

<http://doi.org/10.58225/sw.2024.2-94-99>

## PILOTSUZ UÇUŞ APARATLARI İLƏ ƏLDƏ EDİLMİŞ ORTOFOTOLARIN DƏQİQLİYİNİN TƏDQIQI

**Piriyev Rölən Fəxrəddin oğlu** - baş müəllim, Geomatika kafedrası, AzMİU,  
rolanpiriyev.rp@gmail.com

**Cəfərov Tariyel İlham oğlu** - baş müəllim, Geomatika kafedrası, AzMİU,  
tariyel.jafarov@azmiu.edu.az

**Məmmədova Mehriban Vəli qızı** - baş müəllim, Geomatika kafedrası, AzMİU,  
emil\_8185@mail.ru

**Xülasə:** Son illərdə texnologiyanın inkişafı ilə fotoqrammetrik işlərdə pilotsuz uçuş aparatlarından (PUA) geniş istifadə olunmağa başlanılmışdır. PUA-lardan istifadə ilə ərazinin topoqrafik planın tərtibi, rəqəmsal səth modelinin hazırlanması kimi işləri qısa zaman ərzində və iqtisadi cəhətdən səmərəli şəkildə yerinə yetirmək mümkündür. Tədqiqat işində PUA-lar vasitəsilə əldə edilən ortofotoların mövqe dəqiqliyi araşdırılmışdır. Belə ki, müxtəlif yüksəkliklərdə, fərqli şəkildə bucaqları ilə əldə edilmiş ortofotoların mövqe dəqiqliyi müqayisə edilmişdir. Müqayisəni aparmaq üçün ərazidə yerləşdirilmiş yoxlama nöqtələrinin koordinatları GNNS qəbulediciləri ilə müəyyən edilmişdir. Nəticədə şəkildə bucaqlarını nəzərə alaraq  $45^{\circ}$  şəkildə bucağından istifadə etməklə əldə edilən ortofotoların nöqtə mövqe dəqiqliyi yüksək olmuşdur. Şəkildə hündürlüklərini dəyərləndirdikdə isə 60 m hündürlük və  $90^{\circ}$  şəkildə bucağı ilə alınmış ortofotoların nöqtə mövqe dəqiqliyi ən yüksək olmuşdur.

**Açar sözlər:** PUA, fotoqrammetriya, ortofoto, rəqəmsal səth modeli, şəkildə yüksəkliyi

## INVESTIGATION OF THE ACCURACY OF ORTHOPHOTOS OBTAINED BY UAVS

**Piriyev Rolan Fakhraddin** - senior lecturer, Department of Geomatics, AzUAC,  
rolanpiriyev.rp@gmail.com

**Jafarov Tariyel Ilham** - senior lecturer, Department of Geomatics, AzUAC,  
tariyel.jafarov@azmiu.edu.az

**Mammadova Mehriban Vali** - senior lecturer, Department of Geomatics, AzUAC,  
emil\_8185@mail.ru

**Abstract.** In recent years, with the development of technology, unmanned aerial vehicles (UAVs) have been widely used in photogrammetric work. With the use of UAVs, it is possible to perform tasks such as drawing up a topographical plan of the area, preparing a digital surface model in a short time and economically efficiently. In the study, the positional accuracy of orthophotos obtained by means of UAVs was investigated. Thus, the positional accuracy of orthophotos obtained at different heights and with different photographing angles was compared. For comparison, the coordinates of the inspection points placed in the area were determined by GNSS receivers. As a result, taking into account the photographing angles, the point position accuracy of the orthophotos obtained using the  $45^{\circ}$  photographing angle was high. When evaluating the photographing heights, the point position accuracy of the orthophotos taken at a height of 60 m and a photographing angle of  $90^{\circ}$  was the highest.

