

FOTOGRAMETRİK YÖNTEMLE ORTOFOTO HARİTA ÜRETİMİNİN TEMEL ESASLARI, ORTOFOTONUN YARARLARI VE KULLANIM ALANLARI

M. Özbalmumcu

Harita Genel Komutanlığı, Fotogrametri Dairesi Başkanlığı, Planlama Subayı, Doktor Mühendis Albay,
06100 Dikimevi/ANKARA, mahmut.ozbalmumcu@hgk.mil.tr

ANAHTAR KELİMELER: Fotogrametri, Ortofoto, Uydu Görüntüsü, Sayısal Arazi Modeli, Sayısal Yükseklik Modeli.

ÖZET:

Fotogrametri; yersel kameralarla yerden alınan resimler veya daha yaygın kullanılan şekliyle uçağa yerleştirilen kameralarla havadan çekilen resimler üzerinde yapılan ölçümlerle uygulanan, yeryüzü topoğrafyasının şekli ve biçimini belirlemeye ve muhtelif ölçeklerde topoğrafik vektör ve ortofoto haritalarını üretmeye yarayan bir teknik veya bilim dalıdır. En basit anlatımla, fotogrametrik yöntem; topoğrafik yeryüzü üzerindeki obje ve detayların tespit edilmesine, yeryüzünün yapısı ve biçiminin geometrik olarak belirlenmesine, farklı ölçeklerde topoğrafik vektör ve ortofoto haritaların üretilmesine olanak sağlamaktadır. Fotogrametri yöntemi, kullanıcılar ve uygulayıcılar arasında daha ziyade yerden ve havadan alınan resimlerle (fotoğraflarla) uygulanan bir harita üretim tekniği olarak bilinir. Son yıllarda bilgisayar teknolojisi, bilgi işleme teknikleri, fotogrametrik alet, sistem ve yöntemlerde meydana gelen önemli teknolojik gelişmeler neticesinde, “fotogrametrik yöntem” havadan alınan resimlerle ve uydulardan alınan görüntülerle topoğrafik vektör ve ortofoto haritaların üretiminde en çok kullanılan bir yöntem haline gelmiştir. Fotogrametrik yöntemle üretilen temel veriler; muhtelif ölçekli topoğrafik vektör haritalar, ortofoto haritalar, Sayısal Arazi Modeli (SAM, DTM: Digital Terrain Model) ve Sayısal Yükseklik Modeli (SYM, DEM: Digital Elevation Model) verileridir. Söz konusu verilerin ve güncel haritaların üretimi ve revizyonunda en fazla kullanılan veri kaynakları, hava fotoğrafları ve uydu görüntüleridir.

Klasik analog veya dijital (sayısal) hava kameraları ile çekilen hava fotoğrafları ve uydularda mevcut tarayıcı ve algılayıcı sistemlerle alınan uydu görüntüleri, çekildiği tarih itibarıyla araziye ilişkin gerçek bilgileri içerir. Hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri ilk çekildikleri anda çeşitli hatalara sahip olması nedeniyle sabit bir ölçeğe sahip değildir. Bu nedenle, ham görüntü verilerinden uzunluk, açı, koordinat ve alan değerlerine ilişkin metrik bilgilerin alınması, üzerinde ölçümler yapılması ve bir harita gibi kullanılması olanaklı değildir. Çeşitli nedenlerden dolayı uçaklar ve uydu sistemlerinden tam düşey görüntüler (hava fotoğrafları ve uydu görüntüleri) alınamamakta, alınan görüntüler arazi koordinat sisteminin eksenleri (X,Y,Z) ile belli oranda eğiklik ve dönüklüklere sahip olmaktadır. Bunun dışında, arazinin tam düz olmaması, çeşitli engebe ve yükseklik farklarına sahip olması ve yatay düzleme tam paralel olmaması gibi nedenlerle, çekilen hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinin her noktasında ölçek değişmekte ve elde edilen ham görüntü verileri bir harita gibi doğrudan kullanılamamaktadır.

Hava fotoğraflarındaki eğiklik ve dönüklük etkileri ile arazinin yükseklik farklarından oluşan hatalar giderilmek suretiyle elde edilen, her noktasında sabit bir ölçeğe sahip olan, çekildikleri anda arazinin gerçek durumunu gösteren görüntülere “ortofoto”, uydu görüntüleri kullanılarak elde edilen görüntülere “orto-görüntü” denir. Ortofoto görüntüler; “yataylanmış görüntü”, “ortorektifiye edilmiş görüntü” veya kısaca “ortofoto” gibi isimlerle de anılmakta; bilgisayar destekli alet ve sistemlerle üretildiği ve sonuç verileri sayısal olduğu için bazen “sayısal ortofoto” veya “dijital ortofoto” olarak da adlandırılmaktadır. Hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinden üretilen ortofotolar üzerine çeşitli açıklayıcı bilgi ve yazılar, grid hatları, harita kenar bilgileri, pafta isimleri, eş yükseklik eğrileri, yükseklik (kot) noktaları, ölçek, üretim yılı, ölçek göstergesi, detayların sembolleri ve gerekli görülen diğer bilgiler eklenmek suretiyle elde edilen haritalara “ortofoto harita” adı verilmektedir.

Ortofoto haritaların üretiminde kullanılan veri kaynakları değişmekle beraber, tek (monoskopik) resim veya uydu görüntüsü ile çift (stereoskopik) resim veya uydu görüntüsü kullanılarak yapılan ortofoto harita üretimlerinde, sonuç ürünler aynı olup uygulanan işlem adımları bazı farklılıklar gösterir. Üretimde kullanılan veri kaynağı, alet ve bilgisayar sistemi, üretim yöntemi ve kullanım alanları açısından, ortofoto haritaların topoğrafik vektör haritalara göre çeşitli farklılıkları, üstün ve zayıf tarafları mevcuttur. Ortofoto haritaların topoğrafik vektör haritalardan en önemli farkı; hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinin çekildikleri anda gerçek arazi durumunu yansıtması, daha hızlı ve ekonomik olarak üretilebilmeleridir. Edinilen deneyimlere göre, topoğrafik vektör haritaların önemli üstünlükleri ve yaygın kullanımlarına karşın ortofoto haritaların kullanıcılar arasında yeteri kadar tanınmadığı, bu sebeple kullanımlarının da günümüzde hala oldukça sınırlı düzeyde kaldığı ve çok fazla yaygınlaşmadığı tespit edilmiştir.

Bu bildiriye; kurumsal çapta gerçekleştirilen fotogrametrik uygulamalardan ve muhtelif üretimlerden edinilen deneyimlerden de yararlanarak, taranmış sayısal hava fotoğrafları ve orijinal sayısal uydu görüntülerinden ile tek resim ve çift resim fotogrametrisi yöntemine göre, muhtelif ölçeklerde ortofoto haritaların üretiminde uygulanan ayrıntılı işlem adımları, her işlem adımında dikkate alınması yararlı görülen temel hususlar ve teknik esaslar hakkında özet bilgiler verilmiş; ortofoto haritaların topoğrafik vektör haritalardan olan farklılıkları, üstün ve zayıf tarafları, yararları, kullanımının yaygınlaşmamasındaki önemli etkenler, hâlihazırda ve gelecekteki muhtemel kullanım alanları hakkında bilgiler verilmiştir.

1. GİRİŞ

Bilgisayar teknolojisinde meydana gelen hızlı gelişmeler neticesinde ortofoto üretiminde karşılaşılan problemler azalmış ve ortofoto üretimleri tamamen bilgisayar destekli sistemlerle gerçekleştirilmeye başlamıştır. Son yıllarda gelişen teknolojilere paralel olarak, fotoğrafik görünümlü ortofoto haritaların üretimi ve çeşitli uygulamalarda kullanılması yönünde artan bir eğilim gözle çarpılmaktadır.

Hava fotoğraflarından elde edilen çizgisel veya sayısal bir vektör harita, içerdiği seçilmiş bilgiler itibarıyla çoğu zaman tek başına yetersiz kalabilmekte, pek çok meslek disiplinindeki uygulayıcılar (arkeologlar, toprak bilimciler, orman bilimciler, ziraatçılar, coğrafyacılar, jeologlar, şehir planlamacıları ve çevre bilimciler gibi) kendileri için önemli olan bazı detayları bir topoğrafik vektör haritada zaman zaman bulamamaktadır. Hava fotoğrafının içeriğini eksiksiz biçimde gösteren bir ortofoto harita, pek çok kullanıcı için bazen daha iyi çözüm sunabilmekte ve vektör haritalara göre daha hızlı ve düşük maliyette üretilebilmektedir.

