

Fotogrametrik nirengiyle üretilen ortofoto haritalar ile koordinat altyapısındaki değişimlerin analizi: İzmit Körfezi örneği

Ozan Arslan¹, Kubilay Yağcıoğlu²

¹Kocaeli Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 41001 Kocaeli

²Kocaeli Üniversitesi, FBE Jeodezi ve Jeoinformasyon Müh. ABD, 41001 Kocaeli

Anahtar Kelimeler

Ortofoto
Fotogrametrik nirengi
GPS
Doğruluk

ÖZ

Dijital fotogrametrik nirengi yöntemiyle üretilen ortofoto haritaların doğruluk değerlendirmesi, üretim sürecini etkileyen çok sayıda parametre olması nedeniyle karmaşık bir konudur. Bu çalışmada Kocaeli ilinde kinematik GPS/IMU destekli fotogrametrik nirengi yöntemiyle üretilen 1:5000 ölçekli sayısal fotogrametrik harita ve ortofotoların geometrik doğruluğunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Proje sahasında blok içinde yer alan yer kontrol ağının geometrik doğruluk kalitesi, üretilen haritaların doğruluğuna yansıtacağından göz önünde bulundurulması gereken bir husustur. Kocaeli kenti Kuzey Anadolu Fay Sistemi üzerinde bulunduğundan, bölgede zeminin jeoteknik özellikleri nedeniyle mevcut yer kontrol ağı noktalarında ve özellikle İzmit Körfezi kıyı boyunca zeminde kararsızlık problemi olduğu da bilinmektedir. Bu nedenle belirtilen problemin, projede fotogrametrik nirengi blok doğruluğuna ve 15 cm yer örnekleme aralığı ile üretilen ortofoto haritaların doğruluk değerlerine hangi düzeyde yansıdığını araştırmak önem kazanmıştır. Bu amaçla zemin kararsızlığı tespit edilmiş olan körfez kıyı alanlarında GPS ile arazi kontrol ölçmeleri yapılarak doğruluk değerlendirmesi yapılması planlanmış ve belirtilen sahalarda dijital ortofoto üzerinde seçilen detaylar, arazide kontrol amaçlı olarak GPS ile ölçülmüş ve elde edilen nokta konum koordinatları karşılaştırılmıştır. Arazi ve ortofoto üzerinden üretilen noktaların planimetrik doğruluklarının ortalaması 31.5 cm olarak elde edilmiş olup; harita ölçeği dikkate alındığında elde edilen sonuç bulguların BÖHYH'de öngörülen hata sınırları içerisinde ve uluslararası standartlara da uygun olduğu görülmüştür.

Analysis of changes in coordinate infrastructure with the aid of orthophoto maps produced by photogrammetric triangulation: The case of the Izmit Gulf

Keywords

Orthophoto
Photogrammetric
triangulation
GPS
Accuracy

ABSTRACT

Accuracy evaluation of orthophoto maps produced by digital photogrammetric triangulation method is a complex issue due to the large number of parameters affecting the production process. In this study, it was aimed to evaluate the geometric accuracy of 1: 5000 scale digital photogrammetric maps and digital orthophotos produced by kinematic GPS / IMU supported photogrammetric triangulation in Kocaeli. The geometric accuracy quality of the ground control network located in the block at the project site is an issue that should be taken into consideration as it will reflect on the accuracy of the maps produced. It is known that due to the geotechnical characteristics of the ground in the region, there is a problem of instability in the ground at the existing ground control network points and especially along the coast of Izmit Bay. For this reason, it has become important to investigate to what extent the specified problem is reflected in the accuracy of the photogrammetric triangulation block and the accuracy values of orthophoto maps produced with 15 cm ground sample distance. For this purpose, accuracy assessment was planned by making field control measurements with GPS in the coastal areas of the bay where ground instability was determined, and the details selected on the digital orthophoto in the specified areas were measured with GPS for control purposes in the field and the obtained positional coordinates were compared. The average planimetric accuracies of the points produced on the field and orthophoto were obtained as 31.5 cm; considering the scale of the map, it has been observed that the obtained results are within the error limits foreseen in BÖHYH and are in accordance with international standards.

*Sorumlu Yazar

Kaynak Göster:

(oarslan@kocaeli.edu.tr) ORCID ID 0000-0003-1441-2965
(kubilay.map@gmail.com) ORCID ID 0000-0002-1497-2965

Arslan O & Yağcıoğlu K (2021). Fotogrametrik nirengiyle üretilen ortofoto haritalar ile koordinat altyapısındaki değişimlerin analizi: İzmit Körfezi örneği. Türkiye Fotogrametri Dergisi, 3(2), 37-45

1. Giriş

Hız, maliyet ve doğruluk yönündeki avantajları nedeniyle digital fotogrametrik nirengi otomasyon sistemleri, standart harita üretimindeki potansiyelini gittikçe arttırmaktadır. Kinematik GPS destekli digital fotogrametrik nirengi tekniğinde, kamera izdüşüm merkezi koordinatları ve yönelmelerinin yüksek incelikli rölatif kinematik GPS/IMU tekniği ile belirlenmesi ve bu şekilde elde edilen verilerin tümleşik blok dengelemesinde kullanılmasıyla arazide kontrol noktası ihtiyacının azalması sayesinde fotogrametrik nirengide önemli gelişmeler sağlanmıştır. GPS/ IMU verilerin fotogrametrik nirengi sistemine entegrasyonu ile dış yönelmenin yüksek doğrulukla ölçümü ve otomatik görüntü eşlemenin kalitesinde sağlanan gelişmeler, fotogrametrik blokların geometrik stabilitesinin ve güvenilirliğinin artışı ve dolayısıyla otomatik digital fotogrametrik nirenginin gelişmesini sağlamıştır.

