

MEKANSAL PROJELERDE SAYISAL ORTOFOTO ÜRÜNLERİNİN COĞRAFİ BİLGİ SİSTEMLERİNE ALTLIK OLARAK KULLANILMASI

Mehmet Alper YILDIZ¹, Hakan KARABÖRK², Ferruh YILDIZ²

¹ Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, KONYA

² Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, KONYA – (fyildiz, karabork)@selcuk.edu.tr

ANAHTAR KELİMELER: Ortofoto, Coğrafi Bilgi Sistemleri, Fotogrametri, Uzaktan Algılama.

ÖZET:

Ülkemizde kamu ve özel sektör alanında; mühendislik hizmetleri ve altyapı projelerinde, çevre uygulamalarında, tarım, ormancılık, yer bilimleri, ulaştırma, savunma sanayi, enerji sektöründe, belediye hizmetleri gibi birçok alanda coğrafi bilgi sistemi oluşturma amaçlı çalışmalara ihtiyaç duyulmakta ve kullanılmaktadır. Bu çalışmaların birçoğunda sistem sayısal vektör harita tabanlı çalışırken bir kısmında da geo-referanslanmış sayısal görüntülerle yani ortho görüntü tabanlı çalışmaktadırlar. Bu çalışmada, sayısal ortofoto ürünlerinin farklı yer örnekleme aralıklı olarak üretilmesi durumunda hangi tür mekânsal coğrafi bilgi sistemlerine altlık olabilecekleri konusunda bir çalışma yapılmıştır.

KEYWORDS: Orthophoto, Geographic Information Systems, Photogrammetry, Remote Sensing.

ABSTRACT:

The application of the Geographic Information Systems (GIS) are essential subject for both public and private sectors, in terms of engineering and infrastructure projects, environmental solutions, agricultural, forestry, earth science, transportation, military defense purposes, energy sectors, municipal applications and many more area, in Turkey. The GIS are operated as the use of digital vector map base in the most of the application however it is operated as the use of geo-referenced digital images in the other words ortho-images base in the some other applications. In this study, an investigation was made in the case of digital orthophoto products generated in different ground sampling intervals on which they can be base their kind of spatial GIS.

1. GİRİŞ

Bilgisayar teknolojisi ve sayısal görüntü işleme teknolojilerindeki gelişmeler, sayısal grafik verilerin yüksek kalitede ve yeni farklı türlerde üretimlerinin önünü açmıştır. Bu sayede coğrafi bilgi sistemleri (CBS) için gerekli olan mekânsal ve tematik veriler daha yüksek doğruluklu, daha hızlı, daha ekonomik ve farklı seçenekli olarak elde edilebilmektedir. Elde edilen sonuç ürünler, altyapı yatırımları, doğal kaynakların planlanması, çevre yönetimi, değişikliklerin izlenmesi ve planlama amaçları doğrultusunda kullanılmaktadır.

CBS amaçlı sayısal grafik veri üretiminde en önemli ürünlerden biri sayısal ortofotodur. Sayısal ortofotolar, yersel yada hava fotogrametrisi yöntemleriyle üretilebildiği gibi yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinin işlenmesi yoluyla da üretilebilmektedir. Günümüzde topoğrafik verilerin üretiminde en hızlı ve en ucuz yöntem ortofoto olmuştur. Sayısal ortofotonun kullanımının artma nedenleri olarak;

- Uydu veya hava fotoğraflarından kolaylıkla üretilebilmesi,
- Yüksek çözünürlüklü sayısal kameraların üretilmiş olması,
- Sayısal arazi modeli (DTM'ler) için verilerinin üretimi otomatik görüntü korelasyonları ve farklı donanımlarla desteklenebiliyor olması (lidar gibi),
- Gerekli olan yer kontrol noktası verilerinin GNSS teknikleri ile daha hızlı ve daha az sayıda çözülebiliyor olması,
- Sayısal görüntü işleme için gerekli olan yüksek performanslı bilgisayar donanımlarının gelişmiş olması, depolama

birimlerinin hız ve kapasitesinin artması, daha az maliyetle satın alınabiliyor olması,

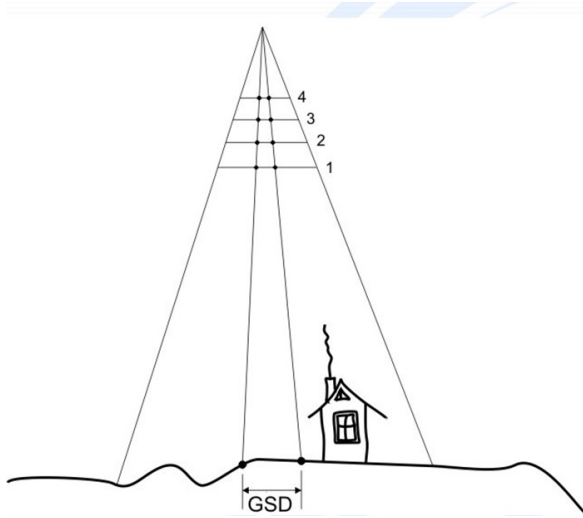
- Sayısal görüntü işleme yazılımlarının algoritmalarının gelişmiş olması, daha farklı ürünler için yazılımların alınabiliyor olması,
- Kamu yatırımlarında ve uygulamalarında sayısal koordinatlı görüntülere daha çok ihtiyaç duyulması,
- Sayısal görüntülerin web ortamında 3B görüntüler için uygun altlıklar olması,
- Sayısal görüntülerin CBS ortamlarına daha hızlı ve daha ucuz veri sağlayabiliyor olması, olarak sıralanabilir (Joachim, H., 2009).

