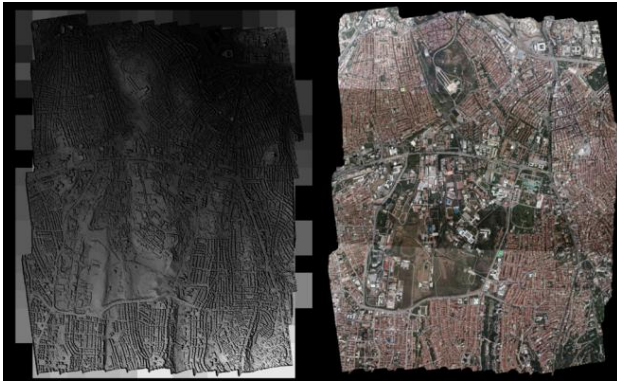
#### a. Yan Bindirme Oranının Değiştirilmesi ile SYM ve Ortofoto Üretimi (%70 İleri -%20 Yan)-Blok3

Bu bölümde farklı yan bindirme oranlarının ortofoto doğruluğuna etkisi araştırılmıştır. Bu kapsamda; mevcut 7 kolon, 77 fotoğraftan oluşan blokta, ardışık kolonlar, projeden çıkarılmış ve toplam 4 kolon 44 fotoğraftan oluşan Blok-3 kullanılarak dengeleme yapılmıştır. Yeni oluşan bloğun gösterimi Şekil-9'da gösterilmiştir.



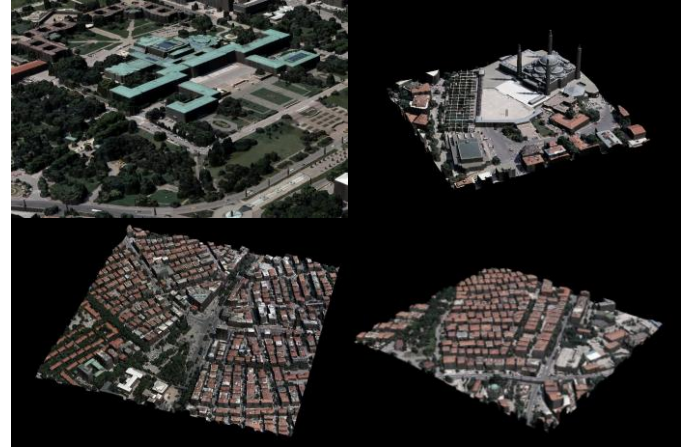
Şekil-9 %70 İleri-%20 Yan Bindirme Oranlarına Sahip Blok-3

Şekil-10'da üretilen SYM ve ortofotonun genel durumu gösterilmektedir. Blok-2'de karşılaşılan açıklıklar burada görünmemekte, yüksek ileri bindirmeyeyle çekilmiş hava fotoğraflarında her ne kadar yan bindirme oranı düşük bile olsa SYM ve ortofoto üretimi başarıyla gerçekleştirilmiştir.



Şekil-10 Yoğun Eşleme Tekniğiyle Otomatik Olarak Üretilen Sayısal Yüzey Modeli ve Ortofoto.

Üç boyutlu Ankara şehir modeli otomatik olarak oluşturulmuştur. Şekil-11'de Kızılay meydanı, Kocatepe, Türkiye Büyük Millet Meclisi ve yerleşim yeri örneği gösterilmektedir.



Şekil-11 3 Boyutlu Ankara Şehir Modeli

#### 4. FARKLI BİNDİRME ORANLARIYLA ÜRETİLEN ORTOFOTOLARIN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu aşamada, farklı bindirme oranları kullanılarak üretilen SYM'lerin birbirine göre farkları ortaya konulacaktır. Bu maksatla yüksek bindirme oranlarına sahip Blok1'den üretilen SYM'den yerleşim yeri (1.4 km<sup>2</sup>) ve kırsal arazi (0.5km<sup>2</sup>) olmak üzere örneklem iki bölge seçilmiştir. Bu bölgelerin Blok2 ve Blok3'den üretilen SYM'leriyle farkları alınmış ve Tablo1'de sunulmuştur.

Blok Adı	Bindirme Oranları	Fark			
		Yerleşim		Kırsal	
		Ortalama Fark (m)	Standart Sapma(m)	Ortalama Fark (m)	Standart Sapma (m)
Blok-2	%40 İleri %60 Yan	-1.29	3.10	1.49	2.07
Blok-3	%70 İleri %20 Yan	-1.37	3.05	1.02	1.82

Tablo-1 Bindirme Oranlarına Göre SYM Farkları

Sonuçlar irdelendiğinde Blok1 ile diğer bloklar arasında yerleşim yerlerinde en az 1.29 m, kırsal kesimde ise 1 metrelik farklar çıkmıştır. Bu ise yüksek bindirme oranlarının SYM doğruluğunu en az çözünürlük kadar etkilediği, dolayısıyla standart ortofoto üretimi maksatlı çekilmiş arşiv hava fotoğraflarından üretilen SYM'lerin yüksek bindirmeli fotoğraflardan üretilen SYM hassasiyetini yakalayamayacağını göstermektedir. Hassas SYM modeli için özel bindirmeli uçuşlar yapılması zorunluluğu bu çalışma ile ortaya konulmuştur.

#### 5. SONUÇ

Geliştirilen yoğun eşleme algoritmalarına sayesinde hava fotoğrafları kullanılarak SYM hassas bir şekilde üretilmektedir. Araştırma çalışmalarında yüksek bindirmeli (%80 ileri-%60 yan) hava fotoğrafları kullanılarak yapılan SYM'leri başarılı sonuçlar vermektedir. Standart ortofoto üretimi için gerekli olan bindirme oranı %60-%30 iken bu oran SYM üretimi için %80-%60'lara çıkmaktadır. Bu çalışmada, farklı bindirme oranlarına göre oluşturulan SYM'lerin rölatif doğruluğu araştırılmıştır.

Karşılaştırma sonucunda bindirme oranlarının düşürülmesinin SYM doğruluğunda düşüşe sebep olduğu gözlenmiştir. Özellikle ileri bindirmenin düşürülmesi bu farklılaşmayı artırmaktadır.

Bindirme oranlarının düşürülmesi detayın az olduğu ve eşlemenin daha zor yapıldığı kırsal alanlarda daha etkili olmakta ve farklılık daha çok artmaktadır.

Yüksek bindirme oranları sadece eşleme başarısı ve doğruluğunu değil, blok dengeleme doğruluğunu da artırmaktadır. Bu çalışma da en yüksek doğruluğun yüksek bindirmeli bloktan elde edileceği değerlendirilerek sadece rölatif bir karşılaştırma yapılmıştır. Çok sayıda kontrol noktası bulunan bir bölgede bindirme oranlarının mutlak doğruluğa etkisinin araştırılmasının faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

#### KAYNAKLAR

Fisher, P. F., & Tate, N. J. (2006). Causes and consequences of error in digital elevation models. *Progress in Physical Geography*, 30(4), 467-489.

Federal Geographic Data Committee, 2008

Heipke, C. (1993): Performance and State-of-the-art-of Digital Stereo Processing. *Proceeding of the Photogrammetric Week, Stuttgart*, pp.173-183.

Hirschmüller, H. (2008), Stereo Processing by Semi-Global Matching and Mutual Information *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*,30(2),pp.328-341

Norbert H., (2011) Multiray Photogrammetry and Dense Image Matching, In *Photogrammetry Week*,185-195