Hava fotoğrafları görünüş itibarıyla topoğrafik haritalara benzemesine rağmen, haritayı doğru kullanabilen bir kimse hava fotoğraflarını güçlükle anlayabilir, okuyabilir, araziye uygulayabilir ve yorumlayabilir. Bilindiği gibi, vektör haritalar arazinin sadece seçilmiş detaylarını ve ayrıntılarını gösterir. Seçilen ayrıntının üretilecek haritanın ölçeği ile yakından bir ilişkisi vardır. Oysa resimler ve onlardan üretilen ortofotolar, haritada gösterilmeyen veya gösterilmesine imkân bulunmayan pek çok arazi ayrıntısını ihtiva eder, detaylar arasında kalıcı veya geçici, gerekli ya da gereksiz, önemli ya da önemsiz ayrımı yapmaksızın tamamını kullanıcıya sunarlar (Erdoğan, 2002).

Vektör harita ile hava fotoğrafı veya onun yataylanmış ve düzeltilmiş hali ve bire bir benzeri olan ortofoto görüntü arasındaki en önemli fark, haritalarda birçok açıklayıcı yazı ve bilgilerin, özel işaretlerin bulunmasıdır. Özel işaretler, gerekli bilgilerin harita üzerinde gösterilmesini ve dolayısıyla haritaların kullanılmasını ve okunmasını kolaylaştırır. Detaylara ilişkin grafik konum verileri yanında, eş yükseklik eğrileri yardımıyla herhangi bir topoğrafik harita üzerinde, istenilen bir noktanın veya detayın yükseklik bilgileri de doğrudan alınabilir. Çok arızalı ve engebeli arazilerde yükseklik ve çukurluklar, engebe farklılıkları hava fotoğraflarından kısmen ayırt edilebilse de, düz arazilerde topoğrafik durumun anlaşılması oldukça zordur.

Temelde bu farklılıklara rağmen, hava fotoğraflarının da yaklaşık bir ölçeği vardır. Bu nedenle çok kaba ve yaklaşık olmakla beraber, hava fotoğraflarından da bazı metrik bilgiler alınabilir. Bir merkezi izdüşüm ürünü olan hava fotoğrafı ve uydu görüntüsünde, resim alımı sırasında resim düzleminin eğikliği ve dönüklüğü ile arazi yüzeyindeki yükseklik farklarından dolayı meydana gelen hatalar olmak üzere iki önemli hata kaynağı mevcuttur. Bir fotoğraf üzerinde haritacılık açısından anlamlı ölçümler yapılmak istenirse, ortofoto harita şeklinde üretilmesi ve burada belirtilen hataların giderilmesi gerekmektedir (Erdoğan, 2002).

2. ORTOFOTO VE VEKTÖR HARİTA İLE İLGİLİ TANIMLAR

Ortofoto (Foto-Plan): Resmin eğiklik ve dönüklüğünden ileri gelen hataların giderilmesi, ayrıca arazideki yükseklik

farklarından ileri gelen nokta kaymalarının asgari düzeye indirilmesi suretiyle elde edilen; perspektif resimlerdeki resim eğikliği ve arazideki yükseklik farklarından dolayı oluşan görüntü kaymalarının giderilmesi ile elde edilen ve harita gibi belirli ve sabit bir ölçeğe sahip olan; hava fotoğrafları veya uydu görüntülerinin yeryüzüne uyumlandırılması sonucunda sabit bir ölçek kazandırılmış olan ve üzerinden belirli hassasiyette koordinat alınmasına olanak sağlayan, geometrik ve perspektif bozulmaları giderilmiş, düzeltilmiş hava fotoğrafı ve topoğrafik görüntüye “ortofoto” veya “foto-plan”, uydu görüntülerinden elde edilen türüne de “orto-görüntü” denir.

Ortofoto Harita (Foto-Harita): Üzerine harita kenar bilgileri, gridler, eş yükseklik eğrileri, yer, yöre ve mevkii isimleri ile diğer kartografik bilgilerin eklendiği ortofoto görüntülere veya resimlerdeki eğiklik etkileri ve yükseklik farklarından (rölyef kayma) ileri gelen hataların giderilmesi ile elde edilen ortofoto görüntülerin üzerine eş yükseklik eğrileri, yükseklik bilgileri ve harita kenar bilgileri eklemek suretiyle elde edilen, görüntü parçacıklarının birleştirilmesiyle standart veya rasgele ölçeklerde üretilen fotoğraf formunda haritaya “ortofoto harita” veya “foto-harita”, uydu görüntülerinden elde edilen türüne “orto-görüntü harita” denir (HGKS 125-1, 2003).

Mozaik: Yeryüzünün bir parçasının fotoğrafik olarak sunulması ve baskısının yapılması amacıyla, bindirmeli çekilmiş hava fotoğrafları veya uydu görüntülerinin, herhangi bir yataylama işlemine tabi tutulmaksızın yalnızca ortak arazi detaylarından yararlanarak birbiriyle birleştirilmesi (register işlemi) sonucu elde edilen görüntüye “mozaik” denir.

Foto-Mozaik (Ortofoto Mozaik): Aynı ölçeğe sahip mozaik oluşturan yataylanmış (orto-rektifiye edilmiş) ortofoto görüntülerin birbirleriyle birleştirilmesi ile oluşan görüntüye “ortofoto mozaik” veya “foto-mozaik”, uydu görüntülerinden elde edilen türüne “orto-görüntü mozaik” denir.

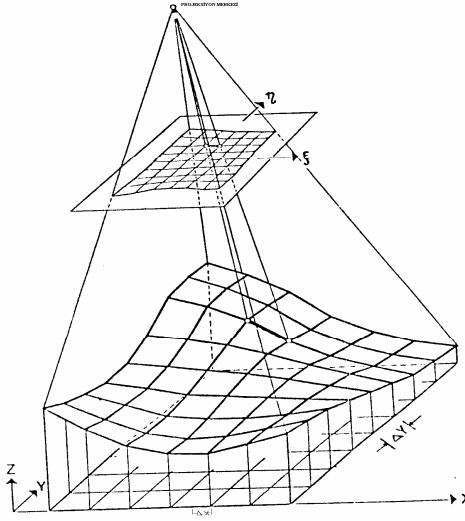
Vektör: Coğrafi bilgi sistemlerinde kullanılan temel nesne tiplerinden birisi olan, nokta, çizgi ve alan (poligon) elemanlarından oluşan, herhangi bir resim nesnesinin (raster veri) sayısallaştırılmasıyla elde edilen, büyüklüğü ve yönü olan, çoğunlukla başlangıç ve bitiş noktalarının koordinatıyla ifade edilen yönlendirilmiş çizgi parçasına “vektör” denir.

Vektör Harita: Standart ölçekteki basılı topoğrafik haritalarda yer alan detayların nokta, çizgi ve alan şeklinde tutulduğu; nokta detayların koordinatlar ile, çizgi detayların nokta dizileri ile, alan detayların kapanan çizgi dizileri ile iki boyutlu (X,Y) ya da üç boyutlu koordinatlarıyla (X,Y,Z) tanımlandığı, komşu paftalarla kenarlaşmış sayısal coğrafi bilgi dosyası ya da grafik vektör veri dosyasına “vektör harita” denir (HGKS 125-1, 2003).

Raster: Bir alanı kaplayan hücrelerden oluşturulan düzenli gridlere “raster” denir.

Raster Harita: Standart ölçekteki basılı topoğrafik harita paftasının, tarama cihazı ile taranması sonucu oluşan raster görüntülerin, kenar bilgilerinin atılması ve belli bir datum ve projeksiyon sistemine göre koordinatlandırılması sonucu elde edilen, detayların homojen aralıklı resim elemanları (piksel) ile siyah, beyaz, gri tonlu ve renkli olarak ifade edildiği sayısal raster veri dosyasına “raster harita” denir (HGKS 125-1, 2003).

Raster haritadaki pikselleri tanımlayan karesel grid ile deforme olmuş grid arasındaki ilişki Şekil-1’de gösterilmiştir.