CBS 'de toplam maliyetin, %5'i donanım, %10'u personel, %10'u yazılım ve %75'i veri elde etme maliyetidir. Ülkemizde tüm yatırımcı kuruluşlar (Tarım Bakanlığı, Çevre Şehircilik Bakanlığı, Belediyeler, Enerji Bakanlığı vs) tüm ulusal ve uluslararası altyapı projeleri için altlık olarak sayısal ortofoto ürünlerini kullanmaktadırlar. Sayısal ortofotonun tercih nedenleri olarak yukarıda bahsedilen avantajlar sıralanabilir (Graham, R. 2002).

2. SAYISAL ORTOFOTONUN AVANTAJLARI

Ortofoto harita üretiminde ölçek ve doğruluğu belirleyen en önemli parametre yer örnekleme aralığıdır (YÖA) (Şekil:1). Günümüzde büyük ölçekli ortofoto üretim çalışmalarında yer örnekleme aralığı, 1/1000 ölçekli üretimlerde 8cm-10cm, 1/2000 ölçekli çalışmalarda 15cm-18cm, 1/5000 ölçekli çalışmalarda da 25cm-30cm arasında seçilmektedir.

Günümüzde ortofoto ürünler sayısal fotogrametrik tekniklerle tam otomatik işlem adımları ile üretilmektedir.



Şekil:1- Yer Örnekleme Aralığı (YÖA, Ground Sampling Distance: GSD)

Üretilen sayısal ortofotoları klasik ortofoto üretim tekniklerine göre karşılaştırdığımızda aşağıdaki avantajlardan söz edebiliriz (Hoffmann, R., 2008).

- Yüksek doğruluk ve veri zenginliği,
- Daha kısa sürede üretim, düşük maliyet, yüksek verimlilik,
- Üretimde ve türevi ürünlerde esneklik,
- Sayısal görüntü üzerinden bilgisayar teknolojileri ile daha fazla veri ve daha çok bilgi çıkarımı,
- Radyometrik manipülasyonlar (görüntü kalitesi, mozaikleme, renk düzenleme, dinamik aralık ayarının değiştirilmesi vs.)
- Vektör verileri ile raster verilerin entegrasyonu.

3. ÇALIŞMANIN AMACI

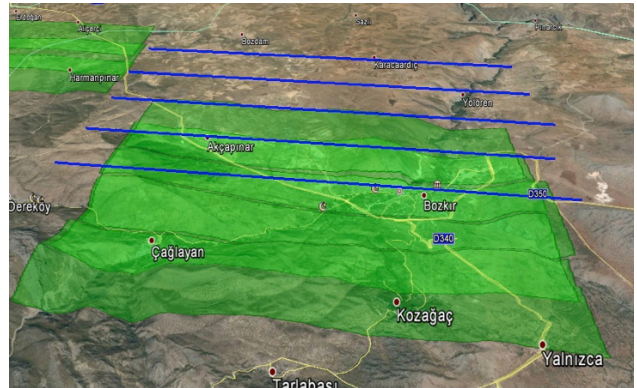
Bu çalışmada mekansal projelerde sayısal ortofoto ürünlerinin CBS 'ne altlık olarak kullanılması durumunda farklı yer örnekleme aralıklarında üretilen sayısal ortofoto ürünlerin hangi mekansal CBS 'ne altlık olabileceği konusunda bir çalışma yapılmıştır. Çalışmayı gerçekleştirebilmek için bir test alanı oluşturulmuş ve test alanında 10cm, 30cm, 50cm YÖA 'na karşılık gelen ortofoto üretimleri gerçekleştirilmiş bu üretimlerin geometrik doğrulukların belirlenmesi ve radyometrik değişimlerin incelenmesi yapılmıştır. Daha sonra elde edilen sonuçları yorumlanarak ve analiz edilerek hangi tür mekansal Coğrafi Bilgi Sistemi projelerine altlık olabilecekleri yada olamayacakları konusunda bir araştırma yapılmıştır.

3.1 ORTOFOTO TEST ALANI

Test alanı Bozkır ilçe merkezi orta nokta olmak üzere kuzey-güney doğrultuda 6.6km, doğu-batı doğrultuda da 7.5km lik bir sahayı kapsamaktadır. Ortalama arazi kotu 1150m olup, saha içerisindeki en yüksek nokta kotu ise 1600m dir (Şekil:2). Test alanına ve uçuşa ilişkin veriler Tablo:1 de özetlenmiştir. Ortofoto üretim amaçlı uçuşlar Ağustos 2014 de yapılmıştır.

Test alanındaki ortofoto paftalar 1/1000 ölçekli ulusal pafta bölümlerne sistemine göre isimlendirilmiş, koordinatlar WGS84 elipsoidi ITRF96 datumunda 2005.0 epokunda belirlenmiştir. Ortofoto üretimleri ve mozaik görüntüleri 10cm, 30cm ve 50cm

yer örneklemeye aralığına karşılık gelecek piksel büyüklüklerinde .ecw formatında ayrı ayrı üretimleri yapılmıştır. Ortofoto üretimleri için Inpho Ortho Box 6.0 yazılımı kullanılmıştır. Ortofoto mozaiklerde özellikle seamline geçişleri başarılı bir şekilde uygulanmıştır.