Fotogrametrik nirengi ağında kalite kontrolü açısından, üretilen nokta koordinatlarının hassasiyetinin belirlenmesi amacıyla standart hata yayılma yasası kullanılarak fotogrametrik blokta her bir parametrenin nokta konum duyarlılığına etkisi ortaya konabilir. Digital ortofoto üretimi için bir fotogrametrik nirengi çalışmasında geometrik doğruluğu etkileyen çeşitli faktörler vardır: Görüntü ve resim koordinat sistemleri arasındaki dönüşüm parametrelerinin doğruluğu, demet dengelemesi ile kestirilen dış yönelme parametreleri (bağlama ve kontrol noktalarının resim koordinatlarına bağlı), belirtilen noktalar digital görüntüler üzerinden ölçüldüğünden resim koordinatlarının doğruluğu üzerinde görüntü-resim dönüşümü etkisi, bu dönüşümün dış yönelme parametrelerinin doğruluğuna etkisi, SAM noktalarının/ veritabanının yükseklik doğruluğu, ..vb. bu faktörler arasındadır (Höhle,1996; Li vd. 2002; O'Hara vd., 2010).

Dijital ortofoto üretimi, çeşitli aşamalardan oluşan ve her adımda ortofotoları yayılabilecek hata kaynaklarını içeren karmaşık bir süreçtir. Bu nedenle üretilen dijital ortofotoların doğruluk değerlendirmesi karmaşık bir konudur. Ortofoto doğruluğu birçok parametreye bağlı olduğundan, nihai doğruluk, çeşitli parametreler üzerindeki değerlerin seçimine bağlı olarak değişkenlik gösterir. Son zamanlarda insansız hava araçları (İHA) ile elde edilen dijital ortofotoların konumsal kalitesi üzerine çok sayıda araştırma yapılmıştır. İHA ortofotolarının, uluslararası haritalama hizmetleri tarafından kullanılan çeşitli mekansal kalite standartlarını tatmin edici bir şekilde sağladığı gösterilmiştir (Arslan ve Yılmaz 2020; Sai vd., 2019; Mesas-Carrascosa, vd., 2014; Dalamagkidis, vd., 2008; Chiabrando, vd. ark., 2011; Grenzdörffer, vd., 2008, Udin ve Ahmad, 2014; Wierzbicki vd. 2015, Zhu vd. 2008). Diğer taraftan kentsel alanlarda hava görüntülerinin neden olduğu geleneksel orto görüntü sorunları, özellikle insan yapımı nesnelere neden olduğu rölyef yer değiştirmeleri, engeller ve bilgi kaybıyla ilgili çalışmalara da rastlanabilir. Sayısal yükseklik modellerine dayalı olarak daha hassas orto görüntüler üretmek için yaklaşımlar sunulmuştur (Amhar ve Ecker, 1995; Rau ve diğerleri, 2002; Ettarid ve diğerleri, 2005). Binaların (ve diğer nesnelere) yüzeylerinin otomatik

olarak çıkarıldığı, distorsiyonsuz bir orto-görüntünün otomatik olarak oluşturulmasını öneren çalışmalar da vardır (Fradkin ve Ethrog, 1997; Smith, vd., 1997).

Bu çalışmada, " Kocaeli İl Sınırları Dahilinde 1/5000 Ölçekli Sayısal Fotogrametrik Halihazır Harita Yapımı İşi (2019) "adlı projede üretilen sayısal ortofotoların doğruluğunun araştırılması amaçlanmıştır (Arslan, 2019). Kocaeli kenti Kuzey Anadolu Fay Sistemi üzerinde bulunduğu yer kontrol ağı noktalarında ve özellikle İzmit Körfezi kıyı boyunca zeminde kararsızlık problemi olduğu da bilinmektedir. Bu nedenle belirtilen problemin, projede fotogrametrik nirengi blok doğruluğuna ve üretilen ortofoto haritaların doğruluk değerlerine hangi düzeyde yansıdığı araştırılmak üzere çalışılmıştır. Bu amaçla proje kapsamında üretilmiş olan ortofotolardan yararlanarak nokta konum doğruluklarının araştırılması için; ortofotodan elde edilen detaylar, arazide kontrol amaçlı olarak GPS ile ölçülmüş ve nokta konum koordinatları karşılaştırılmıştır.

2. Yöntem

Bir orto-görüntünün doğruluğunu etkileyen çok sayıda parametre olduğundan söz edilmişti. Bloklar için aynı doğruluk ve konfigürasyonlar kullanılsa bile, arazinin farklı alanları/ bölümleri için farklı doğruluk değerleri elde edilebilmektedir. Şekil 1, blok hatalarını etkileyen veya oluşturan çeşitli parametrelerin sıralı etkilerini zincir şeklinde göstermektedir. Test çalışmaları, bir ortofotonun doğruluğunun SAM hatalarının yanında, kontrol noktalarının yer koordinatlarına; bağlama noktaları, kontrol noktaları ve resim/ görüntü ölçümlerindeki hatalara bağlı olarak değişkenlik gösterebileceğini kanıtlamıştır. Şekildeki yapıya uygun olarak orto-görüntünün geometrik doğruluğunun kestirimi için hata yayılma yasasını esas alan genel bir yaklaşım Krupnik (2003) tarafından verilmiştir.

Ortogörüntü üzerindeki geometrik hata miktarını hesaplamak için, bir DEM noktasının bir görüntü noktasına izdüşürülmesi durumunda; görüntü ve yer koordinat sistemlerinin yaklaşık paralel olduğu varsayılarak, yer koordinat sistemi açısından kovaryans matrisi için

