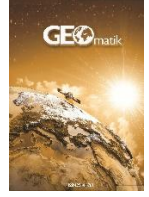




Geomatik

<https://dergipark.org.tr/tr/pub/geomatik>

e-ISSN 2564-6761



İnsansız Hava Araçları İle Konum Verilerinin Üretiminde Yer Kontrol Noktası Dağılımı

Murat Yakar ¹, Hacı Murat Yılmaz ^{*2}

¹ Mersin Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü, Türkiye, myakar@mersin.edu.tr

² Aksaray Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi Harita Mühendisliği Bölümü, Türkiye, hmyilmaz@aksaray.edu.tr

Kaynak Göster: Yakar, M. & Yılmaz, H.M. (2026). İnsansız Hava Araçları ile Konum Verilerinin Üretiminde Yer Kontrol Noktası. Geomatik, 11 (1), 88-96.

DOI: 10.29128/geomatik.1665113

Anahtar Kelimeler

Arazi
Kontrol Noktası
Konum
Doğruluk
İHA

Araştırma Makalesi

Geliş: 15.04.2025
Revize: 09.10.2025
Kabul: 10.10.2025
Yayınlanma: 01.04.2026



Öz

Konumsal verilerin önemi her geçen gün artmaktadır. Bu veriler birçok yöntemle üretilmektedir. İnsansız Hava Araçları (İHA), haritalama ve coğrafi veri toplama alanlarında önemli bir araç haline gelmiştir. İHA'larla elde edilen verilerin doğruluğu, projelerin başarısı için kritik öneme sahiptir. Yer Kontrol Noktaları (YKN), bu doğruluğu sağlamak için kullanılan sabit ve doğrulanmış koordinatlara sahip referans noktalarıdır. YKN'ler, GNSS cihazları ile ölçülür ve İHA'nın topladığı verilerle karşılaştırılarak doğruluk sağlanır.

YKN yerleşimi, arazi yapısı, uçuş yüksekliği ve görüntüleme açıları gibi faktörlere bağlıdır. YKN'lerin doğru yerleştirilmesi, haritalama verilerinin yüksek doğruluk sağlamasına yardımcı olur. RTK (Real-Time Kinematic) ve PPK (Post-Processed Kinematic) gibi GNSS (Küresel Navigasyon Uydu Sistemi) tabanlı teknolojiler, YKN'lerle birlikte kullanıldığında doğruluğu artırır. RTK, gerçek zamanlı düzeltme sağlarken, PPK uçuş sonrası düzeltmelerle veri doğruluğunu artırır.

Sonuç olarak, YKN'ler İHA'larla yapılan haritalama projelerinde doğruluğun sağlanmasında kritik bir rol oynar. YKN'lerin doğru yerleşimi ve sayısı, elde edilen verilerin yüksek hassasiyetli olmasını sağlar ve haritalama süreçlerini daha verimli hale getirir. Konuma dayalı projelerin daha hassas bir şekilde uygulanmasına yardımcı olur. Haritalanacak alana ve beklene hassasiyete göre YKN'lerinin yeterli sayıda ve dağılımda olması gerekmektedir.

Ground Control Point Distribution in Location Data Generation with Unmanned Aerial Vehicles

Keywords

Ground
Control Point
Positioning
Accuracy
UAV

Research Article

Received: 15.04.2025
Revised: 09.10.2025
Accepted: 10.10.2025
Published: 01.04.2026

Abstract

The importance of positional data is increasing day by day. These data are produced by many methods. Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) have become an important tool in the fields of mapping and geographic data collection. The accuracy of the data obtained by UAVs is critical to the success of the projects. Ground Control Points (GCPs) are reference points with fixed and verified coordinates used to ensure this accuracy. GCPs are measured with GNSS devices and compared with the data collected by the UAV to ensure accuracy.

GCP placement depends on factors such as terrain structure, flight altitude and viewing angles. Correct placement of GCPs helps to ensure high accuracy of mapping data. GNSS-based (Global Navigation Satellite System) technologies such as RTK (Real-Time Kinematic) and PPK (Post-Processed Kinematic) increase accuracy when used with GCPs. While RTK provides real-time correction, PPK increases data accuracy with post-flight corrections.

As a result, GCPs play a critical role in ensuring accuracy in mapping projects carried out with UAVs. Correct placement and number of GCPs ensures high precision of the data obtained and makes mapping processes more efficient. It helps to implement location-based projects more precisely. GCPs must be sufficient in number and distribution according to the area to be mapped and the expected sensitivity.

1. Giriş

Konuma dayalı projeler, belirli bir coğrafi konum veya lokasyon bilgisini temel alarak çalışan projelerdir. Bu tür projelerde genellikle GPS (Global Positioning System), haritalar, konum verileri ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gibi teknolojiler kullanılır. Hem mobil uygulamalarda hem de web tabanlı platformlarda yaygın olarak kullanılırlar.