Şekil:2- Bozkır ortofoto test alanı

Sayısal Kamera	Z/I - DMC01-0173
Kamera Odak Uzaklığı	120 mm
Görüntü Çerçeve Boyutları	13842 x 7680
Piksel Büyüklüğü	12 μ m
Boyuna / Enine Örtü Oranları	%70 / %30
Kolon Sayısı	5
Fotoğraf Sayısı	135
Yaklaşık Görüntü Ölçeği	1/12700
Ortalama Arazi Kotu	1150 m
Yer Kontrol Noktası Sayısı	13
Denetleme (check) Nokta Sayısı	3
IMU Sistemi	FSAS
GPS Sistemi	Novatel
Uçuş	Doğu-Batı

Tablo:1 Uçuş Parametreleri

3.2 FOTOGRAMETRİK NİRENGİ

Fotogrametrik nirengi ölçümlerinde; hava fotoğrafı ve kolon bağlamaları için gerekli bağlantı noktası seçim ve ölçümleri operatör seçimli olarak, fotogrametrik nirengi noktalarının seçim ve ölçümleri ise otomatik olarak gerçekleştirilmiştir. Böylece otomatik ölçümlerde; ölçülerin tüm fotoğrafik görüntü alanına yayılması sağlanmış olmaktadır ve fotogrametrik nirengi dengelemesi için bu sayede elde edilen fazla ölçüler ile dengelemenin serbestlik derecesi artırılmıştır. Sonuç olarak daha yüksek doğruluklu karesel ortalama hataların elde edilmiş olduğu görülmüştür.

Bağlama noktaları en az dört fotoğraftan görülebilecek şekilde seçilmiş ve ölçmeleri yapılmıştır. Görüntü eşlemede operatör seçimli bağlama noktalarının seçiminde Gruber nokta bölgelerine isabet eden yerlerde en az 27 adet nokta ölçümü yapılmıştır. Sayısal yükseklik modeli üretimi amaçlı otomatik ölçmelerde teknik standartlara uygun olarak nokta aralıkları 5m olarak alınmıştır. Bunun yanında karakteristik noktaların (eğimin değiştiği noktalar, çukur noktalar, tepe noktalar), su toplama ve su dağıtma çizgilerine ait topografik hatların, şev üstü ve şev altı noktalarının, dere ve yol geçiş hatları, köprüler, menfezler vs gibi doğal ve yapay unsurlara ait belirleyici hatların ölçümleri elle toplanmıştır.

Fotogrametrik nirengi noktalarının ölçülmesinde Inpho (Ver.6.0) fotogrametrik değerlendirme yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım ile ölçülen hava fotoğrafı koordinatları, ışın demetleri (bundle adjustment) yöntemi esaslarına ve iyileştirici ek parametrelere göre çalışan blok dengeleme yazılımlarında dengelenmiştir. Dengelemede MATCH AT (Ver.6) blok dengeleme yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım tüm dünyada bu tür hesaplamalar için en çok tercih edilen bir yazılımdır.

MATCH AT (ver.6.0) ışın demetleri yöntemi esasına göre çalışan bir yazılımdır. Bu yazılımda en küçük kareler dengelemesinden önce tüm ölçülere robust kestirim algoritması uygulanır ve ölçülerin kaba hatalardan ayıklanması sağlanır. Işın demetleri dengeleme işleminde aşağıdaki parametreler dengeleme modeline dâhil edilmiştir.

- Self-Kalibrasyon
- GPS-Mode
- Drift-Mode
- GPS-Anten Dışmerkezliği
- INS-Mode
- INS-Dönüklük Sınırı
- Atmosferik kırılma ve yer küreselliği

Fotogrametrik blok dengelemede "Self-Kalibrasyon" parametre sayısı 44 olarak alınmıştır. Büyük ölçekli harita üretim çalışmalarında uluslararası standartlara göre fotogrametrik bloklar için fotogrametrik nirengi dengelemesi sırasında öncül (a-priori) standart sapmalar (default data set); aşağıdaki gibi alınmıştır.

Yer Kontrol Noktaları için

$$\sigma_{x,y} = 0.03 \text{ m}$$

$$\sigma_z = 0.05 \text{ m}$$

Otomatik Ölçülen Bağlama Noktaları için

$$\sigma_1 = 0.002 \text{ mm}$$

Manuel olarak ölçülen bağlama ve yer kontrol noktaları için;

$$\sigma_1 = 0.002 \text{ mm}$$

Doğrudan yer referanslandırma sistemi;

GPS değerleri için $\sigma_{x,y,z} = 0.10 \text{ m}$

INS değerleri için $\sigma_{\phi, \psi, \omega} = 0^{\circ}.010$

Her bir fotogrametrik blok için; fotogrametrik nirengi dengelemesi giriş verileri (her bir bloktaki fotoğraf sayısı, dengelemeye giren ölçü sayısı, bilinmeyen sayısı, dengelemenin serbestlik derecesi), ayrıca blok dengeleme sonrası elde edilen tüm doğruluk ölçütleri ve istatistikî veriler Tablo:2'de verilmiştir.

Fotogrametrik bloğun iç (bağıl) ve dış (mutlak) doğrulukları da incelenmiştir. İç (bağıl) doğruluk yani σ_0 değeri, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği (BÖHHBÜY) gereği dengeleme sonunda 8µm'den küçük olması gerekmektedir. Blok dengeleme sonunda bu değer 2.4µm olarak elde edilmiştir.