**Keywords:** UAV, photogrammetry, orthophoto, digital surface model, photo elevation

**Giriş.** Fotogrammetriyanın əsas rolu yer səthində yerləşən təbii və texnoloji xüsusiyyətlərin məkan vəziyyətini müəyyən etməkdir[2]. Fotogrammetriyanın hazırkı vəziyyəti son bir neçə on illiklə müqayisədə bir çox texnoloji irəliləyişə nail olmuşdur[4]. Son illərdə rəqəmsal fotoqrammetriya tədqiqatlarında Pilotsuz Uçuş Aparatlarına (PUA) inteqrasiya olunmuş rəqəmsal kameralarla əldə edilən təsvirlərdən istifadə kifayət qədər geniş yayılmışdır. PUA-lar sürət, xərc və dəqiqlik kimi bir

çox üstünlüklərinə görə müxtəlif sahələrdə geniş şəkildə istifadə olunmağa başlamışdır. PUA vasitəsi ilə aparılan tədqiqatlar yer fotoqrammetriyasının dəqiqliyinə yaxınlaşır və qısa müddətdə işləri tamamlamaq baxımından bir çox fərqli sahədə tətbiq olunma imkanı qazanır.

Klassik hava fotoqrammetriyasında istifadə olunan təyyarələrdən fərqli olaraq, PUA-lar obyektə yaxın və aşağı hündürlükdə uçmaq imkanı verir. Pilotlu təyyarələrdən istifadənin mümkün olmadığı bəzi hallarda alternativ üsul kimi PUA-lar tövsiyə olunur. Bundan əlavə, kiçik miqyaslı klassik hava fotoqrammetriya tətbiqlərində rast gəlinən yüksək məlumat həcmi və xərclərdən fərqli olaraq, PUA-lardan istifadə etməklə böyük miqdarda qənaət əldə edilə bilər. PUA-lar vasitəsi ilə əldə edilən təsvirlərdən yüksək keyfiyyətli rəqəmsal yüksəklik modelinin yaradılmasında və obyektlərin 3D modelləşdirilməsində istifadə olunur[3].

Fotoqrammetrik əməliyyatları yerinə yetirərək şəkilləri yenidən korrektə etməklə ortofotolar hazırlamaq və bu təsvirlər üzərində vektorizasiya işləri aparmaq olar. Ortofoto, həndəsi düzəlişlər edilərək miqyasa gətirilən havadan çəkilmiş şəkildir[1]. Bu tədqiqat çərçivəsində həm eyni hündürlükdə, həm də müxtəlif hündürlüklərdə və fərqli çəkiliş bucaqlarından əldə edilən şəkillərdən istifadə edilərək hazırlanan ortofotoların dəqiqliyi araşdırılmışdır.

**Metod və tədqiqat üsulları.** PUA-lardan əldə edilən görüntüləri müxtəlif fotoqrammetrik proqram təminatlarında bir sıra üsullarla emal etmək mümkündür. Bu üsulların fotogrametrik əsasının eyni olmasına baxmayaraq kompüter vasitəsilə görüntü işləmə texnikalarında fərqli alqoritmlərdən istifadə edilməsi məlumatların qiymətləndirilməsində yeni perspektivlərin formalaşmasına səbəb olmuşdur.

Klassik fotoqrammetrik üsullardan istifadə etməklə PUA vasitəsi ilə əldə edilən yüksək ayırdetməyə malik təsvirlərin emalı çox çətin və vaxt aparan bir işdir. Bu məqsədlə böyük məlumat dəstlərinin işlənməsi üçün PUA təsvirlərinin qiymətləndirilməsində kompüter görmə texnikalarından geniş istifadə olunmağa başlanmışdır[5]. Bu üsulla stereo şəkillərdə rəng, ton, miqyas dəyişikliyi və ya şəkillərdə təkrarlanan quruluşa malik çəmənliklərdə, ağaclıq ərazilərdə, meşə sahələrində və şəhər ərazilərində deşifrəlmə əməliyyatı müvəffəqiyyətlə həyata keçirilə bilər.