$$\Sigma_{XY} = \frac{S \Sigma_{HI}}{10^{-6} S_R}$$

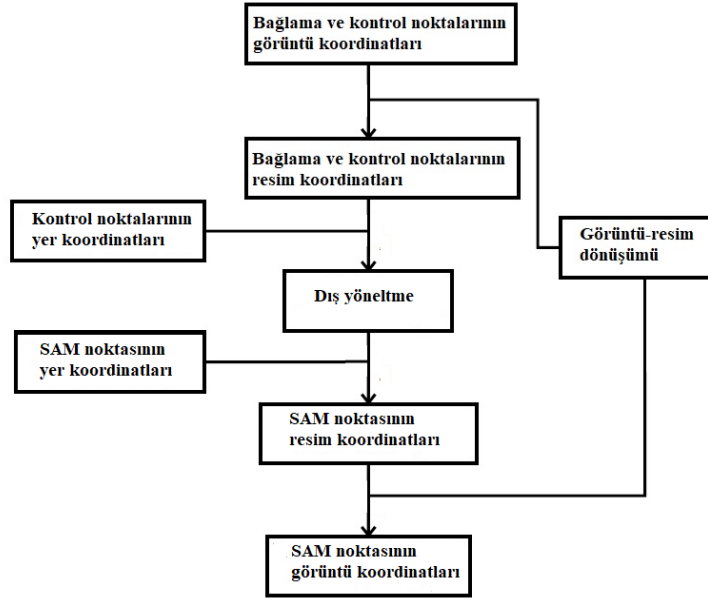
eşitliği yazılabilir. Burada S : resim ölçeği ve S_R : piksel boyutu'nu (µm biriminde) göstermektedir. Yer yüzeyinin yatay olmaması halinde bu hata miktarı artacaktır. Bağlıtıda Σ_{HI} sayısal yükseklik (arazi) modeli noktasının görüntü koordinatları kovaryans matrisi olup aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$\Sigma_{HI} = B \begin{bmatrix} \sigma_{hg}^2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \Sigma_{CI} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \Sigma_{FI} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \Sigma_{CG} \end{bmatrix} B^T$$

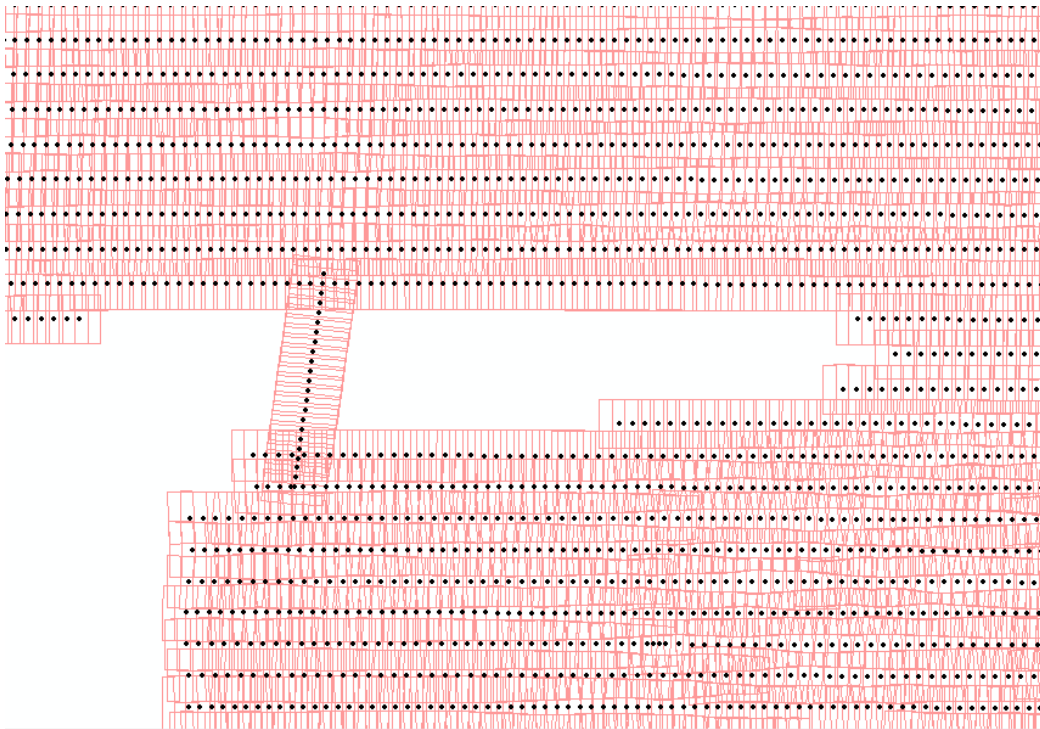
Burada σ_{hG}^2 :SYM noktasının yüksekliğinin varyansını, Σ_{CI} : bağlama ve kontrol noktalarının görüntü koordinatları kovaryans matrisini, Σ_{fI} : dönüşüm noktalarının görüntü koordinatları kovaryans matrisini, Σ_{CG} : psöydo gözlemlerin kovaryans matrisini ve **B**: ilişkili parametrelere göre fonksiyonların kısmi türevlerini içeren alt matrislerdir. Bu yazımın kapalı bir form olduğunu ve alt matrislerden oluşan bir yapıya sahip olduğu dikkate alınmalıdır. Bu eşitlik, fotoğraftan dijital görüntüye olacak biçimde zeminden izdüştürülen bir SAM noktasının görüntü koordinatlarının kovaryans matrisini vermektedir. Bu kovaryans matrisi, yüzey

eğiminin ortofoto doğruluğu üzerindeki etkisini yansıtmadığını belirtmek gerekir.

Uygulamada genel olarak fotogrametrik projelerde konum doğruluğu deneysel anlamda ve yer kontrol noktaları kullanılarak belirlenmektedir. BÖHHBÜY'nin fotogrametrik nirengi sonuçlarının değerlendirilmesi ile ilgili maddesinde (Madde 61); blok dengelemesi sonucunda denetleme noktalarının karesel ortalama hata sınırı, üretilecek harita veya ortofotonun yer örnekleme aralığı cinsinden tanımlanmıştır. Ayrıca denetleme noktalarında hesaplanacak maximum farklar yine yer örnekleme aralığı (GSD) cinsinden verilmiştir.