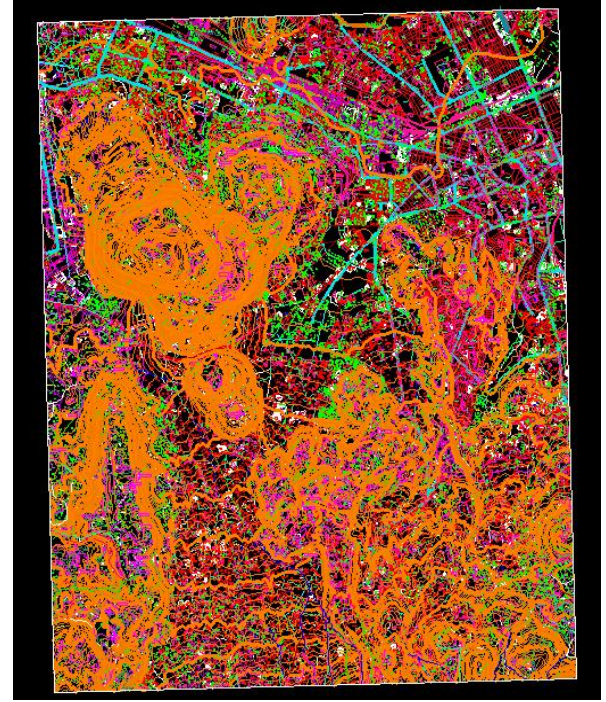
Şekil-1: Raster Veride Karesel Grid ile Deforme Olmuş Görüntü Gridi Arasındaki İlişki

3. SAYISAL (DİJİTAL) ORTOFOTO HARİTA VE VEKTÖR HARİTALARIN KARŞILAŞTIRILMASI

3.1. Ortofoto ve Vektör Haritaların Benzer ve Farklı Yönleri

- Güncel hava fotoğrafları veya uydu görüntüleri kullanılarak çeşitli ölçeklerde üretilen sayısal vektör haritalarda, ölçeğin gerektirdiği oranda seçilmiş detaylar (yollar, binalar, enerji nakil hatları vb.) gösterilmektedir. Aynı veri kaynakları ile üretilen ortofoto haritalarda ise; hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinin çekildiği andaki gerçek arazi durumu, mevcut detaylar ve bazı doğal olaylar (sel, yangın, toprak kayması, su taşkını, deniz kirlenmesi vb.) elemine edilmeksizin tamamı görüntülenebilmektedir.
- Ortofoto ve vektör haritaların üretimi günümüzde artık tamamen bilgisayar destekli sistemlerle yapılmaktadır.
- Sayısal ortofoto haritalar görünüş itibarıyla iki boyutlu veriler olmasına rağmen, gerçekte üç boyutlu veri kaynaklarıdır. Bilgisayar ortamında görüntülenen ortofotolar üzerinde, herhangi bir noktanın veya detayın üç boyutlu koordinatları (X,Y,Z) ölçülebilir. Bilgisayar ortamında görüntülenen sayısal vektör haritalarda ise, yalnızca seçilmiş nokta, çizgi ve alan detayların sorgulanması ve üç boyutlu koordinatlarının alınabilmesi olanaklıdır (Yaşayan, 1997).
- Sayısal ortofoto haritaların üretimi, vektör haritalara oranla daha kolay ve hızlı biçimde gerçekleştirilebilmektedir.
- Sayısal ortofoto harita üretiminde, sayısal görüntünün bir bütün halinde yataylanması temel esastır. Sayısal vektör harita üretiminde ise, stereo model alanı dikkatli bir şekilde görüntülenerek, detayların yorumlanması ve ölçeğin gerektirdiği tüm nokta, çizgi ve alan detayların birbirinden bağımsız olarak tek tek kıymetlenmesi esastır
- Sayısal ortofoto haritaların üretim maliyeti klasik vektör haritalara oranla daha düşük olup, yapılan araştırmalara göre bu oranın 1/3 ila 1/9 arasında değiştiği tespit edilmiştir.

Şekil-2’de, stereo fotogrametrik yöntemle üretilmiş bir vektör harita ile aynı bölgeye ait ortofoto mozaïği gösterilmektedir.



Şekil-2: Fotogrametrik Yöntemle Üretilmiş Bir Vektör Harita (Üstte) İle Aynı Bölgenin Foto-Mozaïği (Altta)

3.2. Ortofoto Haritaların Yararları, Olanakları ve Üstün Tarafları

- Sayısal vektör haritaların üretim süresi ve maliyetinin çok fazla olması ve kullanıcı isteklerinin istenilen zamanda karşılanamaması, buna karşın ortofoto haritaların daha kısa

sürede düşük maliyetle üretilebilmesi, kullanıcı ihtiyaçlarının hızlı ve etkin biçimde ve zamanında karşılanabilmesi,

- Vektör haritalarda bütün planimetrik detayların gösterilememesi, bazılarının unutulması, birtakım detayların gerektiğinde ölçeksiz şekilde ve abartma yapılarak geçtiğinden daha büyük boyutlu sembollerle gösterilmesi, ortofoto haritaların tamamen arazinin gerçeğini yansıtmaması ve herhangi bir abartma veya kaydırmanın yapılamaması,
- Vektör haritalarda sıhhat derecesini önemli derecede etkileyen kartografik çizim hatalarından kaçınılamaması, ortofoto haritalarda ise sayısal veriler üzerinde çok fazla kartografik çizim ve düzeltme işlemlerinin uygulanmaması,
- Vektör haritalarda topoğrafik yeryüzündeki detaylardan sadece ölçeğin gerektirdiği cins ve büyüklükteki elemanların gösterilmesi, ortofoto haritalarda ise arazinin gerçek şekliyle, ölçekli ve fotografik görünümü ile sunulması,
- Ortofoto haritaların, foto-enterpolasyon yöntemi ile arazinin yapısı ve bitki örtüsünün değerlendirilmesinde vektör haritalara göre çok yönlü kullanım olanakları sunması,
- Ortofoto haritaların, sayısal vektör haritalara oranla üretim maliyeti açısından 2-9 kat arasında değişen oranda ekonomiklik, personel, alet ve maliyet tasarrufu sağlaması, ayrıca vektör haritalara eşdeğer doğrulukta üretilebilmesi,
- Ortofoto haritalarda, vektör haritaların gerektirdiği kıymetlendirme ve çizim işlemlerinin büyük oranda azaltılmış olması,
- Sayısal ortofoto harita üretiminde, yer yüzeyini temsil etmek için birbirine çok yakın noktalardan oluşmuş bir ağ (düzenli SYM verileri) kullanıldığından dolayı, sonuç ürünlerin geometrik doğruluğunun oldukça yüksek olması,
- Sayısal ortofotoların, çok bantlı sınıflandırma, görüntü parçalama ve detay tanıma yöntemleriyle analiz edilebilmesi,
- Vektör verilerin, ek bir çalışma yapılmadan bilgisayarda ortofoto görüntülerle birlikte eş zamanlı görüntülenebilmesi,
- Ortofoto mozaiklerini elde etmek ve geniş bir alanı tek bir ortofoto ile temsil etmek için, çok sayıda ortofotonun birleştirilebilmesi,
- Klasik vektör harita üretimine oranla, üretim hızının oldukça yüksek ve üretim maliyetinin düşük olması,
- Arazi üzerindeki istenen veya istenmeyen tüm detayların, arazi örtüsü ve doğal olayların tümünün görüntülenebilmesi,
- Ortofoto haritaların, yapısı itibarıyla doğada ve fiziksel yeryüzünde mevcut tüm olayları, çizgisel ve sayısal vektör haritalarda mevcut tüm detayları ve bilgileri içermesi,
- Üzerinde her türlü üç boyutlu ölçümlerin (uzunluk, alan, koordinat, açı, yükseklik farkı vb.) ve çeşitli mühendislik uygulamalarının (kesit çıkarma, görünürlük analizi, perspektif görüntü alınması vb.) yapılabilmesi,
- Coğrafi veri tabanı ve coğrafi bilgi sistemi oluşturulmasında gerekli vektör verilerin toplanmasında en fazla kullanılan veri kaynaklarından biri olması,
- Birbirini bütünler yapıdaki çeşitli renkli gözlüklerle (kırmızı-mavi veya kırmızı-yeşil) üç boyutlu görüntüleme olanağı sağlayan "anaglif harita"ların üretiminde kullanılan temel veri kaynağı olması sayılabilir (Kraus, 1997; Yaşayan, 1997; Yılmaz, 1998).

3.3. Ortofoto Haritaların Eksik ve Zayıf Tarafları

- Sayısal ortofoto görüntüler ve ortofoto haritalar görünüş itibarıyla iki boyutlu veriler olduğundan, bazı nokta ve çizgi detayların (ark, kanalet, çeşme, kuyu, enerji nakil hattı, telefon hattı vb.) görülmesi, yorumlanması olanaklı değildir. Vektör haritalardaki tüm detay ve öznelik bilgileri modellerden stereo kıymetlendirme ile toplandığı için, daha net, anlaşılır ve yorumlanabilir verilerdir.