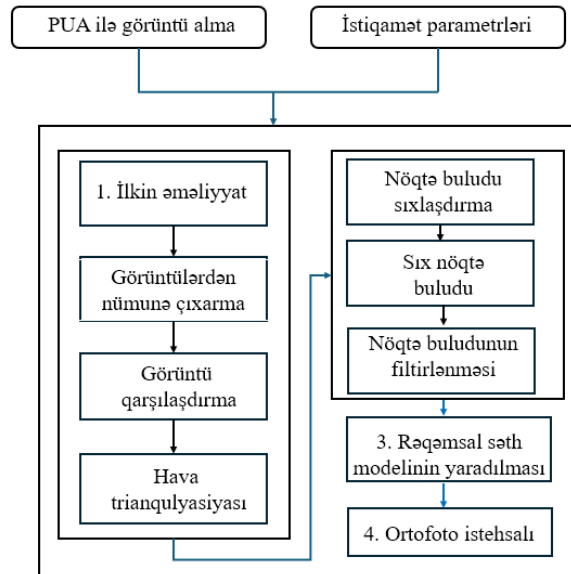
Kompüter proqramlarında şəkillərdəki əlaqə nöqtələrini tapmaq üçün obyekt tanıma alqoritmlərindən daha çox istifadə olunur. Bu, obyektin tanınması, görüntü emalında diaqnostika, müdafiə sənayesi, təhlükəsizlik və ya hədəfin müəyyən edilməsi kimi bir çox müxtəlif sahələrdə tətbiq olunur.

Tətbiq olunan obyekt tanıma üsulunu istifadə məqsədi müəyyən edir. Obyektin tanınması həm görünüşə, həm də xüsusiyyətə əsaslanaraq həyata keçirilə bilər. Atribut əsaslı obyektin tanınması üsulları obyektin qlobal və ya regional atributlarının istifadəsinə görə fərqləndirilir. Dəyişkən şərtlərin varlığı və ən mühüm çətinləşdirici amil olan obyektin başqa obyektlər tərəfindən əngəllənmiş olması vəziyyəti səbəblərilə, regional xüsusiyyətlərdən faydalanaraq deşifrəlmə işləri həyata keçirilmişdir. Beləliklə, obyektlər bütövlükdə müstəqil olaraq təyinediləbilən olmuşdur.

Təsvirin eyniləşdirilməsi prosesindən sonra, təsvirin əldə edilməsində istifadə olunan kameranın daxili və xarici cəhət elementlərindən istifadə etməklə, eyniləşdirilmiş pikselin 3D koordinatları hesablanır. Buradaki əsas problem prosesin qarışıq olması, eyniləşdirmə prosesinin dəqiqliyinin bir çox faktora bağlı olmasıdır. Qarşılaşılan problemləri həll etmək üçün həm fotoqrammetriya, həm də kompüterlə görmə sahəsində bir çox üsullar təklif edilmişdir. Bu kontekstdə istifadə edilən ən məşhur yanaşma SGM-dir (Yarı Qlobal Eyniləşdirmə). Sıx görüntü uyğunlaşdırma alqoritmlərindən istifadə etməklə sıx nöqtə buludları yaradılır və istehsal olunan rəqəmsal səth modelinin sıxlığı stereo şəkillərin yer müşahidə intervalına bərabər ola bilər [6].

Yaradılmış DEM üzərindən ortofotolar yaratmaq üçün təsvirlər ortotransformasiya olunmalıdır. Ortotransformasiya edərək şəkil məlumatlarının dəqiq məsafəsini, mövqeyini, bucağını və sahəsini ölçmək mümkündür.

Müasir dövrdə kommersiya məqsədli hazırlanmış proqram təminatları daxili və xarici cəhətləndirmə işlərini yerinə yetirmək üçün öz alqoritmlərinə malikdir. Bunun sayəsində PUA təsvirlərinə həndəsi düzəlişlər etmək mümkündür. Kompüter görmə əsaslı proqram təminatından istifadə edərək şəkillərin qiymətləndirilməsində iş prosesi Şəkil 1-də göstərilmişdir.