Günümüzde, geleneksel ölçüm tekniklerine kıyasla maliyet avantajları nedeniyle genellikle fotogrametri tekniği kültürel mirasın belgelenmesinden ortofoto harita üretimine kadar birçok alanda uygulanmaktadır [1-6]. Fotogrametri, ölçüm verileri sağlamak için iki boyutlu (2B) görüntülerin kullanmaktadır [7]. Fotogrametrik yazılım ve donanım teknolojilerindeki gelişmeler, mühendislik çalışmalarındaki süreçleri mümkün olan en kısa sürede daha kolay ve hızlı hale getiriyor [8-10]. Fotogrametride yaygın olarak İHA kullanılmaktadır [7-11]. İHA hava görüntülerinden yüksek çözünürlüklü ortomozaik görüntüler üretebilme yeteneği, görüntü tabanlı yöntemlerin daha maliyetli lidar veri toplama yöntemine göre cazip bir alternatif olduğu anlamına geliyor.

Fotogrametri ve lazer tarama tabanlı ölçme teknikleri, jeomorfolojik süreçlerin izlenmesi, kültürel mirasın belgelenmesi ve hacim hesaplamaları gibi farklı disiplinlerde yüksek doğruluklu veriler sağlaması nedeniyle son yıllarda araştırmalarda yaygın biçimde kullanılmaktadır. Örneğin, iklim değişikliğine bağlı su seviyesi değişimlerinin izlenmesi amacıyla Meke Gölü'nün uçurtma fotoğraflarıyla fotogrametrik olarak modellenmesi [35], kazı-dolgu alanlarında hacim hesaplamalarının yakın mesafe fotogrametrisiyle gerçekleştirilmesi [36,37] ve tarihi yapıların ayrıntılı belgelenmesine yönelik fotogrametrik çalışmalar [38] yöntemin geniş uygulama alanını ortaya koymaktadır. Buna ek olarak, tarihî ve mimarî kalıntıların belgelendirilmesinde lazer tarayıcı performansının değerlendirilmesi [39] ile peribacaları ve benzeri doğal oluşumlarda erozyon miktarının hem fotogrametri hem de lazer tarama teknikleriyle belirlenmesi üzerine yapılan araştırmalar [40,41] bu teknolojilerin zaman içindeki morfolojik değişimlerin hassas biçimde izlenmesinde kritik rol oynadığını göstermektedir.

Yersel konum verileri, doğrudan yeryüzünden, fiziksel ölçüm ve gözlem yöntemleri ile toplanan konum verileridir. Bu tür veriler, daha yüksek hassasiyet ve doğruluk gerektiren projelerde kullanılır. Yersel konum verileri, genellikle haritalama, şehir planlama, arazi ölçümü, jeodezi ve inşaat gibi alanlarda büyük önem taşır. Konum verileri doğrudan araziden ve hava bazlı platformlar yardımıyla elde edilmektedir. Hava bazlı platformlardan biriside İnsansız Hava Araçları (İHA) sistemleridir. İnsansız Hava Araçları (İHA) veya yaygın adıyla drone'lar, uzaktan kontrol edilerek veya otonom olarak çalışan, içlerinde insan bulunmayan hava araçlarıdır. İHA'lar, özellikle haritalama, gözlem, keşif, lojistik, arama-kurtarma ve tarım gibi birçok alanda etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Özellikle küçük alanlarda konum bazlı proje çalışmalarında oldukça fazla ve etkin bir kullanıma sahiptir [12-14].

İnsansız Hava Araçları (İHA) ile yapılan haritalama ve ölçüm projeleri, son yıllarda hızlı bir gelişim göstermiş ve çeşitli alanlarda yoğun bir şekilde kullanılmaya başlanmıştır. İHA'ları, özellikle harita yapımı, tarım araştırmaları ve ilaçlama, inşaat, orman yönetimi ve çevre araştırmaları gibi çok farklı alanlarda, yüksek çözünürlükte veri toplama ve hızlı veri analizi imkânı sağlamaktadır. Ancak, bu cihazlarla elde edilen verilerin doğruluğu, elde edilen konum doğruluğu ve projelerin başarısını doğrudan etkileyen bir faktördür [15-17].

YKN (İngilizce: Ground Control Points – GCP), haritalama, fotogrametri ve coğrafi bilgi sistemleri (CBS) gibi alanlarda kullanılan referans noktalarıdır. Bu noktalar, uydu görüntüleri, hava fotoğrafları veya drone ile çekilen görüntülerin doğru bir şekilde konumlandırılmasını ve jeoreferanslanmasını sağlamak için kullanılır [18-21].

YKN'ları, uçuş sırasında İHA'nın sensörlerinden elde edilen görüntülerin koordinatlarını gerçek dünya koordinat sistemine dönüştürmek için kullanılır. Veri doğruluğunun artırılmasında hatta yüksek doğruluk elde edilmesine önemli bir rol oynarlar. YKN'ler, haritalama ve fotogrametrik uygulamalarda kullanılan, ülke koordinat sisteminde ölçülerek belirlenen hassas konum bilgilerine sahip noktalardır. Bu noktalar, İHA'nın uçuş sırasında topladığı verilerin doğruluğunu sağlamak için temel referans olarak kullanılır. YKN'ler, GNSS (Global Navigation Satellite System) cihazları ile ölçülür ve elde edilen konum bilgileri, İHA'nın sensörlerinden gelen verilerle karşılaştırılarak doğruluk miktarı hesaplanır [22-25].