- Ortofoto görüntülerin yorumlanması, araziye uygulanması ve üzerindeki detayların teşhis edilmesi özel bilgi, deneyim ve uzmanlık gerektirir. Vektör harita bilgilerinin yorumlanması, analizi, araziye uygulanması ve kullanımı ortofoto haritalara göre daha kolaydır.
- Ortofoto haritaların kaliteli çıktılarının alınması çok hassas çıktı cihazlarının (asgari 2.500-3.000 dpi gibi) kullanımını gerektirir. Vektör harita çıktıları için daha düşük çözünürlüğe sahip sistemler (500-600 dpi gibi) yeterli olabilmektedir.
- Üretilen ortofoto haritaların doğruluğu ve kalitesi, hava fotoğraflarının taranmasında kullanılan fotoğraf tarayıcılarının hassasiyetine, tarama duyarlılığına veya uydu görüntülerinin ayırma gücüne yakından bağlıdır.
- Arazi üzerindeki özellikle istenmeyen tüm detayların, arazi örtüsü ve doğal olayların tümünün görüntülenmesi, bazı durumlarda ortofotoların kullanımını zorlaştırır.
- Hassas ortofoto üretimi için, her zaman yeterli duyarlılıkta SYM verilerine ihtiyaç duyulur (Kraus, 1997; Yılmaz, 1998).

4. SAYISAL (DİJİTAL) ORTOFOTONUN MATEMATİKSEL ESASLARI

Orijinal sayısal görüntünün iç ve dış yöneltmesi yapılırsa, bu görüntü yardımıyla herhangi bir noktanın arazi koordinat sistemindeki koordinatları merkezi izdüşümden yararlanarak bulunabilir. Sayısal (dijital) ortofotonun matematik modeli; tek resim fotogrametrisinde herhangi bir resmin 3 adet iç yöneltme ve 6 adet dış yöneltme parametresinin ya da çift resim fotogrametrisinde herhangi bir stereo modelin toplam 6 adet iç yöneltme ve 12 adet dış yöneltme parametresinin beraberce çözümlenmesine olanak sağlayan, aşağıda Sekil-3'de gösterilen "doğrusallık (kolinearite, doğrudalık, eş doğruluk) koşulu" denklemlerine dayanır (Kraus, 1992)

$$\xi = \xi_0 - c * \left(\frac{r_{11} * (X - X_0) + r_{21} * (Y - Y_0) + r_{31} * (Z - Z_0)}{r_{13} * (X - X_0) + r_{23} * (Y - Y_0) + r_{33} * (Z - Z_0)} \right) \quad (1)$$

$$\eta = \eta_0 - c * \left(\frac{r_{12} * (X - X_0) + r_{22} * (Y - Y_0) + r_{32} * (Z - Z_0)}{r_{13} * (X - X_0) + r_{23} * (Y - Y_0) + r_{33} * (Z - Z_0)} \right) \quad (2)$$

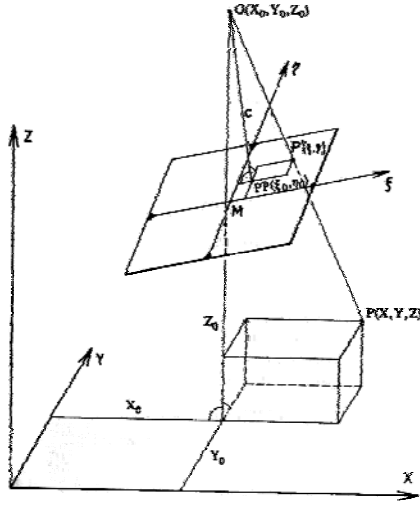
$$X = X_0 + (Z - Z_0) * \left(\frac{r_{11} * (\xi - \xi_0) + r_{12} * (\eta - \eta_0) - r_{13} * c}{r_{31} * (\xi - \xi_0) + r_{32} * (\eta - \eta_0) + r_{33} * c} \right) \quad (3)$$

$$Y = Y_0 + (Z - Z_0) * \left(\frac{r_{21} * (\xi - \xi_0) + r_{22} * (\eta - \eta_0) - r_{23} * c}{r_{31} * (\xi - \xi_0) + r_{32} * (\eta - \eta_0) + r_{33} * c} \right) \quad (4)$$

ξ_0, η_0 = Odak noktasının (PP) görüntü koordinatları,

c = Odak uzaklığı (kamera sabitesi),

X_0, Y_0, Z_0 = Kameraya göre arazi koordinatları,



Şekil-3: Resim ve Arazi Koordinatları Arasındaki İlişkiyi Gösteren Doğrusallık (Kolinearite, Doğrudaşlık) Koşulu

5. DİJİTAL FOTOGRAMETRİK SİSTEMDE STEREO HAVA FOTOĞRAFLARI İLE SAYISAL ORTOFOTO HARİTA ÜRETİMİ AYRINTILI İŞ AKIŞI

Bu yöntemde, sayısal ortofoto harita üretiminde dijital (sayısal) stereo kıymetlendirme sistemleri kullanılmakta, stereo çift oluşturan sayısal hava fotoğrafları veya uydu görüntülerinden oluşturulan stereo modellerden yararlanarak ortofoto üretimi yapılmaktadır. Yöntemin ayrıntılı ana ve alt işlem adımları ve her bir işlem adımında dikkate alınması yararlı görülen teknik hususlar aşağıda sunulmuştur (HGK, 2006; Özbalmumcu, 2006)

5.1. Girdi Verilerinin Hazırlanması (Fotogrametri Birimi);

- Jeodezi Biriminden, iş bölgesine ait paftaların köşe değerleri, nirengi dosyaları ve arazide jeodezik çalışmalarda kullanılacak/kullanılmış olan 1/25.000 ölçekli altlık basılı haritaların temin edilmesi,
- Uçuş Birimi veya Ekibinden kinematik GPS kayıtlarının ve uçuş protokolünün alınması,
- Projede kullanılacak uydu görüntülerinin temini,

5.2. Gerekli Yer Kontrol Noktası (YKN) Planlamasının Yapılması (Fotogrametri ve Jeodezi Birimi);

- Kinematik GPS'li hava fotoğrafı çekimi için gerekli yer kontrol noktalarının seçimi ve planlanması,

5.3. Uçuş Planı Hazırlama (Fotogrametri Birimi ve Uçuş Birimi);

- Bilgisayar destekli otomatik uçuş planı hazırlama programı ile kinematik GPS'li (veya GPS'siz klasik) uçuş için gerekli kolon hatlarının sayısal ortamda grafik olarak çizilmesi ve blokların oluşturulması,

5.4. Uçuş Planının Teslimi (Fotogrametri Birimi);

- Hazırlanan uçuş planı ve YKN planlamasının Jeodezi ve Uçuş Birimine veya Ekibine teslim edilmesi,

5.5. Jeodezik Çalışmalarla Arazide Yer Kontrol Noktası (YKN, Nirengi) Tesisi (Jeodezi Birimi);

- Fotoğraf çekimi için planlanan nirengi noktalarının yerlerinin arazide tespiti ve tesisi işlemleri,
- Nirengi noktalarının kireçlenmesi, işaretlenmesi, ölçümü, üç boyutlu koordinatlarının (X,Y,Z) hesabı,

5.6. Uçuş Yapılması ve Hava Fotoğrafı Çekimi (Uçuş Birimi/Ekibi);

- Uçuş planına uygun olarak uçuşun yapılması ve hava fotoğrafı çekimi,
- Uçuşlarla ilgili Uçuş Protokolünün hazırlanması,
- Film dizgi işlemleri ile tespit edilen eksik uçuşların ve kolon açıklarının ilave uçuşla tamamlanması,
- Uçuş protokolü, kinematik GPS kayıtları ve rulo filmlerin Fotogrametri Birimine teslim edilmesi,

5.7. Foto-Laboratuvar İşlemleri (Foto-Laboratuvar Birimi);

- Hava filmlerinin foto-laboratuvar amaçlı film banyo, fotoğraf kart ve diapositif baskılarının yapılması,

5.8. Fotogrametrik Nirengi Amaçlı Hazırlık İşlemleri (Fotogrametri Birimi);

- İş bölgesini kapsayan hava fotoğraflarının hassas fotoğraf tarayıcıda taranarak sayısallaştırılması,
- Taranmış sayısal hava fotoğraflarının sistemde kullanılan yazılımın iç formatına dönüştürülmesi,
- Kinematik GPS kayıtlarının fotogrametrik nirengi ölçüm ve blok dengeleme sistemine aktarılması,
- Projede uydu görüntülerinin kullanılması halinde, görüntülerin orijinal verisinden okunarak dijital sistemlere aktarılması,

5.9. Proje Oluşturma, İç ve Dış Yönelme, Fotogrametrik Nirengi Ölçümü (Fotogrametri Birimi);

- Önce kullanılacak veri türü (hava fotoğrafı veya uydu görüntüsü) ve geometrik modelin tanımlanması,
- Dijital (sayısal) fotogrametrik sistemde projenin yaratılması ve blokların oluşturulması,
- Fotogrametrik nirengi ölçümü ve dengeleme sisteminde; dilim numarası, dilim orta meridyeni, ölçek faktörü vb. parametrelerin girilerek, uygun projeksiyon sisteminin tanımlanması (1/500-1/10.000 arası büyük ölçekli harita üretimlerinde genellikle TM, 1/25.000 ölçekli harita üretimi çalışmalarında ise UTM veya coğrafi projeksiyon sistemi kullanılır),
- Proje için uygun datumun (ED-50 veya WGS-84) seçilerek datum bilgilerinin sistemde tanımlanması,
- Türkiye genelinde kullanılan ED-50 datum dönüşüm parametrelerinin sisteme girilmesi,
- Yer kontrol noktası özellikleri, yer yarıçapı, ortalama uçuş yüksekliği vb. bilgilerin sistemde tanımlanması,
- Görüntü hızını arttırmak için, taranmış hava fotoğraflarının görüntü piramitlerinin oluşturulması,