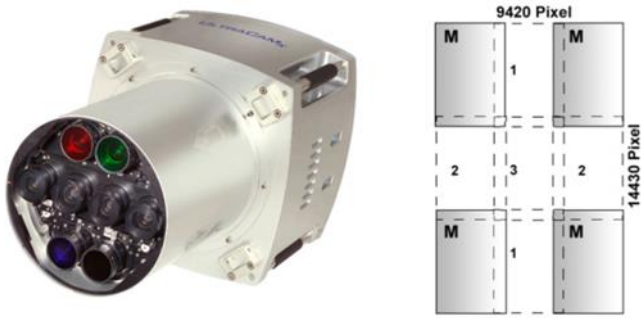


Şekil 1. Ortofoto üretimi için fotogrametrik nirengide doğruluğu etkileyen parametre akış şeması (Krupnik 2003)



Şekil 2. Projede uçuş planında oluşan kolonlar ve fotoğraf çekim noktalarının konumu

Hava Fotoğraflarının alımı Vexcel UltraCAMX kamerası ile kinematik GPS/ IMU destekli olarak yapılmıştır. UltraCamX sensör başlığı dijital çerçeve kamera olarak tasarlanmıştır. 4'ü geniş formatlı pankromatik görüntüyü, 4'ü de çok-bandlı spektral görüntüyü oluşturan sekiz bağımsız kamera konisinden oluşur. UltraCamX'in sensör kafası, her biri 12 bitten fazla radyometrik bant genişliğinde 16 mega piksel görüntü bilgisi üreten yüksek performanslı CCD sensör ünitesi ile donatılmıştır Görüntü formatı çapraz (uçuş yönüne dik) doğrultuda 14430 piksel ve uçuş yönünde 9420 pikselden oluşmaktadır. Kolonlar arasında % 25 enine örtü oranı ile, 15 cm piksel boyutunda arazide 1650 m' den fazla alanı kaplamaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. UltraCAMX kamerası

Tablo 1. Uçuş planlamasına ait teknik bilgiler

Kullanılan YKN sayısı	1380
Uçuş Eksenine Dik Kenar (Piksel)	14430
Uçuş Eksenine Paralel Kenar (Piksel)	9420
Piksel Büyüklüğü (mikron)	7.2
Odak Uzaklığı (mm)	100.5
Ortalama GSD (cm)	15
Ortalama Uçuş Yüks. (m)	2094
Kullanılan YKN sayısı	1380
Arazide Uçuş Eksenine Dik Kenar (m)	2164.5
Arazide Uçuş Eksenine Paralel Kenar (m)	1413
Fotoğraf Ölçeği	20833
Harita Ölçeği	5000
Boyuna Örtü Oranı (%)	70
Enine Örtü Oranı (%)	30
Baz Uzunluğu (m)	424
Uçuş Eksenleri Arası Mesafe (m)	1515
Tüm Kolonlardaki Fotoğraf Sayısı	7288
Bir Fotoğrafın Arazide Kapladığı Alan (m ²)	3058439
Stereo Model Alanı (m ²)	642209

Uçuşla ilgili teknik parametreler Tablo 1'de özetlenmiştir. Üretilen ortofoto görüntüler için doğruluk gereksinimleri düşünüldüğünde, fotogrametrik nirengi noktaları ve planimetrik harita için belirlenen

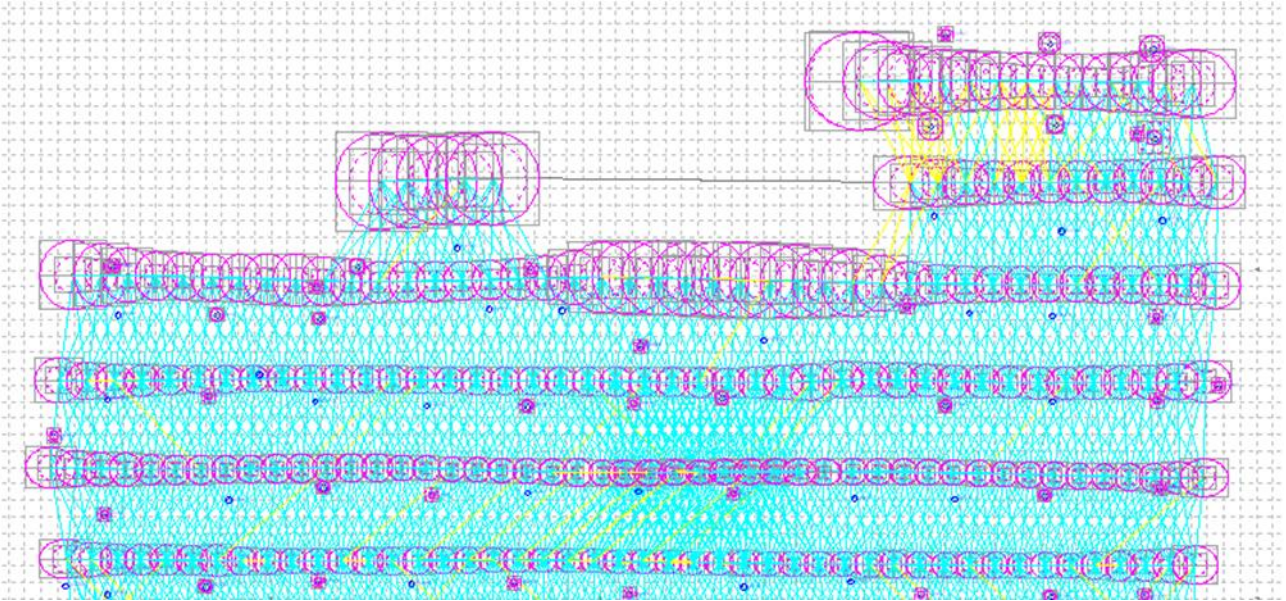
uluslararası ölçütler göz önünde bulundurulmuş ve Amerikan Fotogrametri ve Uzaktan Algılama Cemiyeti (ASPRS) bünyesinde oluşturulan "Harita Doğruluk Standartları Çalışma Grubu"nun (ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data) hazırladığı 2014 yılı kataloğuna göre öngörülen kriterlere (ASPRS 2015) uygun olduğu tespit edilmiştir (Tablo 2).

Genel olarak fotogrametrik nirengi ağının doğruluk dengelemesinde göze çarpan bir genel husus; özellikle körfez kıyı bölgelerinde hata elipslerin büyüklüğünün diğer bölgelere oranla daha fazla oluşudur. Şekil 4'te fotogrametrik blokta Körfezin güneyinde bloğun bir bölümüne ait fotogrametrik nirengi noktalarının hata elipsleri gösterilmektedir. Kıyı bölgelerine yakın alanlardaki nokta hata elipslerinin büyüklüğüne dikkat edilmelidir. Bu sistematik davranış sebebiyle, belirtilen alanlardaki nokta doğruluklarının daha düşük ve kararsız olacağı, böylece bunlara dayalı olarak üretilen haritaların konumsal doğruluklarının etkilenebileceği düşünülebilir. Ancak hata elipsleri ile tanımlanan nokta duyarlık değerlerinin (büyüklük olarak) belirttiğimiz sınırlar içinde kaldığını da vurgulamak gerekir. (Bu bölgelerde koordinat düzeltmeleri 5 cm' nin altındadır). Bu nedenle bu alanda bulunan noktaların kalitelerinin incelenmesinin gerekli olduğu kanaati oluşmuştur.