İHA'ları, genellikle RTK (Real-Time Kinematic) veya PPK (Post-Processed Kinematic) gibi GNSS (Global Navigation Satellite System) tabanlı teknolojilerle donatılmıştır. Bu teknolojiler, veri düzeltme yeteneklerini kullanarak YKN ile birlikte çok yüksek hassasiyetli haritalar elde edilmesine imkan verir. RTK teknolojisi, gerçek zamanlı olarak GNSS sinyalleri ile düzeltme yaparak yüksek doğruluk sağlar, ancak sürekli baz istasyonu veya CORS (Sürekli Referans İstasyonu) bağlantısı gerektirir. PPK ise uçuş sonrası veri düzeltmeleri ile doğruluğu artırarak daha esnek bir çalışma ortamı sunar. İHA'larla üretilen haritalara, RTK ve PPK gibi GNSS tabanlı sistemlerin kullanımı YKN sayısını ve konumlandırılmasını etkilemektedir. RTK sistemi kullanılarak üretilen haritalarda, gerçek zamanlı doğruluk elde edilebilir, ancak sinyal kesintilerinin olduğu alanlarda doğruluk kaybı yaşanabilir. Bu durumda, YKN'lerin doğru şekilde yerleştirilmesi, uçuş sırasında alınan verilerin doğruluğunu artıracaktır. PPK ise daha esnek bir yöntem olup, uçuş sonrası düzeltmeler yapılarak hata miktarını azaltılabilir. Bu teknoloji, özellikle sinyal kayıplarının yaşandığı büyük alanlarda tercih edilir [26,27].

YKN'larının doğru yerleşimi, verilerin hassasiyetini doğrudan etkiler. YKN'larının dağılımı ve sayısı, haritalama yapılan alanın büyüklüğü, topografyası ve kullanılan teknolojilerin türüne göre değişir. Açık alanlarda, YKN'ları daha kolay yerleştirilebilirken, ormanlık, dağlık veya engebeli arazilerde YKN yerleşimi daha karmaşık hale gelir. Ayrıca, uçuş yüksekliği ve görüntüleme açısı gibi faktörler de YKN'larının doğruluğunu etkileyebilir [28,29].

YKN'nın doğru yerleştirilmesi, kullanılan İHA sensörlerinin kalitesi, uçuş yüksekliği ve hava koşulları gibi faktörlere bağlı olarak büyük önem taşır. YKN yerleşiminde dikkat edilmesi gereken en önemli unsurlar; konumların dağılımı, arazi koşulları, görüntüleme açıları ve uçuş süresi gibi faktörlerdir. Bu unsurlar, elde edilen verilerin doğruluğunu ve güvenilirliğini doğrudan etkiler.

Konuma dayalı birçok proje doğrudan arazi yerine bu araziye temsil eden hassas ve güncel haritalar üzerinde gerçekleştirilir. Günümüzde harita –üretim yönetmelerinden biri de İHA verilerinin kullanılması ile yapılmaktadır. Bu açıdan İHA verilerinin istenen doğrulukta olması önem arz etmektedir. Bu çalışmada İHA'larla yapılan haritalama projelerinde YKN'larının yerleşimi, sayısı ve dağılımı üzerine detaylı bir inceleme yapılmıştır.

Son yıllarda yapılan araştırmalarda, YKN/GCP yerleşimi ve güvenilirliği üzerine daha detaylı analizler yapılmakta, otomatize yöntemler ve değişken dağılım modelleri incelenmektedir. Örneğin, farklı GCP konfigürasyonları ve güvenilirlik düzeyleri simüle edilerek GCP'lerin konum doğruluğu üzerindeki etkileri incelenmiş; sonuçlar, GCP güvenilirliğinin hem sayı hem de dağılım etkisini sınırlayabileceğini göstermiştir [30]. Başka bir güncel çalışma, özellikle topoğrafyanın değişken olduğu alanlarda 3B haritalama için daha fazla sayıda GCP gerekliliğini vurgulamış, Z eksen hatalarının azaltılmasında GCP konfigürasyonunun kritik olduğunu ortaya koymuştur [31].

Ayrıca, otomatik GCP tespiti üzerine makine öğrenmesi yöntemleri de gündeme gelmiştir. Örneğin, drone görüntülerinde GCP hedef işaretlerinin (marker) tespitini otomatikleştirmek için YOLOv5-OBb algoritması kullanılmış, bu yöntemle yüksek başarılı tespit doğrulukları elde edilmiştir [32]. Böylece, sahada manuel yerleştirme ve tanıma süreci önemli ölçüde azalarak işgücü ve zaman maliyetinde tasarruf sağlanabilir.

GNSS teknolojileri, Yüksek Kesinlikli Nokta (YKN) ölçümlerinde doğruluk ve hassasiyet açısından kritik bir rol oynar. Doğruluk, ölçülen koordinatların gerçek konumlarına ne kadar yakın olduğunu ifade ederken, hassasiyet aynı noktada tekrar edilen ölçümlerin birbirine tutarlılığını gösterir. Yüksek doğruluk ve hassasiyet, YKN ölçümlerinin güvenilirliğini artırır ve harita veya modelleme çalışmalarında koordinat hatalarının minimize edilmesini sağlar [33,34]. Farklı GNSS ölçüm teknikleri, YKN doğruluğunu farklı şekillerde etkiler. Statik ölçüm yöntemi, noktanın sabitlenip uzun süre veri kaydı yapılması ve post-processing uygulanması ile santimetre seviyesinde doğruluk sağlar ve hassas YKN belirlemede altın standart olarak kabul edilir [34]. RTK (Real-Time Kinematic) yöntemi, baz istasyonundan rover'a anlık düzeltmeler ile veri aktararak sahada hızlı ve gerçek zamanlı YKN elde edilmesini sağlar; ancak baz istasyonu mesafesi ve iletişim kalitesi doğruluğu sınırlayabilir. PPK (Post-Processed Kinematic) yöntemi ise rover verilerinin kaydedilip ofiste baz istasyonu verileriyle işlenmesi sayesinde RTK'ya benzer veya daha yüksek doğruluk sağlar ve iletişim kesintilerinden etkilenmediği için uzak mesafeli veya zorlu saha koşullarında tercih edilir. Bu

bağlamda, YKN çalışmalarında doğru GNSS teknolojisinin seçimi, ölçüm koşulları ve projenin hassasiyet gereksinimleri doğrultusunda belirlenmelidir.