- Taranmış hava fotoğrafları veya sayısal uydu görüntülerinin tüm köşe noktalarının ölçülerek iç yönlentmelerinin yapılması (0.5 piksel çözünürlükte) ve yönlentme sonuçlarının kontrol edilmesi,
- Kinematik GPS ölçü ve değerlendirme sonuçlarının fotogrametrik nirengi ölçme sistemine aktarılması,
- Proje alanına giren bütün sayısal hava fotoğrafları üzerinde, fotogrametrik nirengi amaçlı model ve kolon bağlama noktaları ile bilinen yer kontrol noktalarının, seçilen dengeleme modeline (resim, model veya kolon) uygun olarak fotogrametrik nirengi ölçümlerinin yapılması,
- Stereo uydu görüntüleri ile standart ortofoto harita üretiminde; uydu yörünge ve model bilgilerinin sisteme aktarılması, gerekli YKN'larının altlık raster haritada veya arazide üç boyutlu koordinatlarının ölçülmesi, blok oluşturan stereo uydu görüntülerinde fotogrametrik nirengi ölçümlerinin yapılması, YKN, model ve kolon bağlama noktalarının resim (veya model, kolon) koordinatlarının ölçülmesi,
- Projede kullanılan hava fotoğrafları veya uydu görüntüleriyle önceden fotogrametrik nirengi ölçümü ve blok dengeleme işlemleri yapılmışsa, hesaplanan dış yönlentme elemanlarının sisteme aktarılması,

5.10. Fotogrametrik Blok Dengeleme (Fotogrametri Birimi);

- Kinematik GPS ölçümlerinin kontrolü ve dengeleme girdi dosyasının hazırlanması,
- Dengeleme için gerekli tüm parametrelerin ve kriterlerin belirlenerek sistemde tanımlanması ve dengelemede kullanılacak verilerin ve ölçümlerin (YKN koordinatları, fotogrametrik nirengi ölçümleri, kinematik GPS sonuçları gibi) sisteme kopyalanması,
- Dengeleme yazılımı ile fotogrametrik nirengi ölçümleri ve kinematik GPS verilerinin birlikte blok dengelemesinin yapılması,
- Dengeleme sonuçlarının analizi, dengelemenin tekrarı, eksik ve hatalı ölçümlerin yinelenmesi,
- Projede kullanılan hava fotoğrafları veya uydu görüntüleriyle önceden fotogrametrik nirengi ölçümü ve blok dengeleme işlemleri yapılmışsa, hesaplanan dış yönlentme elemanlarının sisteme aktarılması,
- Fotogrametrik nirengi ölçümü ve dengeleme sonuçlarının sayısal ortamda arşivlenmesi,

5.11. Dijital Fotogrametrik Sistemde Planlama, Hazırlık, İç ve Dış Yönlentme İşlemleri (Fotogrametri Birimi);

- Taranmış sayısal görüntülerin ve dengeleme sonuçlarının dijital sistemlere kopyalanması,
- Dijital kıymetlendirme sisteminde proje oluşturularak, blok, kamera ve projeksiyon sistemi bilgilerinin girilmesi (bu adımda, fotogrametrik nirengi ölçüm ve dengeleme sistemindeki işlemlerin aynısı uygulanır),
- Taranmış hava fotoğrafları veya sayısal uydu görüntülerinin tüm köşe noktalarının ölçülerek iç yönlentmelerinin yapılması (0.5 piksel çözünürlükte) ve yönlentme sonuçlarının kontrol edilmesi,
- Proje alanına ait tüm stereo modellerin oluşturulması,

5.12. Stereo Modellerde Sayısal Yükseklik Modeli Verilerinin Toplanması ve Ortofoto Üretimi (Fotogrametri Birimi);

- Stereo modellerde, eş yükseklik eğrileri (münhaniler) ve kot noktalarının üç boyutlu kıymetlendirilmesi,
- Dere, sırt, kokurdan, heyelan, şev, yarma, dolma vb. arazi arızalarında ve eğimin aniden değiştiği yerlerde, kırıklık hatları (break-line) ve kesilecek alanların (cut-out area) sayısallaştırılarak SYM'ye ilave edilmesi,
- Sayısallaştırılan münhani ve kot noktalarından yararlanarak, stereo model alanına ilişkin SAM veya SYM verilerinin üretilmesi,
- Orto-rektifikasyonda uygulanacak örnekleme yönteminin seçilmesi (uygulamalarda, yüksek doğruluk için genellikle "kübik katlama", hızlı ve yaklaşık çözümler için de "en yakın komşuluk örnekleme" yöntemleri kullanılır),
- Mevcut veya ölçülen SYM verilerinden yararlanarak, sayısal hava fotoğrafı veya uydu görüntülerinin orto-rektifikasyonun yapılması ve stereo model alanına ilişkin sayısal stereo (üç boyutlu) ortofotoların üretimi (Şekil-4'te örnek bir ortofoto görüntüsü verilmiştir),



Şekil-4: Dijital (Sayısal) Fotogrametrik Sistemde Stereo Hava Fotoğraflarından Üretilmiş Sayısal Bir Ortofoto

5.13. Ortofoto Görüntülerin Mozaiklenmesi, Sayısal Verilerin Format Dönüşümü ve Arşivlenmesi İşlemleri (Fotogrametri Birimi);

- Mozaiklenecek görüntüler içerisinde renk ve ton farklılığı oluşmaması için, seçilen uygun bir alanda renk dengelemesi işlemlerinin yapılması,
- Mozaikleme öncesi, ortofoto görüntülerin en uygun birleşme sınırlarının seçilmesi ve sayısallaştırılması (manuel sayısallaştırmada ortofotoların birleşme yerleri; sınır çizgileri, yol, nehir, kanal gibi detayların ortasından geçirilir),
- Sayısal (dijital) ortofotoların birleştirilerek mozaiklenmesi ve proje alanına ait foto-mozaik görüntünün elde edilmesi,
- Mozaikleme işleminden sonra oluşan görüntülerin kontrol edilmesi, renk ve ton farkı oluşan bölgelerde

mozaikleme işleminin yeniden yapılması (Şekil-5'te örnek bir foto-mozaik görüntüsü gösterilmiştir),

- Üretilen foto-mozaik görüntülerden standart pafta bazında ortofoto görüntülerin kesilmesi,
- İstenirse, sayısal ortofotolar ile vektör verilerin birleştirilerek beraberce görüntülenmesi ve zenginleştirilmiş ortofoto harita üretimi,
- Ortofoto görüntüler üzerine grid hatları, pafta kenar bilgileri, mevki ve yöre isimleri ve bunlara benzer diğer kartografik bilgiler eklenerek sayısal ortofoto haritaların elde edilmesi,
- Ortofoto ve foto-mozaik görüntülerin kâğıt çıktılarının alınması, sonuç ürünlerin kalite kontrollerinin yapılarak gerekli görülen son düzeltmelerin gerçekleştirilmesi,
- Taranan görüntü verilerinde gerekli format dönüşümlerinin yapılması, taranmış hava fotoğrafları, sayısal uydu görüntüleri, ortofoto ve foto-mozaik verilerinin uygun bir raster veri sıkıştırma yazılımı ile sıkıştırılması, fotogrametrik nirengi ölçümü ve blok dengeleme sonuçlarıyla birlikte manyetik ortamlarda (sayısal) arşivlenmesi,



Şekil-5: Dijital (Sayısal) Fotogrametrik Sistemde Stereo Hava Fotoğraflarından Üretilmiş Bir Ortofoto Mozaik

5.14. Kartografik İşlemler, Basım ve Çoğaltma (Kartografya Birimi);

- Üretimi ve tüm işlemleri tamamlanan ortofoto haritaların ve foto-mozaik görüntülerin kartografik yöntemlerle çoğaltılması için uygun düzenlemelerin ve gerekli format dönüşümlerinin yapılması,
- Ortofoto haritalar ve foto-mozaik görüntülerin kartografik basım ve çoğaltma işlemleri (HGK, 2006; Özbalmumcu, 2006).