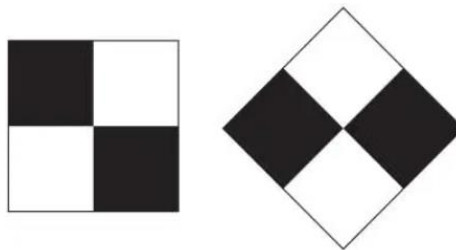
**Şəkil 1.** Kompüterdə şəkillərin emalı prosesinin sxemi [6]

Tədqiqat sahəsi olaraq Bakı şəhəri Nərimanov rayonu ərazisində 7 hektarlıq ərazi götürülmüşdür (Şəkil 2).



**Şəkil 2.** Tədqiqat sahəsinin görüntüsü [6]

PUA-ya inteqrasiya olunmuş GPS qəbuledicisi ilə xarici cəhət elementləri müəyyən edilmiş fotoşəkilləri koordinata gətirmək üçün tədqiqat sahəsini əhatə edəcək şəkildə 10 yer yoxlama nöqtəsi təsis edilmişdir. Yer yoxlama nöqtələrinin fotoqrammetrik qiymətləndirmə mərhələsində aydın şəkildə görünməsinə təmin etmək üçün 60cm x 60cm ölçülərində dizayn edilmişdir (Şəkil 3).



**Şəkil 3.** Yer yoxlama nöqtələri [6]

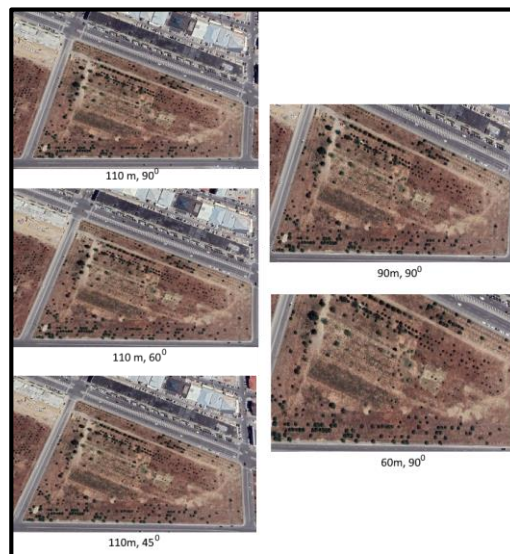
**Müzakirələr:** Yer nəzarət nöqtələrinin koordinatlarının təyin edilməsində ölkəmizdə olan mövcud standartlara istinad olunmuşdur. Nöqtələr bütün tədqiqat sahəsini əhatə etməklə ərazinin coğrafi şəraiti, çoxyolluğun qarşısını maksimum alacaq şəkildə təsis edilmişdir.

Nöqtələrin koordinatları iki tezlikli GNSS qəbulediciləri ilə təyin edilmişdir. Ölçmələrdə sürətli statik üsuldən istifadə etməklə 30 dəqiqə müddətində müşahidələr aparılmışdır. Məlum olduğu kimi sürətli-statik üsul 20 km-dən qısa bazislərin ölçülməsində tətbiq edilir. Bu üsul ilə bazisləri 5-10 mm + 1ppm həssasiyyətində ölçmək mümkündür. Tarazlaşdırma işləri Leica Geo Oficce proqram təminatında aparılmışdır. Tarazlaşdırma nəticəsində nöqtələrin koordinatlarının təyin edilməsindəki orta kvadratik xəta  $\pm 1.2-2.3$  sm olmuşdur. Tədqiqat sahəsi üzrə yoxlama nöqtələrinin yerləşməsi şəkil 4-də verilmişdir.