Bu yeni yaklaşımlar, GCP yerleşimi stratejilerinde yalnızca nicel (sayı) değil, aynı zamanda nitel (güvenilirlik, otomatik tanıma, dağılım optimizasyonu) bileşenleri de dikkate almayı gerektirmektedir.

2. İnsansız Hava Araçlarında YKN ve Dağılımı

Fotogrametrik çalışmalarda İnsansız Hava Araçları üretilen haritaların doğruluğu, YKN'lerin tesis edilmesi ile doğrudan ilişkilidir. YKN, haritalanan alan üzerinde klasik jeodezik ölçüm teknikleri kullanılarak kesin konumu belirlenen ve dengeleme esnasında bilinen nokta koordinatları olarak kullanılan noktalardır (Şekil 2.1).



Şekil 2.1, YKN'larının Jeodezik Ölçümü

YKN sayesinde üretilen haritanın mutlak konum doğruluğu artırılır, hata miktarını azaltır ve haritaların gerçek dünya koordinat sistemiyle uyumlu hale gelmesi sağlanır. Özellikle yüksek doğruluk gerektiren mühendislik projelerinde, kadastral haritalarda ve hassas modelleme çalışmalarında YKN kullanımı zorunludur.

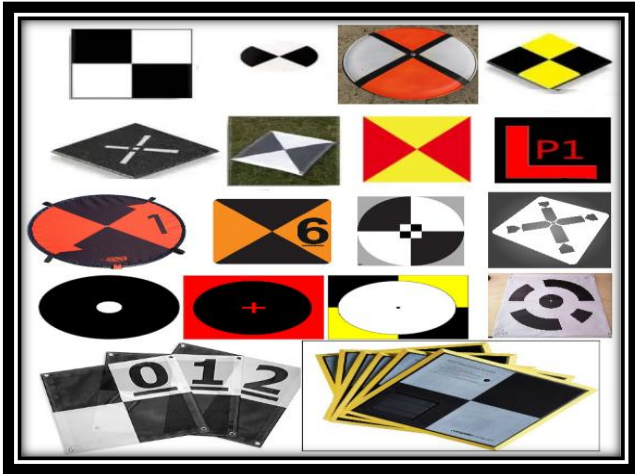
İHA ile üretilen ortofotolar, sayısal yükseklik modelleri (DEM, DSM, DTM), 3D yüzey modelleri gibi ürünlerin doğruluğu, YKN'larının tesis edilmesi ve projede kullanımına bağlıdır. YKN kullanılmayan projelerde, GPS/INS sistemlerinin hata oranına bağlı olarak konum hataları birkaç metreye kadar çıkabilir. YKN sayesinde bu hata santimetre seviyelerine düşürülebilir.

YKN'ları ile İHA görüntülerindeki koordinat hataları giderililerek, haritaların ve modellerin doğru ölçeklendirilmesini sağlar. DEM ve DSM üretiminde oluşabilecek hataları minimum seviyeye düşürür ve bazılarını elemine eder ve İHA'nın üzerine monte edilen GPS/INS (Inertial Navigation System) sistemlerinden kaynaklanan hatalar düzeltilerek konum doğruluğu artırılabilir.

2.1. YKN'larının Belirlenmesi ve Ölçümü

YKN'lerin verimli şekilde kullanılabilmesi için araziye belirli prensiplerle yerleştirilmesi ve hassas jeodezik ölçüm yöntemleriyle konumlarının belirlenmesi gerekir. Arazi tipine göre Yüksek Kesinlikli Nokta (YKN) yerleştirme stratejileri değişiklik göstermektedir. Ormanlık alanlarda, yoğun ağaç örtüsü ve çoklu sinyal yansımaları (multipath) nedeniyle GNSS sinyallerinin kesilmesi sık karşılaşılan bir sorundur; bu nedenle açıklık alanlar, patikalar veya görece az yoğunluklu alanlar tercih edilerek YKN konumlandırılmalıdır [34]. Yoğun kentsel alanlarda, binalardan kaynaklanan çoklu yansıma ve gölgeleme etkileri YKN doğruluğunu düşürebilir; bu nedenle yüksek noktalara veya binaların tepesi alanlarına yerleştirme yapılması ve mümkünse RTK/PPK kombinasyonu kullanılması önerilir (Kahveci, [36]). Sulak alanlarda, erişim gücü ve ekipman güvenliği ön plandadır; YKN'ler genellikle sahil şeritlerine veya geçici platformlara konumlandırılarak veri güvenliği sağlanabilir. Bu farklı arazi tiplerinde, önceden saha keşfi yapmak, erişim koşullarını planlamak ve uygun GNSS teknolojisini seçmek, YKN yerleştirme stratejilerini optimize eden temel çözümler arasında yer almaktadır.