Bu bölgede zemin çökmelerinin haritalanması hedefine yönelik olarak yapılan bir araştırmada benzer sonuçlara ulaşılmış olması; sistematik bir mekansal değişkenliğin olduğunu ortaya koymaktadır. Söz konusu çalışmada, İzmit Körfezi'nde 8 yıllık yatay ve düşey yönlü deformasyon gelişimini ortaya çıkarmak için kontrol ölçmeleri gerçekleştirilmiş olup, araştırma projesinde İzmit Körfezi ve çevresinde zemin sıvılaşması ve kentleşme kaynaklı yer çökmelerinin haritalanması amaçlanmıştır. 2010 yılında tesis ve ölçmeleri gerçekleştirilen Kocaeli Büyükşehir Belediyesi fotogrametrik GPS ağı verileri, çalışma alanında mevcut istasyonlara ait yerel yer değiştirme büyüklüklerini tespit etmek için esas alınmıştır. Toplam 20 yer kontrol noktası Ocak 2018'de yeniden ölçülmüş ve değerlendirilmiştir. Aynı noktalarda 2010 yılının orijinal verileri de bu doğrultuda yeniden değerlendirilmiş ve sabit bir istasyona göre yatay ve düşey konum değişimleri hesaplanmıştır. Sonuçlara göre, en büyüğü 33 cm'ye varan zemin çökme büyüklükleri, körfez kıyı boyunca ve dolgu alanlarında anlamlı düşey deformasyonlar bulunduğunu göstermiştir (Üstün ve diğ., 2018).

Tablo 2. Fotogrametrik nirengi ve YKN Doğruluk Gereksinimleri, ortofoto ve/veya planimetrik veri için

Ürün Doğruluğu (RMSE _x , RMSE _y) (cm)	Fotogrametrik nirengi doğruluğu		YKN Doğruluğu	
	RMSE _x ve RMSE _y (cm)	RMSE _z (cm)	RMSE _x ve RMSE _y (cm)	RMSE _z (cm)
30	15	30	7.5	15
15	7.5	15	3.7	7.5



Şekil 4. Fotogrametrik nirengi dengeleme sonucunda hesaplanan körfezin bir bölümüne (güney) ait noktaların hata elipsleri

3. Arazi kontrol ölçmeleri

Anılan bu projede ulaşılan bulgulara göre körfez kıyı boyunca ve dolgu alanlarında anlamlı deformasyonlar saptanmış olması; bu projedeki fotogrametrik bloklarda hesaplanan dengeleme sonuçları ile uyumaktadır. Geçen süre dikkate alındığında, noktaların yıllık yer değiştirme miktarlarına göre bahse konu bölgelerde oluşan değişimlerin fotogrametrik nirengi hesap sonuçlarına yansımaları mümkündür. Anılan bölgelerde hesaplanan nokta hata elipslerinin büyüklüğü (duyarlılığın görece düşüklüğü) bu sebeple açıklanabilir. Belirtilen sebeplerle hem fotogrametrik nirengi bloklarını hem de üretilen ortofotonun geometrik kalitesini sorgulamak üzere arazide yapılan kontrol

ölçüleri ile denetleme yapılması uygun görülmüştür (Arslan 2019). Bu amaçla özellikle zemin kararsızlığı tespit edilen kıyı bölgelerinde arazi kontrol ölçmeleri yapılması planlanmıştır (Tablo 3). Şekil 5a ve 5b' de arazide bu amaçla GPS ölçüsü yapılan denetleme noktalarını göstermektedir. Proje kapsamında üretilmiş olan ortofotolardan yararlanarak nokta konum doğruluklarının araştırılması için; ortofotodan elde edilen vektör verileri ile üretilen dijital grafik dosyalara ait detaylar, arazide de kontrol amaçlı olarak GPS ile ölçülmüş ve nokta konum koordinatları karşılaştırılmıştır. Tablo 3' te bu amaçla ölçülen noktaların bir kısmına yer verilmiştir.



Şekil 5a. İzmit Körfezi kıyı bölgelerinde kontrol ölçü örnekleri (kırmızı noktalar GPS ölçüleridir)



Şekil 5b. Kontrol ölçmeleri örneği

Tablo 3. Kontrol amaçlı olarak ölçülen GPS ve ortofoto nokta koordinatları ve farklar

NN	ARAZİ (GPS) ÖLÇÜLERİ			ORTOFOTO (Harita) KOORD.			Koordinat Farkları		
	Y (m)	X (m)	h(m) (Elip.)	Y	X	H Ort,El	dY(m)	dX(m)	dH(m)
30	491404.338	4513739.727	37.537	491404.483	4513739.864	0.859	0.145	0.137	-0.2548
44	491421.465	4513703.282	37.621	491421.485	4513703.322	1.069	0.02	0.04	-0.1288
230	491449.803	4513782.418	38.701	491449.679	4513782.241	2.287	-0.124	-0.177	0.0092
229	491449.899	4513781.801	38.688	491449.878	4513781.742	38.457	-0.021	-0.059	-0.231
228	491450.147	4513781.301	38.686	491450.341	4513781.18	2.287	0.194	-0.121	0.0242
2	491450.393	4513711.188	37.641	491450.613	4513711.182	1.069	0.22	-0.006	-0.1488
3	491452.419	4513708.928	37.649	491452.497	4513708.774	1.069	0.078	-0.154	-0.1568
82	491457.449	4513759.461	37.569	491457.493	4513759.689	37.058	0.044	0.228	-0.511
..