6. GÖRÜNTÜ İŞLEME SİSTEMİNDE MONOSKOPIK GÖRÜNTÜLERLE SAYISAL ORTOFOTO HARİTA ÜRETİMİ AYRINTILI İŞ AKIŞI

Bazı durumlarda planlama çalışmalarında kullanma üzere, hızlı şekilde ve nispeten düşük doğruluklu ortofoto harita üretimi tercih edilebilir. Bu yöntem, özellikle şehir planı ihtiyacını karşılamaya yönelik ortofoto mozaiklerin üretiminde kullanılır. Sayısal görüntü işleme sistemlerinde uygulanan bu yöntemde, her bir monoskopik (tek, mono) sayısal hava fotoğrafı veya uydu görüntüsü ayrı ayrı

yataylanmakta ve orto-rektifiye edilmektedir (HGK, 2006; Özbalmumcu, 2006).

Yöntemin, bir önceki hassas ve yüksek doğruluklu ortofoto üretim yönteminden olan en önemli farklılıkları şunlardır;

- Ortofoto üretiminde, stereo yerine monoskopik hava fotoğrafları veya uydu görüntüleri kullanılır.
- Ortofoto üretimleri, dijital kıymetlendirme sistemi yerine sayısal görüntü işleme sistemlerinde gerçekleştirilir.
- Ortofoto üretimi için ihtiyaç duyulan SYM verilerinin üretimi yapılmayıp mevcut verilerden karşılanır.
- Kinematik GPS sonuçlarının projeye dâhil edilmesi zorunlu değildir, ancak istenirse bu veriler dâhil edilebilir.
- Nirengi noktaları (YKN) genellikle mevcut raster veya vektör haritalardan alınır, bu amaçla bütün kolonların baş ve sonlarında 1'er adet, blok kenarlarında 2 modelde bir ve blok içinde 4 modelde bir nirengi noktası ölçümü yapılır.
- Düzgün bir blok geometrisinin sağlanabilmesi için, her bir resimde asgari 9, ideal olarak 15–25 arasında model ve kolon bağlama noktası ölçümü gereklidir.
- Sayılan nedenlerle, ortofoto üretimlerinin hızlı ancak düşük doğruluklu yapılması söz konusudur.

Bu yöntemin işlem adımları ve her bir işlem adımında dikkat edilmesi yararlı görülen hususlar ve teknik esaslar aşağıda özet biçimde sunulmuş olup, aynı işlem adımları ile ilgili ayrıntılı bilgiler bir önceki yöntemden alınabilir.

6.1. Girdi Verilerinin Hazırlanması (Fotogrametri Birimi);

- Jeodezi Biriminden, iş bölgesine ait paftaların köşe değerleri, taranmış raster haritalar, yükseklik paftaları (YÜKPAF), sayısal arazi modeli (SAM) veya sayısal yükseklik modeli (SYM) verilerinin alınması,
- Uçuş Birimi veya Ekibinden kinematik GPS kayıtlarının ve uçuş protokolünün alınması,
- Projede kullanılacak uydu görüntülerinin temini,

6.2. Uçuş Planı Hazırlama (Fotogrametri, Uçuş Birimi);

- Bilgisayar destekli otomatik uçuş planı hazırlama programı ile kinematik GPS'li (veya GPS'siz) uçuş için gerekli kolon hatlarının sayısal ortamda grafik olarak çizilmesi ve blokların oluşturulması,

6.3. Uçuş Planının Teslimi (Fotogrametri Birimi);

- Hazırlanan uçuş planının Uçuş Birimine veya Ekibine teslim edilmesi,

6.4. Uçuş Yapılması ve Hava Fotoğrafı Çekimi (Uçuş Birimi/Ekibi);

- Uçuş planına uygun olarak uçuşun yapılması ve hava fotoğrafı çekimi,
- Uçuşlarla ilgili Uçuş Protokolünün hazırlanması,
- Film dizgi işlemleri ile tespit edilen eksik uçuşların ve kolon açıklarının ilave uçuşla tamamlanması,
- Uçuş protokolü, kinematik GPS kayıtları ve rulo filmlerin Fotogrametri Birimine teslim edilmesi,

6.5. Foto-Laboratuvar İşlemleri (Foto-Laboratuvar Birimi);

- Hava filmlerinin foto-laboratuvar amaçlı film banyo, fotoğraf kart ve diapozitif baskılarının yapılması,

6.6. Hazırlık İşlemleri (Fotogrametri Birimi);

- İş bölgesini kapsayan hava fotoğraflarının hassas fotoğraf tarayıcıda taranarak sayısallaştırılması,
- Taranmış sayısal hava fotoğraflarının sistemde kullanılan yazılımın iç formatına dönüştürülmesi,
- Kinematik GPS kayıtlarının sayısal görüntü işleme sistemine aktarılması (istenirse kullanılabilir),
- Projede uydu görüntülerinin kullanılması halinde, görüntülerin orijinal verisinden okunarak görüntü işleme sistemine aktarılması,

6.7. Görüntü İşleme Sisteminde Üretim Hazırlıklarının Yapılması ve Projenin Oluşturulması (Fotogrametri Birimi);

- Önce kullanılacak veri türü (hava fotoğrafı veya uydu görüntüsü) ve geometrik modelin tanımlanması,
- Taranmış sayısal hava fotoğrafları ile kinematik GPS sonuçlarının sisteme aktarılması,
- Görüntü hızını arttırmak için, taranmış hava fotoğraflarının görüntü piramitlerinin oluşturulması,
- Sayısal görüntü işleme sisteminde yeni bir proje yaratılması (dijital kıymetlendirme sistemindeki işlemlerin aynısı uygulanır),
- Proje için uygun projeksiyon sistemi ve datum parametrelerinin sisteme girilmesi (dijital kıymetlendirme sistemindeki işlemlerin aynısıdır),
- Türkiye genelinde kullanılan ED-50 datum dönüşüm parametrelerinin sisteme girilmesi,
- Ortofoto ve foto-mozaiik üretiminde kullanılacak SAM, SYM veya YÜKPAF verilerinin görüntü işleme sistemindeki formatlara dönüştürülmesi,
- Sayısal hava fotoğrafları veya uydu görüntülerinde çeşitli görüntü zenginleştirme, renk dengelemesi, histogram işlemleri, kontrastlık dengelemesi ve görüntü işleme teknikleri uygulanarak, görüntülerin radyometrik düzeltmelerinin yapılması,

6.8. Register ve Orto-Rektifikasyon İşlemleri İle Ortofoto Üretimi (Fotogrametri Birimi);

- Taranmış hava fotoğrafları veya sayısal uydu görüntülerinin tüm köşe noktalarının ölçülerek iç yönlendirmelerinin yapılması (0.5 piksel çözünürlükte) ve yönlendme sonuçlarının kontrol edilmesi,
- Altlık olarak kullanılan en büyük ölçekli raster veya vektör haritalardan üç boyutlu koordinatları (X,Y,Z) ile alınan yeterli sayı ve dağılımdaki YKN'larının sayısal görüntülerde ölçülmesi ve register işlemi yapılarak görüntünün yer merkezli konumlanması ve geometrik düzeltmesinin gerçekleştirilmesi,
- Kinematik GPS ölçü ve değerlendirme sonuçlarının sisteme aktarılması ve hesaplamalarda kullanılması (bu veriler sisteme dâhil edilebilir),
- Sayısal görüntünün kapladığı alana ait uygun formattaki SAM, SYM veya YÜKPAF verilerinin sisteme aktarılması,
- Orto-rektifikasyonda uygulanacak örnekleme yönteminin seçilmesi (uygulamalarda, yüksek

doğruluk için genellikle "kübik katlama", hızlı ve yaklaşık çözümler için "en yakın komşuluk örnekleme" yöntemleri kullanılır),

- Mevcut SYM verilerinden yararlanarak, her bir sayısal hava fotoğrafı veya uydu görüntüsünün orto-rektifikasyonunun yapılması, görüntünün yataylanması ve sayısal ortofotoların üretimi (Şekil-6'da örnek bir ortofoto görüntüsü mevcuttur),
- Monoskopik uydu görüntüleri ile ortofoto üretiminde; uydu yörünge ve model bilgilerinin sisteme aktarılması, gerekli ve yeterli sayı ve dağılımda YKN'larının üç boyutlu koordinatlarının altlık raster haritadan ölçülmesi, monoskopik uydu görüntülerinde gerekli ölçümlerin ve hesaplamaların yapılması,
- Projede kullanılan hava fotoğrafları veya uydu görüntüleriyle fotogrametrik nirengi ölçümü ve blok dengelemesi işlemleri önceden yapılmışsa, dış yönlendme elemanlarının bu sonuçlardan yararlanarak doğrudan sisteme aktarılması,