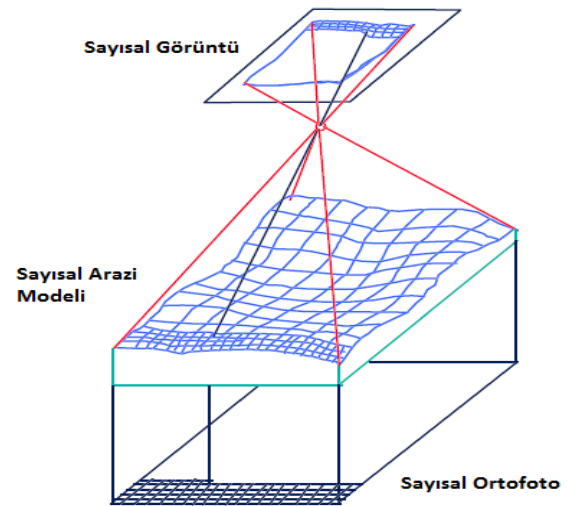
Birbirinden bağımsız olarak dengelenen blokların ortak noktalarının koordinatları arasındaki farkların konumda 5cm'den, yükseklikte 10cm'den daha küçük gerçekleşmiştir. Bağlama (tie) noktalarına gelen düzeltmelerden hesaplanan standart sapmalar ise konum ve yükseklikte 5cm nin altında hesaplanmıştır.

Fotogrametrik blok dengelemenin mutlak (dış) doğruluğunu test edebilmek için fotogrametrik blokların içerisindeki bazı Yer Kontrol Noktaları (YKN) Denetleme Noktası (DN: check) olarak seçilmiş ve fotogrametrik nirengi ölçümleri yapılır. Bu dengeleme işleminde 13 yer kontrol noktasından 3 adedi denetleme (check) noktası olarak seçilmiştir. Bu noktaların fotogrametrik blok dengeleme sonunda koordinatları ve karesel ortalama hataları hesaplanmıştır. Hesaplanan değerler sırasıyla ($\sigma_X=0.084\text{m}$, $\sigma_Y=0.070\text{m}$, $\sigma_Z=0.098\text{m}$) dır.

3.3 SAYISAL ORTOFOTO ÜRETİMİ

Renkli sayısal ortofoto harita üretimleri için; öncelikle fotogrametrik nirengi dengelemesinin, tamamlanmış olması gerekir. Bu husus ayrıca fotogrametrik kıymetlendirme için de bir ön gerekliliktir. Orto görüntü üretiminin yapılabilmesi için ikinci ön gereklilik ise sayısal arazi modeli üretimlerinin tamamlanmış olmasıdır (Şekil:3).

Bir sonraki aşama; hava fotoğrafı alım aşamasında çekilen hava fotoğraflarının, fotogrametrik nirengi dengelemesi sonucu elde edilen koordinat bilgileri kullanılarak, sayısal görüntülerin koordinatlı hale getirilmesi veya görüntü üzerindeki her bir piksele kullanılan projeksiyon sistemine uygun koordinatların atanması (register) işlemidir.



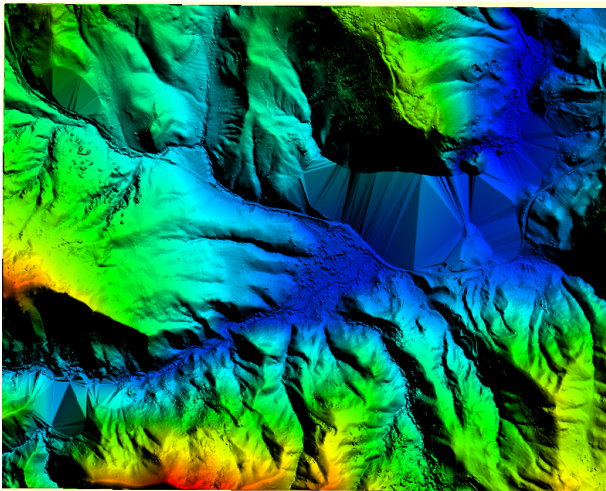
Şekil:3- Sayısal Arazi Modeli (SAM: DTM)

Bu süreçten geçen koordinatlı hava fotoğrafları, arazideki yükseklik farkları nedeniyle; fotoğraflar üzerinde detaylar oldukları konumdan daha farklı yerlerde görünür. Oluşan bu görüntü kayıklıklarına rölyef kayıklığı adı verilir (relief displacements). İşte bu görüntü kayıklıklarını sayısal arazi modeli kullanılarak düzeltilir. Bu işleme de düzeye çevirme adı verilir (rectification). Bu çalışmada test alanında sayısal arazi modeli için veriler otomatik ve operatör seçimli olarak yapılmıştır. 10cm YÖA ortofoto için 2m, 30cm YÖA ortofoto için 3m, 50 cm YÖA ortofoto üretimleri için 5m aralıklı olarak stereo modelden otomatik yükseklik toplanmış, daha sonra operatör marifetiyle de modeldeki karakteristik noktaların (su toplama ve dağıtma çizgileri, eğimin değiştiği noktalar, tepe ve çukur noktalar, şev üstü ve şev altı noktaları, vs) elle yükseklikleri toplanmıştır. Test alanının 3B katı modeli Şekil:4 'de görülmektedir.