Yukarıdaki şekillerde (5a ve 5b) kontrol amaçlı olarak düzenlenen örnek ölçü krokilerinde, kırmızı ve yeşil renkte gösterilen noktalar arazide GPS ile kontrol ölçüsü yapılan noktalardır. Raster ve vektör haritalar üretilen ortofoto haritalardan elde edilmiştir. Yapılan ölçülerin tümü bu çalışmada gösterilemeyeceğinden, bu şekiller doğruluk araştırması hesaplamalarına örnek oluşturması açısından burada kısmen yer verilmiştir. Söz konusu noktalar ile kontrol amaçlı olarak hesaplanan koordinat ölçü farkları yardımıyla konumsal doğruluk araştırması yapılmıştır. Genel olarak hesaplanan karşılaştırma sonuçları BÖHY' de öngörülen hata sınırları içerisinde. Arazide ve görüntüler üzerinde kolayca seçilebilecek noktaların arazi ve ortofotodan elde edilen koordinatlarının karşılaştırılması ile hem alanda fotogrametrik olarak üretilen noktaların konum doğrulukları ve üretilen ortofotoların konumsal

doğrulukları da denetlenmiş olacaktır. Arazide nokta adları belirtilen 150 adet nokta, kontrol amaçlı olarak arazide ölçülmüş ve ortofotodan elde edilen koordinat değerleri ile karşılaştırmak üzere Tablo (3 ve 4)' de düzenlenmiştir. Koordinat farklarından yararlanarak hesaplanan konumsal hatalar ve istatistikleri bu tabloya göre hesaplanmıştır. Koordinat farkları (dY, dX) na ait histogram Şekil 6'da gösterilmiştir. Bahsedilen doğruluk analizine ilişkin bağlantılar aşağıda kısaca özetlenmiştir:

Arazide GPS ile ölçülen koordinat değerleri (X_i^A, Y_i^A) ile ortofotodan elde edilen koordinat değerleri (X_i^O, Y_i^O) arasındaki farklar:

$$\begin{aligned} dX_i &= X_i^A - X_i^O \\ dY_i &= Y_i^A - Y_i^O \\ d_p &= \sqrt{dX^2 + dY^2} \end{aligned}$$

olup koordinat eksenleri yönünde standart sapmalar:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum(dX_i - \bar{dX})^2}{n-1}}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum(dY_i - \bar{dY})^2}{n-1}}$$

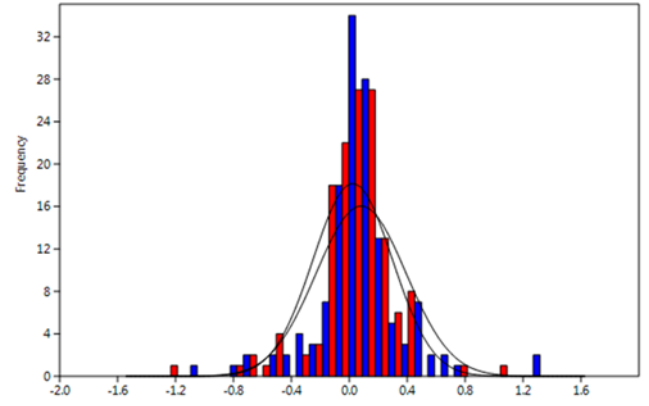
olup, bağıntılarda geçen \bar{dX} ve \bar{dY} : aritmetik ortalama'dır.

Tablodan yararlanarak koordinat farkları ile nokta konum hatasının tanımlayıcı istatistik değerleri tablo 4'te özetlenmiştir. Ortofotosu yapılmış hava fotoğrafı üzerinden belirlenen 150 noktanın arazi ve harita üzerinden üretilen koordinatlarının konumsal hata doğruluk ortalaması 31.5 cm olarak elde edilmiştir. Konum hatalarının varyansı ise 7.8 cm civarındadır.

Tablo 4. Kontrol noktalarından hesaplanan açıklayıcı istatistik ve hata değerleri

	dX[m]	dY[m]	Konum hatası (dP) [m]	(dH) [m]
Ort.	0.0229	0.0809	0.3146	-0.0279
Varyans	0.0749	0.0961	0.0785	0.2183
Medyan	0.0400	0.0780	0.2322	-0.1198

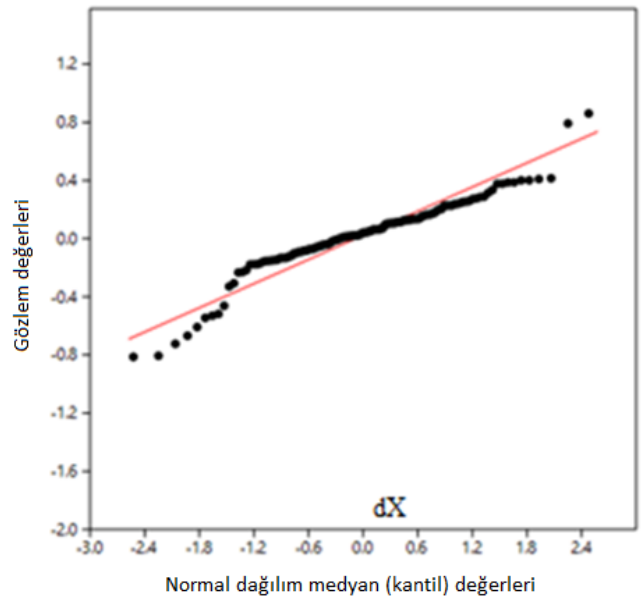
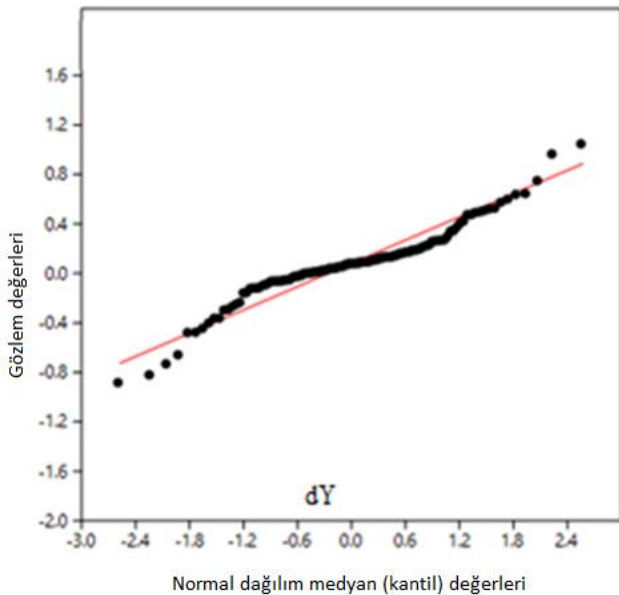
Arazide yapılan koordinat ölçümleri ile ortofoto koordinatları arasındaki (X,Y) yönlerindeki koordinat farkları elde edilerek istatistiksel değerlendirmesi yapılmıştır. dY, dX koordinat farkları için ayrı ayrı istatistiksel değerlendirmeler yapılmış olup, elde edilen hata miktarlarının normal dağılıma uygun olup olmadığı test edilmiştir (Şekil 7a,b). Ayrıca gruplar için varyans homojenlik testi (Levene's test) 0,9999 (p) olasılık seviyesinde sağlanmıştır.