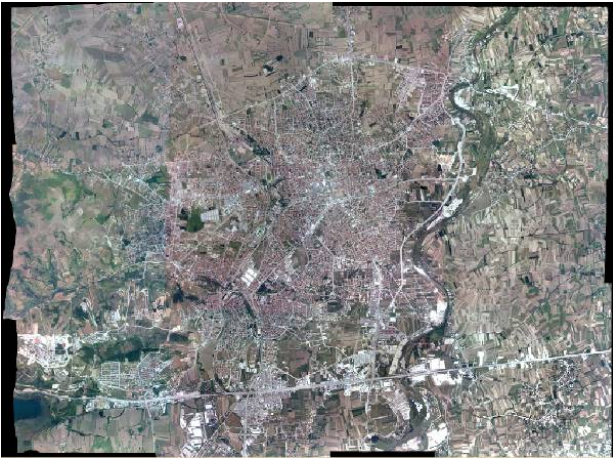


Şekil-6: Sayısal Görüntü İşleme Sisteminde Monoskopik Hava Fotoğrafından Üretilmiş Sayısal Bir Ortofoto

6.9. Ortofoto Görüntülerin Mozaiklenmesi, Sayısal Verilerin Format Dönüşümü ve Arşivlenmesi İşlemleri (Fotogrametri Birimi);

- Mozaiklenecek görüntülerde renk ve ton farklılığı olmaması için, seçilen uygun bir alanda renk dengelemesi işleminin yapılması,
- Mozaikleme öncesi ortofoto görüntülerin en uygun birleşme sınırlarının seçilmesi ve sayısallaştırılması (manuel sayısallaştırmada ortofotoların birleşme yerleri; sınır çizgileri, yol, nehir, kanal gibi detayların ortasından geçirilir),
- Sayısal (dijital) ortofotoların birleştirilerek mozaiklenmesi ve proje alanına ait foto-mozaiik görüntünün elde edilmesi,
- Mozaikleme işleminden sonra oluşan görüntülerin kontrol edilmesi, renk ve ton farkı oluşan bölgelerde mozaikleme işleminin yeniden yapılması (Şekil-7'de örnek bir foto-mozaiik görüntüsü verilmiştir),
- Üretilen foto-mozaiik görüntülerden standart pafta bazında ortofoto görüntülerin kesilmesi,

- İstenirse, sayısal ortofotolar ile vektör verilerin birleştirilerek beraberce görüntülenmesi ve zenginleştirilmiş ortofoto harita üretimi,
- Ortofoto görüntüler üzerine grid hatları, pafta kenar bilgileri, mevki ve yöre isimleri ile bunlara benzer diğer kartografik bilgiler eklenerek sayısal ortofoto haritaların elde edilmesi,
- Ortofoto ve foto-mozaik görüntülerin kâğıt çıktılarının alınması, sonuç ürünlerin kalite kontrollerinin yapılarak gerekli görülen son düzeltmelerin gerçekleştirilmesi,
- Taranan görüntü verilerinin gerekli format dönüşümlerinin yapılması, taranmış hava fotoğrafları, sayısal uydu görüntüleri, sayısal ortofoto ve foto-mozaik verilerinin uygun bir raster veri sıkıştırma yazılımı ile sıkıştırılması, fotogrametrik nirengi ölçümü ve blok dengeleme sonuçlarıyla birlikte manyetik ortamlarda (sayısal) arşivlenmesi,



Şekil-7: Sayısal Görüntü İşleme Sisteminde Monoskopik Hava Fotoğraflarından Üretilmiş Bir Ortofoto Mosaic

Sayısal görüntü işleme sisteminde orto-rektifiye edilmiş (yataylanmış) monoskopik bir uydu görüntüsü ve birbirine komşu 2 adet uydu görüntüsünün birleştirilmiş görüntü mozaığı (foto-mozaik) Şekil-8'de sunulmuştur.

6.10. Kartografik İşlemler, Basım ve Çoğaltma İşlemleri (Kartografya Birimi);

- Üretimi ve tüm işlemleri tamamlanan ortofoto haritaların ve foto-mozaik görüntülerin kartografik yöntemlerle çoğaltılması için uygun düzenlemelerin ve gerekli format dönüşümlerinin yapılması,
- Ortofoto haritalar ve foto-mozaik görüntülerin kartografik basım ve çoğaltma işlemleri (HGK, 2006; Özbalmumcu, 2006).



Şekil-8: Yataylanmış Monoskopik Bir Uydu Görüntüsü (Üstte) ve Uydu Görüntüsü Mozaığı (Altta)

7. ORTOFOTO HARİTALARIN PERSONEL, ALET, ZAMAN VE MALİYET AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Uygun alet ve sistemler kullanılarak ortofotoların ve bu verilerin üzerine kartografik bilgiler eklenerek elde edilen ortofoto haritaların üretilmesinde, üretim maliyeti ile ilgili olarak çeşitli ülkelerde yapılan bazı araştırmalardan elde edilen sonuçlar aşağıda sunulmuştur (OEEPE, 1991);

- İsrail'de yapılan bir araştırmada; 20 km²'lik bir alan kaplayan vektör harita üretimi için 700 saat, ortofoto harita üretimi için 77 saatlik iş gücü harcandığı, ortofoto haritaların vektör haritalara oranla yaklaşık 9 kat daha kısa zamanda üretilebildiği,
- Almanya'da Nort Rhine bölgesinde yapılan bir incelemede; aynı bölgenin ortofoto ve vektör haritalarının üretiminde, zaman, personel ve alet maliyetleri açısından ortofoto haritaların vektör haritalara oranla %30-50 civarında bir tasarruf sağladığı,
- İsveç'in Stockholm kentinde yapılan diğer bir araştırmada; ortofoto haritaların klasik vektör haritalara oranla zaman yönünden 1/1.000 ölçeğinde 2 katı, 1/5.000 ölçeğinde 7 katı ve 1/20.000 ölçeğinde 30 katı daha hızlı olduğu, maliyet yönünden ise 1/5.000 ölçeğinde 3 katı daha ucuz olduğu tespit edilmiştir.
- Ülkemizde ve diğer ülkelerde gerçekleştirilen çalışmalar, harita üreten kuruluşlar bünyesinde yapılan kurumsal bazlı

uygulamalardan edinilen bilgi ve deneyimlere göre, ortofoto haritaların sayısal vektör haritalara oranla üretim süresi bakımından ortalama 5 kat ve üretim maliyeti açısından da yaklaşık 3 kat daha ucuz olduğu,

- Ortofoto haritaların konum ve yükseklikteki hassasiyet derecesi ve içerdiği detay bilgilerinin her ölçekte üretim için yeterli olduğu, büyük ölçekli ortofoto haritaların küçük ölçekli olanlara göre daha kolay ve hızlı üretilbildiği, daha kullanışlı ve kolay yorumlanabilir olduğu,
- Yapılan diğer bir araştırmaya göre, farklı ölçeklerde ortofoto harita üretimi için fotoğraf alımında 152–210 mm arası odak uzaklıklı hava kameralarının kullanılması halinde, hava fotoğrafı ile ortofoto harita ölçekleri arasındaki oranların; 1/1.000 ölçekli ortofoto üretimi için 3.7–4.7, 1/5.000 ölçekli ortofoto için 2.6–3.1, 1/10.000 ölçekli ortofoto için 2.3–2.9 ve 1/25.000 ölçekli ortofoto için 2.2–2.6 arasında alınmasının uygun olabileceği (OEEPE, 1991).
- Verilen bilgilere ek olarak, 1/1.000 ölçekli ortofoto üretimleri için 1/4.000–1/5.000, 1/2.000 ölçekli ortofotolar için 1/8.000–1/10.000, 1/5.000 ölçekli ortofotolar için 1/16.000–1/18.000, 1/10.000 ölçekli ortofotolar için 1/20.000–1/25.000 ve 1/25.000 ölçekli ortofotolar için 1/30.000–1/40.000 arası ölçeklerde hava fotoğrafı kullanılması halinde (ilk değerler ortofoto üretimleri için ideal ölçekleri göstermektedir), ortofoto haritaların ve foto-mozaiğin üretiminde uygun sonuçların elde edilebileceği anlaşılmıştır (OEEPE, 1991; Kraus, 1992).