**Şəkil 4.** Tədqiqat sahəsində yoxlama nöqtələrinin yerləşməsi [6]

PUA-lardan əldə edilən görüntüləri qiymətləndirmək üçün şəkillər müəyyən örtmə nisbəti ilə çəkilməlidir. Klassik hava fotoqrammetriyasında təsvirlər 60% uzununa və 20% eninə örtmə nisbəti ilə çəkilir. Bununla belə, kompüter görmə əsaslı rəqəmsal fotoqrammetrik proqramda istifadə olunan alqoritmlər 80% uzununa və 60% eninə örtmə nisbəti ilə daha dəqiq görüntü uyğunluğu əldə edə bilər. Bu səbəbdən tədqiqat sahəsindəki bütün uçuşlar sözügedən əhatə nisbəti nəzərə alınmaqla həyata keçirilib. Bundan əlavə, tədqiq edilən ərazidə bütün uçuşlar günəş işığının təsirini minimuma endirməklə eyni gündə və ən qısa müddətdə tamamlanıb. Eyni ərazinin müxtəlif bucaqlardan və yüksəkliklərdən çəkilmiş xam şəkilləri Şəkil 5-də göstərilmişdir.



**Şəkil 5.** Çəkilmiş şəkillərin xüsusiyyətləri [6]

Bu iş çərçivəsində avtomatik və yarı avtomatik uçuş qabiliyyətinə malik PHANTOM-4 model pilotsuz uçuş aparatı istifadə edilmişdir. Bu PUA integrasiya olunmuş GoPro kamerası ilə şəkillər çəkir. İstifadə olunan GoPro kamerasının texniki xüsusiyyətləri:

- Şəklin ölçüsü 4000x3000
- 1/2,3 CMOS sensor
- 35 mm fokus məsafəsi
- Piksel ölçüsü 6mm\*4mm

PUA-lardan əldə edilən yüksək ayırdetməyə malik təsvirlərin fotoqrammetrik qiymətləndirilməsi üçün bir çox proqram təminatı mövcuddur. Biz bu tədqiqat işində PUA vasitəsi ilə əldə edilən şəkillərin qiymətləndirilməsi AgiSoft Photoscan proqram təminatında həyata keçirilmişdir. AgiSoft Photoscan həm bir çox yüksək ayırdetməyə malik təsvirlərin xəritələşdirilməsinə, həm də bu təsvirlərdən istifadə edərək 3D modellərin və orfoşəkillərin istehsalına imkan verir.

PUA-larla çoxlu sayda yüksək ayırdetməyə malik təsvirlər əldə edilir. Bu şəkilləri klassik fotoqrammetrik yanaşma üsulları ilə qiymətləndirmək çox vaxt aparan və çətin prosesdir. Bu səbəbdən rəqəmsal fotoqrammetriyanı ehtiva edən kompüter görmə əsaslı proqram təminatlarından istifadə zərurəti yaranmışdır.

Bu işdə DJI Phantom 4-ə integrasiya olunmuş GoPro kamerasının kalibrləmə prosesi PUA ilə tədqiqat sahəsindən əldə edilən görüntülər qiymətləndirilməmişdən əvvəl həyata keçirilib. Daha sonra PUA-da GPS/IMU sisteminin məlumatlarından istifadə edərək, hava trianqulyasiyası nəticəsində xarici cəhət elementləri əldə edilib. Bu parametrlər daha sonra proqram təminatına məlumatlar daxil edilərkən istifadə olunub.

Tədqiqatda istifadə edilən kompüter əsaslı proqram təminatı olan AgiSoft Photoscan ilə tədqiqat sahəsindən əldə edilən PUA təsvirlərində müvafiq olaraq əlaqə nöqtələrinin müəyyənəşdirilməsi, təsvirlərin uyğunlaşdırılması, hava trianqulyasiyası, rəqəmsal səth modelinin yaradılması və ortoşəkillərin yaradılması həyata keçirilib.