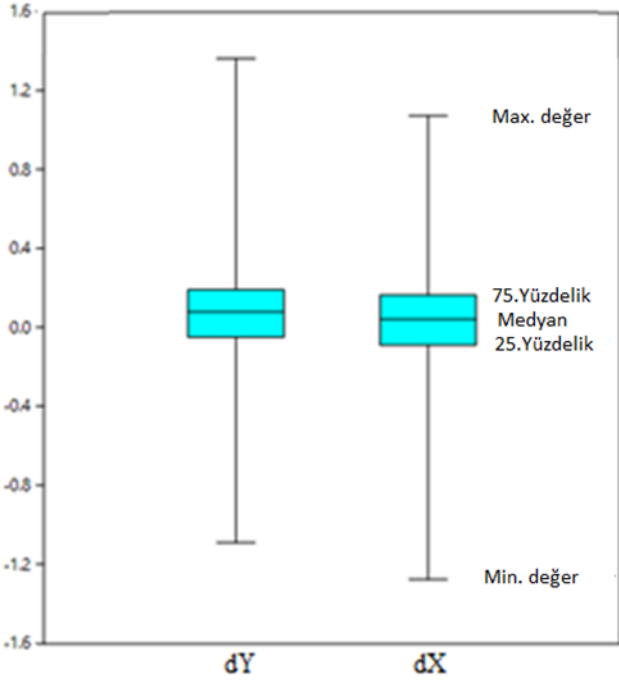
Şekil 6. Kontrol ölçüleri ile belirlenen koordinat farkları (dX, dY) histogramı

Veri kümelerinin dağılım özelliğinin istatistiksel testlerin yanı sıra grafiksel yöntemlerle de incelenmesi amacıyla; Q-Q grafiği ve kutu-grafiklerinden de yararlanılabilir. Koordinat farkları setlerinin normal dağılıma sahip ve simetrik dağılıma uygun özellikte olduğu Şekil 7'de gösterilen Q-Q grafiği (gözlemler doğru etrafında yayılış göstermekte) ve kutu- grafik çizimlerinden (medyan çizgileri incelendiğinde) anlaşılmaktadır.

Kontrol amaçlı olarak hesaplanan Y koordinat farkları için veri grupları arasında istatistiksel anlamlı farklılıklar olup olmadığını test etmek üzere, iki örneklemlili t-testi uygulanmış (n1: 137, n2: 137, T= -0,000579, t(0.01;272) = 2,594025; T<t) ve p: 0,99954 olasılığı ile (anlamlılık düzeyinde) anlamlı bir farklılık olmadığı (Ho hipotezinin reddedilemeyeceği) tespit edilmiştir. F testi 0,99984 olasılık düzeyinde bir sonuç vermiştir. Benzer şekilde X koordinat farkları için (n1: 137, n2: 137, T=-8,045E-05, t(0.01;272) = 2,594025; T<t) ve p: 0,99954 anlamlılık düzeyinde bir farklılık olmadığı tespit edilmiştir. Gruplar arasında farklılık olmadığı, görsel olarak kutu-grafiğindeki medyan çizgilerinden de kolayca anlaşılmaktadır (Şekil 7).



Şekil 7a. Koordinat farkları için normallik testleri



Şekil 7b. Koordinat farkları için kutu grafikleri

4. Sonuç

Bu çalışmada, İzmit Körfezi ve çevresinde zemin sıvılaşması ve kentleşme kaynaklı yer çökmelerinden kaynaklı yer değiştirmelerin üretilen ortofoto harita doğruluğuna hangi düzeyde yansıdığı araştırılmıştır. Körfez kıyı boyunca ve dolgu alanlarında anlamlı düşey deformasyonlar bulunduğu önceden saptanmış olduğundan; bu bölgede üretilen 1/5000 ölçekli ortofoto haritaların geometrik doğruluğuna ne ölçüde yansıdığını incelemek üzere sözkonusu bölgede arazi kontrol ölçüleri yapılmıştır. Yapılan kontrol ölçüleri, projede üretilen ortofoto haritaların ölçeği de dikkate alındığında ve arazide yapılan ölçmelerden kaynaklanabilecek hata faktörleri de göz önünde bulundurulduğunda, üretilen sonuç konumsal doğruluk değerlerinin kabul edilebilir nitelikte olduğu ortaya konmuştur.

Körfez kıyı bölgelerinde karşılaşılan rölatif duyarlık değişiminin, fotogrametrik nirengi hesap sonuçlarına ve üretilen haritalara etkisi incelenmiş ve öngörülen sınırlar içinde kaldığı görülmüştür. Projede fotogrametrik olarak üretilen nokta koordinat duyarlılıkları ve buna bağlı ortofoto haritaların doğruluk seviyelerinin ulusal ve uluslararası standartlara uygun olduğu tespit edilmiştir.