İstatistiki parametrenin adı	Hesaplanan değeri
Dengeleme toplam ölçü sayısı	364551
Dengeleme bilinmeyen sayısı	98843
Dengeleme fazla ölçü sayısı	265708
Dengeleme iterasyon sayısı	2
Dengelemenin standart sapması (σ_0) (μm olarak)	2.4 μm
Dengelenmiş resim noktalarının k.o.h. (otomatik) (σ_X) (μm)	2.2 μm
Dengelenmiş resim noktalarının k.o.h. (otomatik) (σ_Y) (μm)	1.8 μm
Dengelenmiş resim noktalarının k.o.h. (manual) (σ_X) (μm)	2.6 μm
Dengelenmiş resim noktalarının k.o.h. (manual) (σ_Y) (μm)	1.9 μm
Yer kontrol noktalarının k.o.h. (σ_X) (m olarak)	x 0.052 [meter]
Yer kontrol noktalarının k.o.h. (σ_Y) (m olarak)	y 0.042 [meter]
Yer kontrol noktalarının k.o.h. (σ_Z) (m olarak)	z 0.047 [meter]
Denetleme noktalarının k.o.h. (σ_X) (m olarak)	x 0.084 [meter]
Denetleme noktalarının k.o.h. (σ_Y) (m olarak)	y 0.070 [meter]
Denetleme noktalarının k.o.h. (σ_Z) (m olarak)	z 0.098 [meter]
INS gözlemlerinin k.o.h. (σ_Ω) (derece olarak)	omega 0.000[deg]
INS gözlemlerinin k.o.h. (σ_ϕ) (derece olarak)	phi 0.001[deg]
INS gözlemlerinin k.o.h. (σ_γ) (derece olarak)	kappa 0.000[deg]
Model dönüklük k.o.h. (σ_ω) (derece/1000) olarak	omega 0.6 [deg/1000]
Model dönüklük k.o.h. (σ_ψ) (derece/1000) olarak	phi 0.7 [deg/1000]
Model dönüklük k.o.h. (σ_K) (derece/1000) olarak	kappa 0.2 [deg/1000]
Model öteleme k.o.h. (σ_X) (m olarak)	x 0.021 [meter]
Model öteleme k.o.h. (σ_Y) (m olarak)	y 0.020 [meter]
Model öteleme k.o.h. (σ_Z) (m olarak)	z 0.026 [meter]

Tablo:2 Blok Dengeleme Sonrası İstatistiki Bilgiler

Bu işlemlerin uygulanması sonucu elde edilen görüntüler; orto görüntü olarak, kullanılan projeksiyon sistemindeki pafta bölümlmeleri esas alınarak açılmış pafta çerçeveleri içerisine oturtulmuş orto görüntüler ise ortofoto haritalar olarak adlandırılır.



Şekil:4- Test alanının 3B katı modeli

Bu görüntüler genel olarak fotogrametrik blok esaslı olarak hazırlanırlar. Bu nedenle çok sayıdaki hava fotoğrafından oluşan bu bloklar mozaikleme işlemine tabi tutulur. Mozaikleme esnasında resim geçişleri nedeniyle olabilecek görselleştirme bozuklukları (seamline) düzenlenir ve

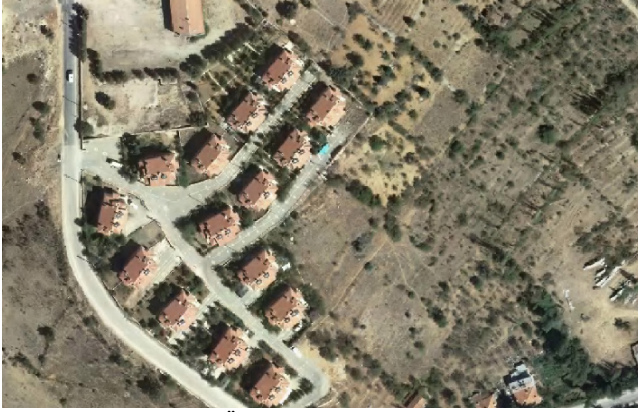
radyometrik görüntü zenginleştirme işlemlerine tabi tutulur. Test alanı içinde yer alan aynı sahanın 10cm, 30cm ve 50cm YÖA'lı ortofoto görüntüleri Şekil:5, Şekil:6 ve Şekil:7'de görülmektedir.



Şekil:5- 10cm Yer Örnekleme Aralıklı Ortofoto Görüntü

Bu çalışmada yapılan uygulamalar dikkate alındığında 1/1000 ölçekli sayısal ortofotoların altlık olarak alındığı uygulamalarda 10cm yer örnekleme aralıklı üretimlerin, 1/2000 ölçekli sayısal ortofotoların altlık olarak alındığı uygulamalarda 20cm yer örnekleme aralıklı üretimlerin, 1/5000 – 1/10000 ölçekli sayısal ortofotoların altlık olarak alındığı uygulamalarda da 50cm yer

örnekleme aralıklı üretimlerin kullanılabileceği, beklenen geometrik ve radyometrik doğrulukları sağladığı görülmektedir.