Tədqiqat işinin nəticəsində GNSS ölçmələri ilə koordinatları təyin edilmiş nöqtələrlə fərqli kamera bucağı ilə eyni yüksəklikdən əldə edilmiş ortofotolar və fərqli yüksəklikdən əldə edilən ortofotolar üzərində təyin edilən koordinatlar qarşılaşdırılaraq alınan nəticələr cədvəl 1-də verilmişdir.

**Cədvəl 1.** Fərqli yüksəkliklərdən və fərqli şəkilçəkmə bucaqları ilə əldə edilən ortofotoların mövqe dəqiqliyinin qiymətləndirilməsi [7]

| Yoxlama nöqtələri | 110m 90 <sup>0</sup> |       | 110 m 60 <sup>0</sup> |       | 110 m 45 <sup>0</sup> |       | 90 m 90 <sup>0</sup> |       | 60 m 90 <sup>0</sup> |       |
|-------------------|----------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-------|----------------------|-------|----------------------|-------|
|                   | XY(m)                | Z(m)  | XY(m)                 | Z(m)  | XY(m)                 | Z(m)  | XY(m)                | Z(m)  | XY(m)                | Z(m)  |
| P1                | 0.026                | 0.074 | 0.035                 | 0.056 | 0.029                 | 0.034 | 0.015                | 0.017 | 0.018                | 0.016 |
| P2                | 0.064                | 0.065 | 0.049                 | 0.065 | 0.025                 | 0.027 | 0.028                | 0.023 | 0.027                | 0.011 |
| P3                | 0.074                | 0.053 | 0.034                 | 0.033 | 0.028                 | 0.029 | 0.018                | 0.029 | 0.016                | 0.021 |
| P4                | 0.042                | 0.052 | 0.033                 | 0.040 | 0.033                 | 0.027 | 0.031                | 0.021 | 0.020                | 0.041 |
| P5                | 0.028                | 0.049 | 0.025                 | 0.037 | 0.018                 | 0.014 | 0.015                | 0.025 | 0.017                | 0.013 |
| o.k.s(m)          | 0.047                | 0.059 | 0.035                 | 0.046 | 0.026                 | 0.026 | 0.021                | 0.023 | 0.019                | 0.020 |

Dəqiqlik təhlilinin aparılacağı nöqtələri müəyyən etmək üçün hündürlüklərin dəyişdiyi ərazilərdəki nöqtələrdən istifadə edilməsinə üstünlük verilmişdir. Cədvəle nəzər saldıqda 45<sup>0</sup> bucaq altında çəkilmiş fotoşəkillərdən alınan ortofotoların digərlərindən daha yüksək dəqiqliyə malik olduğu müşahidə edilmişdir. Buna səbəb kimi şəkilçəkmə bucağıyla günəş şüalarının uyğunluğunu göstərmək olar.

Şəkilçəkmə bucaqlarını ayrılıqda nəzərə alsaq, 45<sup>0</sup> şəkilçəkmə bucağından istifadə edilməklə hazırlanan ortofotoların nöqtə mövqe dəqiqliyi yüksək olmuşdur.

Şəkilçəkmə hündürlüklərini dəyərləndirdikdə isə 60 m hündürlük və 90<sup>0</sup> şəkilçəkmə bucağı ilə hazırlanmış ortofotoların nöqtə mövqe dəqiqliyi ən yüksək olmuşdur.

**Nəticə.** Aparılan bu tədqiqat ilə ortofoto istehsalında PUA-lardan istifadənin əlverişli olması öz təsdiqini tapmışdır. Müxtəlif hündürlüklərdə və müxtəlif baxış bucaqlarında çəkilmiş ortofotolar dəqiqlik baxımından müqayisə edilmişdir. Nəticələr müqayisə edildikdə görürük ki, dəqiq ortofotonu əldə etmək üçün düzgün çəkiliş bucağından istifadə edilməlidir.