8. ORTOFOTO HARİTALARIN KULLANIM ALANLARI

- Askerî amaçlı çalışmalarda, harekât ve planlamalarda,
- Çeşitli mühendislik projelerinde ve farklı meslek disiplinlerindeki uygulamalarda; şehir ve bölge planlaması, kentsel ve kadastral uygulamalar, jeoloji ve jeofizik çalışmaları, yol projeleri, ormancılık çalışmaları, arazi yorumlaması ve uygun güzergâh tespitinde,
- Bir bölgede zaman içerisinde meydana gelen değişimlerin ve gelişmelerin (şehirin büyümesi, kaçak yapılaşma, ağaçlandırma çalışmaları, deniz ve su kirlenmesi, orman tahribi, çölleşme, sulu ve ekilebilir alanların azalması, baraj, göl ve nehirlerdeki su durumunun incelenmesi vb.) belirli aralıklarla takibi, kontrolü ve verilerin güncellenmesinde,
- Yangın, sel, deprem, heyelan vb. gibi ani ve hızlı gelişen ve değişen doğal olayların görüntülenmesinde ve etkilerinin belirli periyotlarla incelenmesinde,
- Herhangi bir proje ile ilgili yaklaşık maliyetlerin hesaplanmasında, bir proje kapsamında ayrıntılı çalışmalara ve büyük çaplı yatırımlara geçmeden önce, ön etüt, deneme amaçlı üretim, test ve pilot projelerin gerçekleştirilmesinde,
- Önceki yıllarda üretilmiş muhtelif ölçekli sayısal vektör haritaların hızlı bir şekilde güncellenmesine olanak sağlayan monoskopik harita revizyonunda ve anaglif haritaların üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır (Yılmaz, 1998)

9. SONUÇ VE ÖNERİLER

- Teknolojik gelişmeler neticesinde, hava fotoğrafları ve uydu görüntülerinden yararlanarak ortofoto haritaların üretiminde karşılaşılan sorunlar asgari düzeye inmiş, personel, alet, zaman ve maliyet tasarrufu sağlanmış, sayısal görüntülerdeki çözünürlüğün artmasıyla birlikte üretilen ortofoto haritaların çözünürlükleri ve hassasiyetleri de artmış, her seviyedeki kullanıcı isteklerine yanıt verebilecek düzeye erişmiştir.

• Son yıllarda, fotogrametri ve uzaktan algılama uygulamalarında kullanılan alet ve sistemlerde de önemli gelişmeler meydana gelmiş; özellikle dijital (sayısal) fotogrametrik kıymetlendirme sistemlerinde oluşturulan stereo modellerde, sayısal vektör harita üretimi yanında, sayısal arazi modeli ve sayısal yükseklik modeli verilerinin, ortofoto ve foto-mozaik görüntülerin hızlı bir biçimde ve yüksek doğrulukta üretimleri olanaklı hale gelmiş; ayrıca sayısal görüntü işleme sistemlerinde ve kullanılan gelişmiş yazılımlarda, mevcut SYM verileri yardımıyla monoskopik hava fotoğrafı ve uydu görüntülerinden ortofoto ve foto-mozaiğin üretilmesi, bu görüntülerle mevcut sayısal vektör haritaların monoskopik yöntemle revizyonunun yapılması yaygınlaşmaya başlamıştır (OEEPE, 1996).

• Aynı veri kaynakları kullanılarak, daha uzun zaman alan vektör harita üretimleri yapılmadan önce, çok daha kısa zaman aralıklarında sayısal veya kâğıt çıktı olarak üretilen ortofoto haritaların; sınırlı bazı eksik tarafları yanında pek çok üstünlüklere sahip olması, araziye ilişkin üç boyutlu sayısal verilerin hızlı bir biçimde elde edilebilmesi, sayısal monoskopik veya stereoskopik hava fotoğrafları veya uydu görüntüleriyle üretimlerinin yapılabilmesi nedeniyle, sivil ve askerî amaçlı pek çok uygulamalarda, özellikle hızlı çözüm gerektiren proje ve çalışmalarda, doğru, güncel, güvenilir ve yorumlanabilir bir veri kaynağı olarak kullanılabilirliği düşünülmektedir.

• Yapılan araştırmalardan edinilen bilgilere göre, Amerika Birleşik Devletleri, Kanada, Avustralya gibi geniş yüzölçümüne sahip ülkelerde; oldukça uzun zaman alan ve yüksek maliyet gerektiren sayısal vektör haritaların üretimlerinin ülke genelinde tamamlanması beklenmeden aynı veri kaynakları (hava fotoğrafları veya uydu görüntüleri) kullanılarak, daha hızlı, ekonomik ve esnek çözümler sağlayan orta ve büyük ölçekli ortofoto harita üretimlerinin uzun yıllar boyunca başarıyla sürdürüldüğü ve ülke genelinde yaygın bir biçimde kullanıldığı; söz konusu ülkelerde, ihtiyaç duyulan alanlara ilişkin 1/1.000–1/25.000 arası ölçeklerde ortofoto harita üretimlerinin yanı sıra, hava fotoğrafları ile 1/50.000 hatta 1/25.000 ölçekli ortofoto harita üretimlerinin ülke genelinde tamamlandığı ve belirli periyotlarla güncellenmesinin yapıldığı anlaşılmıştır (OEEPE, 1991).

• Yakın gelecekte, diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de, özellikle coğrafi bilgi sistemleri, sayısal coğrafi ve raster veri tabanlarının oluşturulmasında ortofoto haritaların yaygın olarak kullanılması beklenmektedir.

• Ortofotonun, günümüzde yaygın kullanılmasına en canlı ve güncel bir örnek olarak, çeşitli orta ve yüksek çözünürlüklü uydu görüntülerinden üretilen sayısal ortofotolara dayalı olarak oluşturulan ve böylece dünyanın istenilen herhangi bir bölgesini görüntüleyebilme olanağı sağlayan “google.earth” vb. web tabanlı uygulama yazılımlarının tüm dünyada yaygın bir biçimde kullanılması gösterilebilir.

• Verilen bilgiler ışığında, araziye ilişkin güncel, doğru ve güvenilir bilgilerin hızlı bir biçimde temin edilmesine ihtiyaç duyulması halinde; özellikle arazi topoğrafyasında zamanla meydana gelen ani ve hızlı değişimlerin ve gelişmelerin periyodik olarak görüntülenmesinde ve buna benzer çeşitli proje ve çalışmalarda, ülkemizde yakın gelecekte ortofoto haritaların da vektör haritalar gibi yaygın bir şekilde kullanılabilirliği değerlendirilmektedir.

Kaynakça:

BÖHMBÜY, 2005, “Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği”, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü (TKGM), Ankara.

Erdoğan, M., Yılmaz, A., 2002, “*The Usage Of Digital Orthophoto Maps In Urban Areas*”, “The Third International Symposium of Remote Sensing of Urban Areas”, İTÜ, İstanbul.

HGK, 2006, “*Sayısal Ortofoto Harita Üretimi Çalışmalarına İlişkin Teknik Esaslar*”, Harita Genel Komutanlığı, Ankara.

HGKS 125-1, 2003, “*Haritacılık Terimleri Sözlüğü*”, Harita Genel Komutanlığı Matbaası, Dikimevi, Ankara.

ISPRS, 2004, “*The XXth Congress Of The International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*” Notes and Documents, Volume-1, 2, 3, 4, İstanbul.

İTÜ, 1.UZAL-CBS Çalıştay, Kasım 2006, “*1’inci Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri (UZAL-CBS-2006) Çalıştay ve Paneli*” Bildirileri ve Notları, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, İstanbul.

Kraus, K., 1992, “*Photogrammetry Volume-I: Fundamentals and Standard Processes Of Photogrammetry*”, Fourth Edition, Ferd.Dümmler Verlag Publication, Vienna, Austria.

Kraus, K., 1997, “*Photogrammetry Volume-II: Advanced Methods And Applications Of Photogrammetry*”, Fourth Edition, Ferd.Dümmler Verlag Publication, Vienna, Austria.

OEEPE, 1991, “*Test On Orthophoto And Stereo Orthophoto Accuracy*”, European Organisation for Experimental Photogrammetric Research, OEEPE Official Publication, No: 25, Enschede, Netherlands.

OEEPE, June 1996, “*Workshop On Application Of Digital Photogrammetric Workstations*”, European Organisation for Experimental Photogrammetric Research, OEEPE Official Publication, No: 33, Enschede, Netherlands.

Özbalmumcu, M., 2006, “*Fotogrametri-3 Ders Notları*”, Harita Yüksek Teknik Okulu (HYTO), Harita Genel Komutanlığı, Dikimevi, Ankara.

Yaşayan, A., Ocak 1997, “*Fotogrametri-III Ders Notları*”, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul.

Yılmaz, A., 1998, “*SPOT Stereo Uydu Görüntülerinden Ortofoto ve Foto-Mozaik Üretimi Doğruluğunun Araştırılması*”, Lisans Tezi, Harita Yüksek Teknik Okulu (HYTO), Harita Genel Komutanlığı, Dikimevi, Ankara.

ZKÜ-2’inci Eğitim Kursu, Kasım 2006, “*Sayısal Hava Kameraları ve Lazer Tarayıcıları Özel Konulu Uzaydan Harita Yapımı 2’nci Eğitim Kursu*” Konuları, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Zonguldak.