YKN'ları arazide arazi dokusundan ayırt edilebilir bir şekilde görünebilir olmalıdır (Şekil 2.2). Bu nedenle YKN'ları arazide görüntü üzerinde fark edilecek biçimde farklı şekil ve renklerde tesis edilebilir. Bunlar bazen özel üretim kontrol noktaları olabildiği gibi bu şekiller değişik tarzda ve boyutta arazide de zemin üzerinde boyama suretiyle de tesis edilebilir (Şekil 2.3).

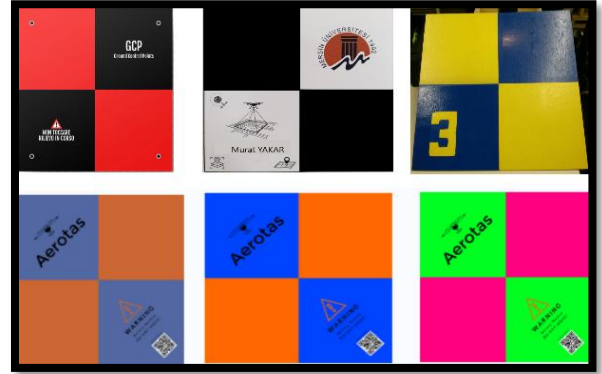


Şekil 2.2, Hazır üretilmiş YKN şekilleri

Arazide tesis edilen YKN'ları resim üzerinde net bir şekilde ayırt edilebilmelidir. Bu nedenle yüksek kontrastlı, keskin kenarlı ve belirgin işaretlerle çizilmiş olmalıdır. Yani arazi ile zıt renkli olacak şekilde YKN'nın renkleri seçilmelidir. Örneğin asfalt üzerine siyah beyaz yada kırmızı tesis edilmesi uygun iken, kırmızı toprağın üzerine kırmızı renkli bir YKN tesis edilmesi uygun değildir (Şekil 2.4).



Şekil 2.3, Arazide boya ile elde edilmiş YKN şekilleri



Şekil 2.4, Renk kontrastına uygun YKN örnekleri

2.2. YKN'nın Noktalarının Dağılımı

İHA ile yapılan haritalama çalışmalarında YKN'nın sadece tesis edilmesi ve ölçülmesi değil, uygun dağılımı da projeden beklenen doğruluğu da etkilemektedir. Uygun ve hassas YKN dağılımı şu faktörlere bağlıdır:

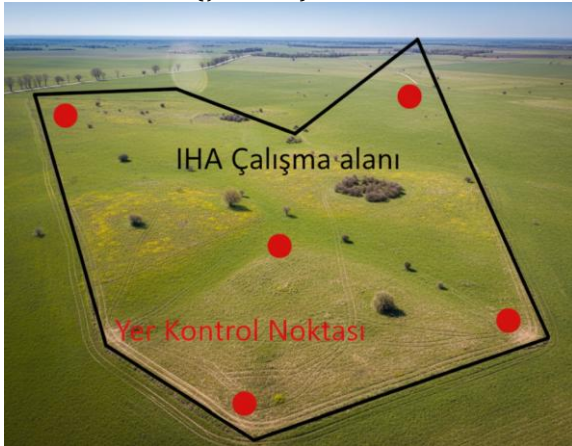
- 1-Proje alanının büyüklüğü ve topografik yapısı
- 2- İHA'nın uçuş yüksekliği ve kameranın metrik özellikleri
- 3- Uçuşda RTK/PPK GNSS sistemlerinin kullanılıp kullanılmadığı
- 4- Üretilcek haritadan beklenen doğruluk derecesi

2.2.1 YKN'larının Arazide Dağılımında Temel Prensipler

1-Uygun sayıda olmalı: Bu konuda net bir sayı olmamakla birlikte yapılan bilimsel çalışmalara göre küçük alanlarda 5-7, büyük alanlarda 10-20 veya daha fazla YKN kullanılmalıdır. RTK/PPK GNSS destekli İHA'lar kullanılıyorsa YKN sayısı belli bir oranda azaltılabilir, ancak tamamen ortadan kaldırılması uygun değildir (Şekil 2.5).

2-Uygun yüzeylere yerleştirilmeli: Kaygan, hareketli veya bitki örtüsüyle kaplı alanlardan kaçınılmalıdır. Bu bölgelere YKN tesis edilmesi uygun değildir.

3-Uçuş Esnasında görüşe engel olacak dar bölgelere yerleştirilmemeli: Görüşe engel olacak yapılardan uzakta açık alana çekilen her fotoğrafta görülebilecek şekilde tesis edilmelidir (Şekil 2.6).