Həmçinin şəkilçəkmə üçün ən uyğun vaxtı müəyyən etmək də olduqca vacibdir. Bu nöqteyi-nəzərdən klassik fotoqrammetrik tədqiqatlardan əldə edilən bilik və təcrübənin PUA ilə aparılan fotoqrammetriya işlərində də əhəmiyyətli olduğu görülmüşdür. Maili şəkilçəkmə bucağından istifadə etməklə əldə edilən şəkillər ilə hazırlanan ortofotolarda şaquli (nadir) şəkilçəkmə bucağı ilə müqayisədə daha az boşluq (məlumat götürülməmiş) olan yerlər var. Ancaq, bu üstünlük daha çox məlumat həcmi ilə əldə edildiyindən bir sıra mənfi cəhətlərdə yaradır. Məlum olduğu kimi, kompüter əsaslı rəqəmsal fotoqrammetrik proqramlarda yüzlərlə görüntünün eyni anda qiymətləndirilməsi üçün normal səviyyədə yuxarı bir kompüter göstəriciləri tələb olunur. Bu da bəzi hallarda iqtisadi baxımdan əlverişli olmaya bilər.

### Ədəbiyyat

1. Amy E. Frazier Kunwar K. (2021). Singh. Fundamentals of Capturing and Processing Drone Imagery and Data. p.386
2. Derenyi E.E. (1996). PHOTOGRAMMETRY: THE CONCEPTS. p.220
3. Piero Toffanin. (2019).OpenDroneMap: The Missing Guide. p.263
4. Shaun Foster, David Halbshtein. (2014).Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and Design. p.104
5. Wolfgang Förstner, Bernhard P. Wrobel. (2016).Photogrammetric Computer Vision. Switzerland. p.222
6. Hirschmuller, H. (2008). Stereo processing by semiglobal matching and mutual information. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 30, p.328–341
7. Gurbanov E.A., Ramazanova F.M.; Huseynova S.M., Gurbanova Z.R. Changes in anti-erosion resistance of irrigated grey Cinnomanic soils of the dry subtropical zone of Azerbaijan depending on the age of irrigation. Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Biologiya. Issue 56, P.33–591. December 2021

### References

1. Amy E. Frazier Kunwar K. (2021). Singh. Fundamentals of Capturing and Processing Drone Imagery and Data. p.386
2. Derenyi E.E. (1996). PHOTOGRAMMETRY: THE CONCEPTS. p.220
3. Piero Toffanin. (2019).OpenDroneMap: The Missing Guide. p.263
4. Shaun Foster, David Halbshtein. (2014).Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and Design. p.104
5. Wolfgang Förstner, Bernhard P. Wrobel. (2016).Photogrammetric Computer Vision. Switzerland. p.222
6. Hirschmuller, H. (2008). Stereo processing by semiglobal matching and mutual information. IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell. 30, p.328–341
7. Gurbanov E.A., Ramazanova F.M.; Huseynova S.M., Gurbanova Z.R. Changes in anti-erosion resistance of irrigated grey Cinnomanic soils of the dry subtropical zone of Azerbaijan depending on the age of irrigation. Vestnik Tomskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Biologiya. Issue 56, P.33–591. December 2021

*Məqaləyə istinad: Piriye R.F., Cəfərov T.I., Məmmədova M.V. Pilotsuz uçuş aparatları ilə əldə edilmiş ortofotoların dəqiqliyinin tədqiqi. Elmi Əsərlər/Scientific works, AzMİU, s. 94-99, N2, 2024*  
*For citation: Piriye R.F., Jafarov T.I., Mammadova M.V. Investigation of the accuracy of orthophotos obtained by uavs. Elmi Əsərlər/Scientific works, AzUAC. p.94-99, N2, 2024*

Redaksiyaya daxil olma/Received 8.2.2024

Çapa qəbul olunma/Accepted for publication 9.4.2023