Şekil:6- 30cm Yer Örnekleme Aralıklı Ortofoto Görüntü



Şekil:7- 50cm Yer Örnekleme Aralıklı Ortofoto Görüntü

3.4 SAYISAL ORTOFOTONUN DOĞRULUĞU

Yürürlükteki BÖHHBÜY nin 51-73 maddeleri sayısal fotogrametrik ve ortofoto harita üretimleri için asgari üretim standartlarını belirlemiştir. Genel olarak; yüksek çözünürlüklü sayısal hava kamera sistemlerinin kullanılabileceğini, bu kameraların ışınal mercekle distorsiyonlarının 10µ nun altında olmasını, objektif ayırma güçlerinin 50 çizgi/mm nin altında olmasını, sayısal kameranın en az 12 bitlik radyometrik çözünürlüğe sahip olması, sayısal kameranın görüntü yürüme önleme sistemine (TDI) sahip olması, fotoğraf alımında Kinematik GPS yönteminin kullanılması durumunda blok köşelerinde ve çapraz kolonların baş ve sonunda kontrol noktalarının tesis edilmesini, fotoğraf alımında GPS-IMU sistemlerinin kullanılması durumunda da harita sahasındaki tüm TUTGA, C1 ve C2 noktalarının denetleme noktası olarak kullanılabileceğini, fotoğraf alımlarının K-G yada D-B doğrultuda yapılmasını, ortofoto üretiminde piksel büyüklüklerinin 25µ altında olmasını ve 1:1000 ölçekli üretimler için otomatik sayısal yükseklik modeli veri toplama aralığının 10m-20m arasında olması önerilmektedir.

Genel olarak klasik fotogrametrik üretim amaçlı uygulamalarda fotoğraf alımı için %60 (±5) boyuna, %25 enine (±5) örtü prensibi benimsenmiştir. Bazen idareler tarafından özel amaçlı uygulamalarda bu oranlar artırılabilir.

Uçuşların GPS-IMU destekli yapılması durumunda teknik olarak gerek olmamasına rağmen fotogrametrik nirengi blok dengeleme işlemlerinin kalitesine yönelik çalışmalarda kullanılmak üzere blok köşelerinde ve blok kenar ortalarında

birer adet ayrıca biri blok ortasında olmak üzere blok içinde de koordinatları (XYZ) bilinen toplam üç adet yer kontrol noktası yeterli olmaktadır. Bu noktaların koordinatlarının BÖHHBÜY de belirtilen teknik standartlara göre hesaplanması esastır. Manuel ve otomatik olarak yapılan fotogrametrik nirengi ölçmeleri ile yukarıda belirtilen yer kontrol noktası sayısı ve dağılımı ile BÖHHBÜY öngörülen teknik doğrulukların altındaki doğruluklarda fotoğrafların dış yöneltme parametreleri (X_0 , Y_0 , Z_0 , ω , ϕ , K) hesaplanabilmektedir. Yer kontrol noktalarının temel görevi fotogrametrik nirenginin çözümü amaçlıdır. Bunun yanında DTM'in doğruluk analizinde de kullanılabilmektedir.

Daha çok sayıdaki kontrol nokta dağılımının fotogrametrik nirenginin matematik modeline anlamlı bir katkısı yoktur. Bu noktaların çoğu denetleme noktası olarak kullanılabilir ve dengelemenin mutlak doğruluğu hakkında bilgi sahibi olunur. Ayrıca bu noktalar gerekli olduğu durumlarda sayısal yükseklik modeli ve sayısal arazi modeli oluşturmada da denetleme noktası olarak kullanılabilir.

Avrupa Birliği ülkelerinde sayısal arazi modelinin doğruluğu denetleme noktalarından hareketle elde edilmektedir. EuroSDR (European Spatial Data Research) tarafından yayınlanan "Assessment of the Quality of Digital Terrain Models" adlı yönergede sayısal arazi modeli için doğruluğu aşağıdaki formüle göre belirlenmektedir (Kapnias, D. 2008).;

$$\sigma_{xy} = 0.75 \cdot Y\ddot{O}A ; \sigma_z = 0.53 \cdot Y\ddot{O}A$$

(YÖA: Yer Örnekleme Aralığı)

Denetleme noktalarının sayısal arazi modeli verilerinden hesaplanan koordinatları ile gerçek arazi koordinatları arasındaki farklardan hesaplanan σ_{xy} ve σ_z değerleri yukarıdaki formülde bulunan değerlerden fazla olmaması istenilmektedir.

ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing) tarafından yürürlüğe konulan "Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, March, 2014) adlı yönergede sayısal ortofoto görüntülerin konum (x,y) ve yükseklik (z) doğrulukları bu verilerin elde edilmesindeki yöntem ve doğruluk değerlerine göre sınıflandırılarak verilmektedir (ASPRS,2014).

Çok yüksek doğruluk isteyen mühendislik ölçme tabanlı hizmetler Sınıf-I, yüksek doğruluklu harita yapım çalışmaları (büyük ölçekli harita üretimi) Sınıf-II, daha düşük doğruluklu harita yapım çalışmaları da Sınıf-III olarak gruplandırılmıştır. Bu gruplandırmaya göre sayısal ortofoto için öngörülen yatay doğruluk standartları Tablo:3 'de görüldüğü şekilde verilmektedir.