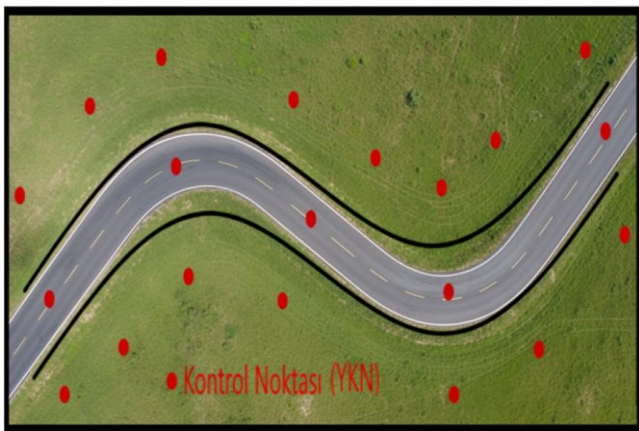


Şekil 2.5, Arazide YKN sayı ve dağılımı



Şekil 2.6, Görüşe engel olmayan alanda YKN

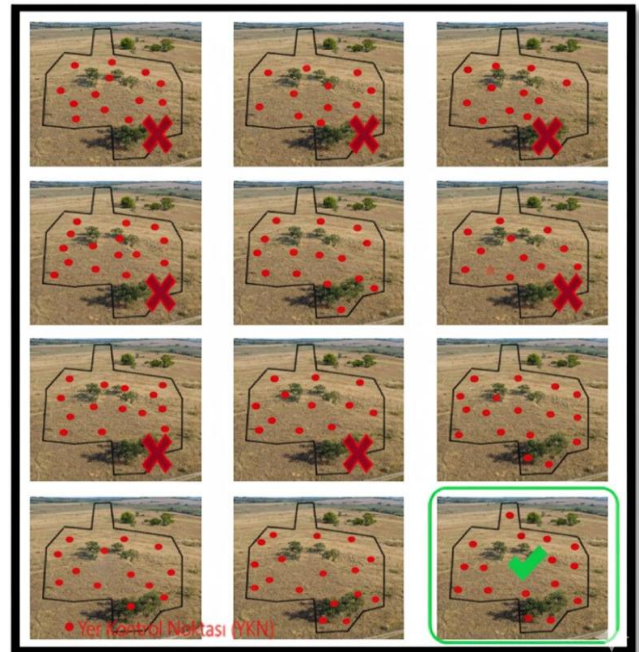
4-Şeritvari Haritalamada Çalışma alanının dışına da YKN tesis edilmelidir. Yol Kanal gibi şeritvari haritalarda proje sahasının merkezinde YKN olduğu gibi Proje sahasının kenarlarına da YKN tesis edilmelidir (Şekil 2.7).



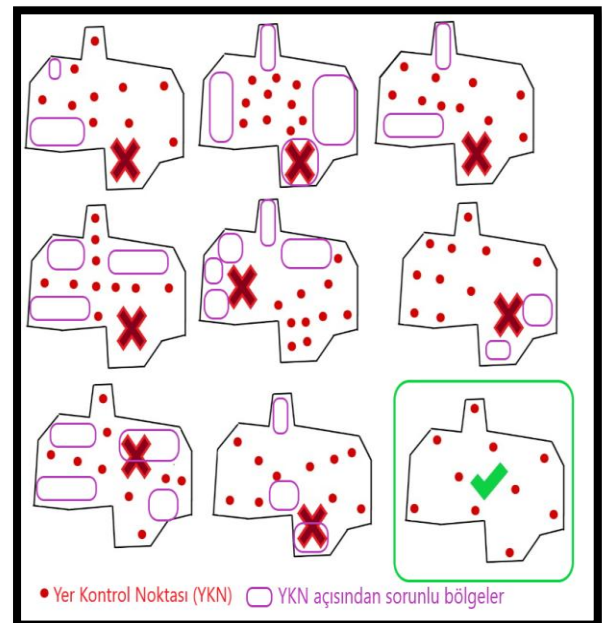
Şekil 2.7, Şeritvari çalışmalarda YKN tesisi

5- YKN Arazide Tüm araziye kapsayacak şekilde araziye eşit dağıtılmalı. Yatay konumdaki noktalar arazide Homojen ve Dengeli Dağılımda olmalı. Yani YKN'ler, çalışma alanını kapsayacak şekilde ve araziye

tam kapsayacak şekilde homojen dağıtılmalıdır (Şekil 2.8 ve 2.9).