Çalışmada fotogrametrik nirengi ağı dengelemesinde özellikle körfez kıyı bölgelerinde hesaplanan nokta hata elipslerinin büyüklüğü dikkat çekicidir. Kıyı bölgelerine yakın dolgu alanlarındaki hata elipsleri diğer bölgelere nazaran belirgin biçimde daha büyük olup; bu alanlarda zeminde oluşan yer çökmelerinden kaynaklı deformasyonlarla doğrudan bağlantılı olduğu ileri sürülebilir. Bu yönüyle bu çalışma, geniş alanları kapsayan proje sahalarında mevcut koordinat altyapısındaki değişimlerin tespiti ve izlenmesinde standart jeodezik tekniklere alternatif olarak fotogrametrik nirengi tekniğinden de yararlanılabileceğini gösteren bir araştırma niteliğindedir. Ayrıca Körfez bölgesi gibi depremselliği

yüksek alanlarda, zeminde zamanla oluşan yer değiştirmelerinin hızlı biçimde tespiti hedefine yönelik olarak yapılacak çalışmalarda, bu teknikten kolaylıkla yararlanılabileceğini ortaya koymuştur.

Bilgilendirme/Teşekkür

“Kocaeli İli 1/5000 Ölçekli Sayısal Fotogrametrik Hâlihazır Harita ve Renkli Ortofoto Harita Üretimi” projesinde (2019) Fotogrametri Teknik Raporu hazırlanması için davette bulunan Kocaeli Büyükşehir Belediyesi'ne ve verilerin temininde kolaylık sağlayan “Kutlubey Harita İnş. Müh. San. Tic. A.Ş.” firmasına teşekkürlerimizi sunarım.

Araştırmacıların katkı oranı

Ozan Arslan: Literatür taraması, fotogrametrik uygulama hesaplamaları, doğruluk analizi, yorumlamalar, makale yazımı. **Kubilay Yağcıoğlu:** Arazi ölçmeleri, koordinat hesapları, değerlendirme ve analiz

Çatışma beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

- Arslan O & Yılmaz P (2020). Evaluating the Geometric Accuracy of Large Scale Digital Orthophotos Produced from Aerial Photography, *IJGEO* 7(3): 265-271 (2020) 271
- Amhar F & Ecker R (1995). Accurate Mapping of Buildings in Digital Orthophotos, *Proceeding of 17th International Conference of Cartography*, Barcelona, pp. 605 – 609
- Arslan O (2019). Kocaeli İli 1/5000 Ölçekli Sayısal Fotogrametrik Hâlihazır Harita ve Renkli Ortofoto Harita Üretimi Fotogrametri Teknik Raporu (Fotogrametrik Nirengi Dengeleme)
- ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. (2015), *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 81(3), 1-26
- Chiabrando F, Nex F, Piatti D & Rinaudo F (2011). UAV and RPV Systems for Photogrammetric Surveys in Archaeological Areas: Two Tests in The Piedmont Region (Italy). *Journal of Archaeological Science*, 38(3), 697–710. doi: 10.1016/j.jas.2010.10.022
- Dalamagkidis K, Valavanis KP & Piegl LA (2008). Current Status and Future Perspectives for Unmanned Aircraft System Operations in the US. *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, 52(2), 313–329. doi: 10.1007/s10846-008-9213-x
- Ettarid M, Ait M'hand A & Aloui R (2005). Digital True Orthophotos Generation, From Pharaohs to Geoinformatics FIG Working Week 2005 and GSDI-8 Cairo, Egypt
- Fradkin M & Ethrog U (1997). Feature matching for automatic generation of distortionless digital orthophoto. *Integrating Photogrammetric Techniques with Scene Analysis and Machine Vision III* (Eds. D. M. McKeown, Jr., J. C. McGlone and O. Jamet). SPIE 3072: 153–164.

- Grenzdörffer G, Engel A & Teichert B (2008) The Photogrammetric Potential of Low-Cost UAVs In Forestry and Agriculture. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 31, 1207–1214
- Joachim H (1996). Experience with the production of digital orthophotos. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(10), 1189-1194.
- Krupnik A (2003). Accuracy Prediction for Ortho-Image Generation, *The Photogrammetric Record*, 18(101), 41-58. doi: 10.1111/0031-868x.t01-1-00001
- Li D, Gong J, Guan Y & Zhang C (2002). Accuracy analysis of digital orthophotos", *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 36, 241-244
- Mesas-Carrascosa F, Rumbao I, Berrocal J & García-Ferrer A (2014). Positional Quality Assessment of Orthophotos Obtained from Sensors Onboard Multi-Rotor UAV Platforms. *Sensors*, 14(12), 22394–22407. doi: 10.3390/s141222394
- O'Hara C, Cary T & Schuckman K (2010). Integrated Technologies for Orthophoto Accuracy Verification and Review, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 76, 1097-1103, (2010)
- Rau, Jiann-Yeou, Chen N Y & Chen L C (2002). True Orthophoto Generation of Built-up Areas Using Multi-View Images. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 68(6). 581-588.
- Sai S S, Tjahjadi M E & Rokhmana C A (2019). Geometric Accuracy Assessments of Orthophoto Production from UAV Aerial Images, GEODETA 2019 *The 1st International Conference on Geodesy, Geomatics, and Land Administration 2019*, 333-344.
- Smith M J, Smith D G, Tragheim G & Holt M (1997). DEMs and Ortho-Images from Aerial Photographs. *The Photogrammetric Record*, 15(90), 945–950. doi: 10.1111/0031-868x.00104
- Udin W S & Ahmad A (2014). Assessment of Photogrammetric Mapping Accuracy Based on Variation Flying Altitude Using Unmanned Aerial Vehicle. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 18, 012027. doi: 10.1088/1755-1315/18/1/012027
- Üstün A, Erener A, Konak H, Küreç P, Güvenaltın M A, Yalvaç S & Çomut F C (2018). An Eight-Year Displacement Investigation in İzmit Bay Based on GPS Control Survey, *Türkiye Ulusal Jeodezi ve Jeofizik Birliği Bilimsel Kongresi (TUJJBK)*, 30 Mayıs-2 Haziran 2018, İzmir
- Wierzbicki D, Kedzierski M & Fryskowska A (2015). Assesment of the Influence of UAV Image Quality on the Orthophoto Production. ISPRS- *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XL-1/W4, 1–8. doi: 10.5194/isprsarchives-xl-1-w4-1-2015.
- Zhu L, Umakawa H, Guan F, Tachibana K & Shimamura H (2008). Accuracy Investigation of Orthophotos Obtained From High Resolution Satellite Stereo Pairs, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, vol. 371, 1145-1148



© Author(s) 2021. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>