Yatay Doğruluk Veri Üretim Sınıfı	Fotogrametrik Nirengi K.O.H. (x), K.O.H. (y)	Ortofoto Görüntü Doğruluğu	Yer Kontrol Noktalarının K.O.H. (x), K.O.H. (y), K.O.H. (z)
Sınıf-I	Piksel * 1.0	Piksel * 2.0	Piksel * 0.5
Sınıf-II	Piksel * 2.0	Piksel * 4.0	Piksel * 1.0
Sınıf-III	Piksel * 3.0	Piksel * 6.0	Piksel * 1.5
.....			
Sınıf-N	Piksel * N	Piksel * 2N	Piksel * 0.5N

K.O.H.: Karesel ortalama hata

Tablo:3 Sayısal Ortofotolar için öngörülen yatay doğruluk standartları (ASPRS)

Tablo dikkatli incelenirse; 10cm doğruluklu ortofoto üretebilmek için, fotogrametrik nirengi dengeleme sonunda elde edilen nokta doğruluklarının 5cm veya daha küçük, fotogrametrik nirengi için araziye tesis edilen yer kontrol noktalarının jeodezik doğruluklarının da 2.5cm veya daha küçük

olması gerekmektedir. Ülkemizde üretilen sayısal ortofotolar bu doğrulukları sağlamaktadırlar.

Benzer şekilde ASPRS tarafından sayısal ortofoto üretiminde, konum (x,y) doğrulukları ile harita ölçekleri arasında da Tablo:4 'de verilen korelasyonlar tesis edilmiştir.

Yatay Doğruluk Veri Üretim Sınıfı	Fotogrametrik Nirengi K.O.H. (x), K.O.H. (y) (cm)	Yer Kontrol Noktalarının K.O.H. (x), K.O.H. (y), K.O.H. (z) (cm)
Sınıf-I	0.0125 x harita ölçeği	0.00625 x harita ölçeği
Sınıf-II	0.0250 x harita ölçeği	0.01250 x harita ölçeği
Sınıf-III	0.0375 x harita ölçeği	0.01875 x harita ölçeği
.....		
Sınıf-N	N x 0.0125 x harita ölçeği	N x 0.00625 x harita ölçeği

Tablo:4- Sayısal ortofoto üretiminde, konum (x,y) doğrulukları ile harita ölçekleri arasındaki ilişki

Yukarıdaki tablo özetlenirse Sınıf-I hizmetlerde; 1/1000 ölçekli çalışmalar için jeodezik yer kontrol noktalarının karesel ortalama hatalarının 6.25cm 'den küçük olması, bu noktalar yardımıyla yapılan fotogrametrik nirengi ölçme ve dengelemeleri sonunda da elde edilecek karesel ortalama hataların 12.5cm 'den küçük olması önerilmektedir.

4. ÜLKEMİZDE MEKÂNSAL TABANLI COĞRAFI BİLGİ SİSTEMİ ÇALIŞMALARI

Ülkemizde kamu ve özel sektör alanında mekânsal tabanlı tüm hizmetlerde yani; mühendislik hizmetleri ve altyapı projelerinde, çevre uygulamalarında, tarım, ormancılık, yer bilimleri, ulaştırma, savunma sanayi, ulaştırma, enerji sektöründe, belediye hizmetleri gibi birçok alanda coğrafi bilgi sistemi oluşturma amaçlı çalışmalara ihtiyaç duyulmakta ve kullanılmaktadır. Bu kurum ve kuruluşlar hizmetleri gereği bir kısmı sayısal vektör harita kullanırken bir kısmı sayısal görüntü tabanlı sistemleri kullanmaktadır. Sayısal görüntü tabanlı sistemlerin en çok kullanılanı ise sayısal ortofoto görüntülerdir (Jacobsen, K., 2008). Üretim hızı, geo-referanslama özelliğinin olması, elde edilen doğrulukların arzu edilen seviyelerde olması, diğer sistemlere göre daha ekonomik olması, ürün çeşitliliğinin fazla olması gibi nedenler ortofoto ürünlerin kullanılmasında tercih nedenleri olmaktadır.

Belediyeler 1/25.000 ve 1/5000 ölçekli nazım imar planı çalışmalarında 50cm ve 30cm yer örnekleme aralıklı ortofoto ürünleri, 1/1000 ölçekli uygulama imar planı çalışmaları ve kent bilgi sistemi çalışmalarında altlık olarak 10cm yer örnekleme aralıklı ortofoto ürünleri kullanılmaktadırlar.

Ulaştırma sektöründe bilgi sistemi oluşturma amaçlı çalışmalarda yani, karayolu, otoyol ve demiryolu, hızlı tren yolu güzergâhlarının avan projelerinde 1/2000 ölçekli ortofoto ürünler, bu projelerin uygulama projelerinin düzenlenmesi ve bilgi sistemine aktarılmasında da 1/1000 ölçekli ortofoto ürünler kullanılmaktadır.

Enerji sektöründe coğrafi bilgi sistemi oluşturma çalışmalarında doğal gaz, ham petrol güzergâhlarının avan ve uygulama projelerinin tasarım ve inşaatı gibi çalışmalarda 1/2000 (yer örnekleme aralığı 15cm) ve 1/1000 ölçekli (yer örnekleme aralığı 10cm) ortofoto ürünler kullanılmaktadır.

Tarım sektöründe arazi toplulaştırma, sulama ve drenaj ağlarının planlanması ve uygulama çalışmalarında, çiftçi kayıt sisteminin oluşturulma çalışmalarında ülke genelinde 30cm yer örnekleme aralıklı ortofoto ürünler kullanılmakta ve coğrafi bilgi sistemi alt yapısı buna göre şekillenmektedir.

Ormancılık sektöründe yeni orman alanlarının planlanması ve gençleştirilmesinde 50cm yer örnekleme aralıklı ortofoto ürünler kullanılmakta ve coğrafi bilgi sistemi alt yapısı buna göre şekillenmektedir.