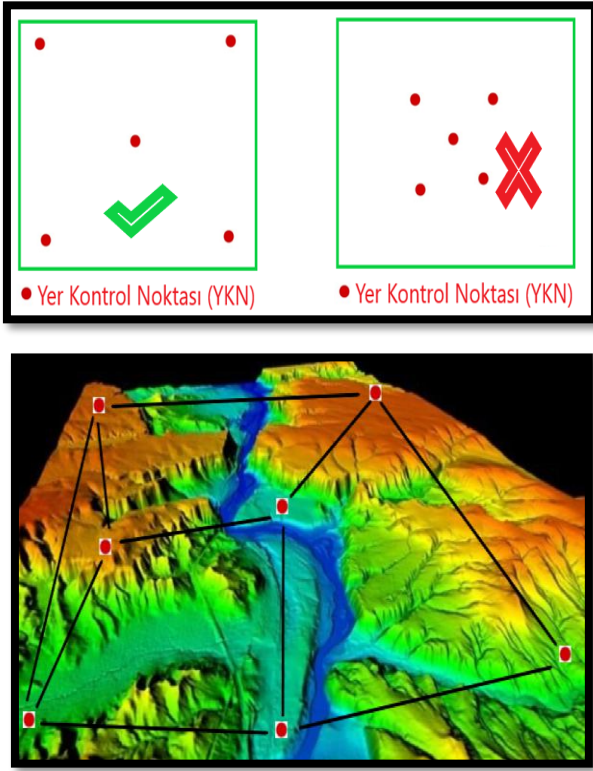
Şekil 2.8, Arazide YKN dağılımları



Şekil 2.9, İdeal YKN noktaları açısından sorunlu olabilecek bölgeler

6-Arazide Kenarlara ve Köşelere YKN Mutlaka Tesis Edilmeli

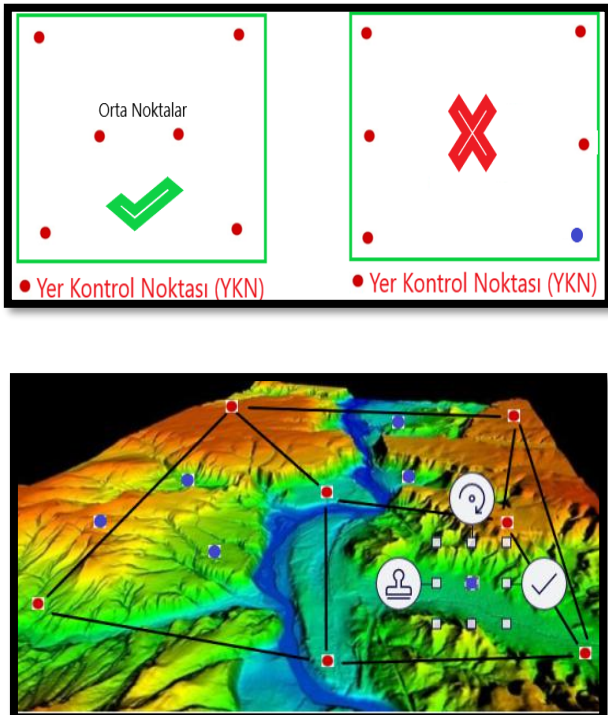
Haritalama yapılacak alanın köşelerine ve sınır bölgelerine YKN eklenmelidir. Bu yöntem, görüntülerin kenarlarında oluşabilecek bozulmaları azaltır. Ayrıca, ölçümler arasındaki ölçek tutarlılığını korur (Şekil 2.10).



Şekil 2.10, YKN dağılımı

8- Kritik Alanlara ve Arazide Orta noktalara YKN Yerleştirilmeli

Haritalanan bölgenin merkezine ve kritik topografik özelliklere sahip yerlere ek YKN yerleştirilmelidir (Şekil 2.11). Örneğin, yükselti bölgeleri, eğimli yüzeyler, bina çatıları, yollar, su yüzeyleri ve nesne yoğunluğu yüksek alanlar özel dikkat gerektirir.



Şekil 2.11, Arazide karakteristik yerlerde YKN

9-Arazide Yükseklik Farklarına göre dağılımına dikkat edilmeli

Dağlık veya engebeli arazilerde, farklı yükseklik seviyelerinde YKN kullanılması önerilir (Şekil 2.12). Eğimli arazilerde yüksek ve düşük rakımlı noktalara YKN yerleştirilerek modeldeki hatalar azaltılabilir.



Şekil 2.12, YKN larının yatay ve düşey dağılımı

2.2.2. Önerilen YKN Dağılım Modelleri

1. Homojen (Düzenli) Dağılım – Kafes (Grid) Yöntemi: En iyi doğruluk sağlayan yöntemlerden biridir. Alan, düzenli bir ızgara (grid) şeklinde bölünerek YKN'ler eşit aralıklarla yerleştirilir. Büyük ölçekli projelerde önerilir. Örnek: 1 km²'lik alanda her 250-500 metreye bir YKN koymak. Kafes yöntemi, GCP'lerin çalışma alanına eşit aralıklarla yerleştirilmesini ifade eder. Bu yöntemde Kontrol noktaları, kare veya dikdörtgen şeklinde bir ızgara (grid) oluşturacak şekilde dağıtılır. Her bir nokta, hem yatay hem de düşey doğruluk açısından eşit bir referans sistemi sağlar. Özellikle düz veya hafif engebeli arazilerde tercih edilir.

2. Üçgenleme (Triangulation) Dağılımı YKN'ler, üçgen oluşturacak şekilde yerleştirilir. Yüksek eğimli ve engebeli alanlar için uygundur. Orta büyüklükteki projelerde kullanılır. Örnek: 10 YKN ile alanın köşelerine ve yükselti noktalarına üçgenler oluşturacak şekilde yerleştirme.

3. Kenar ve Merkez Dağılımı (Perimeter & Center Method)

Küçük ölçekli haritalama projelerinde uygundur. Alanın dört köşesine ve merkeze YKN yerleştirilir. Geniş alanlarda tek başına yeterli olmayabilir. Örnek: 5 YKN ile küçük bir bölgeyi kapsamak.

4. Yoğun Dağılım (Özel Alanlar İçin) Kent içi haritalama, bina modelleme ve hassas yükseklik ölçümleri için uygundur. Özellikle kritik bölgelerde, bina köşeleri, yol kavşakları gibi alanlara daha sık YKN eklenir. Örnek: 3D bina modellemesi için her binanın dört köşesine YKN eklemek.