Uygulamanın türü, uygulamadan beklenen doğruluklar, hizmet standartları, evrensel özellikleri, kullanıcı dostluğu, internet erişim olanakları gibi bir çok parametre coğrafi bilgi sisteminin amacını belirlemektedir. Genel olarak incelenirse ortofotonun geometrik doğruluğu yer örnekleme aralığının iki katı (Bknz. Tablo:3) olarak verilmektedir. Aslında Şekil:5, Şekil:6 ve Şekil:7 incelenirse 10cm, 30cm, 50cm yer örnekleme aralıklı sayısal ortofoto görüntülerin standart çalışmalar için çok farklı olmadığı görülebilir. Ancak yüksek doğruluk isteyen (Sınıf-I gibi) çalışmalar için 10cm yer örnekleme aralıklı çalışmaların kullanılması gerektiği söylenebilir (Oskanen, J., 2011).

5. SONUÇ

Bilgi teknolojileri, günümüz dünyasında ekonomik, sosyal ve kültürel sistemleri birinci derecede etkileyecek konumdadır. Yöneticilerin başarısı etkin karar-destek sistemlerinin varlığına bağlıdır. Bu tür sistemlerin kurulabilmesi için öncelikle sağlıklı bilgiye ihtiyaç vardır. Yeryüzünde üretilen bilgiler yanında, uydularla elde edilen bilgi miktarı da her geçen gün çoğalmaktadır. Bilgi hacmi ve trafiği sürekli artmaktadır. İstatistiklere göre her yıl toplanan bilgiler bir önceki yıla oranla en az iki kat artmaktadır. Bilgi temelde, yazılı, çizili veya resim formatındadır. İstatistiklere göre bilgilerin %80'e varan kısmı "yer" referanslı konuma bağlı veri niteliğindedir. Yer referanslı veri altlıkları ise bir kısmı sayısal vektör harita bir kısmı da sayısal görüntü tabanlı altlıklardır. Sayısal görüntü tabanlı altlıkların en çok kullanılanı ise sayısal ortofoto görüntülerdir. Üretim hızı, geo-referanslama özelliğinin olması, elde edilen doğrulukların arzu edilen seviyelerde olması, diğer sistemlere göre daha ekonomik olması, ürün çeşitliliğinin fazla olması gibi nedenler ortofoto ürünlerin kullanılmasında tercih nedenleri olmaktadır. Yukarıda da bahsedildiği üzere;

Belediyeler 1/25.000 ve 1/5000 ölçekli nazım imar planı çalışmalarında 50cm ve 30cm yer örnekleme aralıklı ortofoto ürünleri, 1/1000 ölçekli uygulama imar planı çalışmaları ve kent bilgi sistemi çalışmalarında altlık olarak 10cm yer örnekleme aralıklı ortofoto ürünleri kullanılmaktadırlar.

Ulaştırma sektöründe bilgi sistemi oluşturma amaçlı çalışmalarda yani, karayolu, otoyol ve demiryolu, hızlı tren yolu güzergâhlarının avan projelerinde 1/2000 ölçekli ortofoto ürünler, bu projelerin uygulama projelerinin düzenlenmesi ve bilgi sistemine aktarılmasında da 1/1000 ölçekli ortofoto ürünler kullanılmaktadır.

Enerji sektöründe coğrafi bilgi sistemi oluşturma çalışmalarında doğal gaz, ham petrol güzergâhlarının avan ve uygulama projelerinin tasarım ve inşaatı gibi çalışmalarda 1/2000 (yer örnekleme aralığı 15cm) ve 1/1000 ölçekli (yer örnekleme aralığı 10cm) ortofoto ürünler kullanılmaktadır.

Tarım sektöründe arazi toplulaştırma, sulama ve drenaj ağlarının planlanması ve uygulama çalışmalarında, çiftçi kayıt sisteminin oluşturulma çalışmalarında ülke genelinde 30cm yer örnekleme aralıklı ortofoto ürünler kullanılmakta ve coğrafi bilgi sistemi alt yapısı buna göre şekillenmektedir.

Ormancılık sektöründe yeni orman alanlarının planlanması ve gençleştirilmesinde 50cm yer örnekleme aralıklı Ortofoto

ürünler kullanılmakta ve coğrafi bilgi sistemi alt yapısı buna göre şekillenmektedir.

Uygulamanın türü, uygulamadan beklenen doğruluklar, hizmet standartları, evrensel özellikleri, kullanıcı dostluğu, internet erişim olanakları gibi bir çok parametre coğrafi bilgi sisteminin amacını belirlemektedir.

KAYNAKLAR

Graham, R., Koh, A., Digital Aerial Survey, Theory and Practice, Whittles Publishing Caithness, ISBN 1-870325, 2002.

Kapnias, D., Milenov, P., Kay, S., "Guidelines for Best Practice and Quality Checking of Ortho Imagery", JRC European Commission, Issue 3.0, 2008.

Hoffmann, R., Reulke R., Aspects of the Standardization of Sensor and Data Fusion Remote Sensing Data, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol. XXXVII, Part B1, 2008.

Jacobsen, K., Satellite Image Orientation, The International Archives of the Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Vol.XXXVII, Part B1, 2008.

Joachim, H., DEM Jeneration Using a Digital Large Format Frame Camera, Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Vol:75, No:1, 2009.

Oskanen, J., Digital Elevation Model Error in Terrain Analysis, Publication of the Finnish Geodetic Institute, 2011.

ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing), Accuracy Standarts for Digital Geospatial Data, 2014.