Tablo 2.1,Çalışma alanının büyüklüğüne göre önerilen YKN sayısı ve aralıkları

Çalışma Alanı (Ha)	Minimum YKN Sayısı	Yüksek Hassasiyet İçin Önerilen YKN Sayısı
1-5	5-7	7-10
5-10	7-10	10-15
10-50	10-15	15-25
50-100	15-20	25-40
100+ h	20+	40+

2.2.3. İHA da Veri Toplama, YKN Ölçümü ve Harita Üretiminde Kullanılan Yazılım ve Donanımlar.

İnsansız Hava Araçları (İHA) ile veri toplama, Yüksek Kesinlikli Nokta (YKN) ölçümü ve harita üretimi süreçlerinde hem donanım hem de yazılım bileşenleri kritik bir rol oynar. Veri toplama aşamasında, İHA platformu üzerinde yüksek çözünürlüklü RGB kameralar, multispektral veya LiDAR sensörleri kullanılabilir; sensör seçimi projenin amacına ve arazi koşullarına bağlıdır [33]. YKN ölçümleri için genellikle çift frekanslı GNSS alıcıları ve yüksek kalite antenler tercih edilir; RTK veya PPK teknolojileri ile saha ve ofis ortamında koordinatlar yüksek doğrulukla elde edilir (Kahveci, 2011). Harita üretimi aşamasında ise fotogrametri ve uzaktan algılama yazılımları kullanılır; örneğin, Pix4D, Agisoft Metashape veya DroneDeploy gibi yazılımlar, uçuş verilerini işleyerek nokta bulutu, dijital yüzey modeli (DSM), dijital arazi modeli (DTM) ve ortofoto üretimi sağlar. Ayrıca veri yönetimi ve kalite kontrol süreçlerinde GIS yazılımları (ArcGIS, QGIS) kullanılarak, üretilen haritaların analiz edilmesi ve mevcut coğrafi veri tabanlarına entegrasyonu sağlanır. Bu yazılım ve donanım kombinasyonu, İHA tabanlı haritalamanın doğruluk, verimlilik ve güvenilirlik açısından optimize edilmesini mümkün kılar

2.2.4. YKN'sız Haritalama Mümkün mü?

Geleneksel hava fotogrametrisinde YKN (Ground Control Points - GCPs), hava fotoğraflarının jeodezik doğruluğunu artırmak ve hataları azaltmak için kullanılan ana referans noktalarıdır. Ancak modern GNSS (Global Navigation Satellite System) /IMU (Inertial Measurement Unit) tabanlı sistemlerin gelişmesiyle, İHA'larla YKN kullanmadan da haritalama yapmak mümkün hale gelmiştir.

YKN olmadan haritalama yapmak için iki temel yöntem öne çıkmaktadır:RTK (Real-Time Kinematic) GNSS Kullanımı ve PPK (Post-Processing Kinematic) GNSS Kullanımı

Günümüzde bu teknolojiler, özellikle geniş alanların hızlı haritalanması için büyük avantajlar sağlamaktadır. Ancak mutlak doğruluğun kritik olduğu projelerde GCP kullanımı hâlâ en güvenilir yöntemdir.

1-Büyük ve erişimi zor alanlarda (örneğin ormanlık alanlar, dağlık bölgeler, deniz kıyıları)

2-RTK veya PPK donanımına sahip İHA sistemleri kullanıldığında
3-CORS ağına erişim mümkün olduğunda
4- Santimetre hassasiyetinin kritik olmadığı projelerde

YKN'sız Haritalama Uygulanabilir. Ancak Çok yüksek doğruluk gerektiren (örneğin kadaströ veya hassas mühendislik projeleri) çalışmalarda GCP kullanılmalıdır.

Ayrıca Yoğun bitki örtüsü veya yüksek binalar nedeniyle GNSS sinyalinin güvenilir olmadığı bölgelerde GCP kullanımı hâlâ gereklidir.

İHA ile yapılan haritalama projelerinde YKN kullanımı, yüksek doğruluk sağlamak için kritik öneme sahiptir. Uygun dağılımla yerleştirilen YKN'ları, haritalama sürecindeki hata oranını düşürür ve konum doğruluğu yüksek veriler elde etmeye olanak tanır.

3.Sonuçlar

İnsansız Hava Araçları (İHA) ile gerçekleştirilen haritalama ve coğrafi veri toplama projelerinde YKN, elde edilen koordinat doğruluğu için gereklidir. YKN'larının uygun dağılımda ve sayıda yerleştirilmesi, fotogrametrik harita üretiminde yüksek doğrulukla veri elde edilmesini sağlar. Bu noktaların jeodezik yöntemlerle ve hassas koordinatlarla belirlenmesi, GNSS teknolojileri ile doğrulanarak İHA'larının topladığı verilerle karşılaştırılır ve bu sayede geometrik doğruluk sağlanır.

YKN dağılımı, arazinin yapısı, arazinin topoğrafyası, uçuş yüksekliği ve görüntüleme açıları gibi birçok faktöre bağlıdır. Düz alanlarda YKN sayısı daha düşük olabilirken, dağlık veya engebeli alanlarda daha fazla YKN yerleştirilmesi gerekebilir. Ayrıca, YKN'larının proje sahasını kapsamaması ve uygun dağılımda olması, haritadan beklenen doğruluğu sağlamak açısından önemlidir.

RTK ve PPK gibi GNSS tabanlı teknolojiler, YKN'ları ile birlikte kullanıldığında, veri doğruluğunu önemli ölçüde artırır. RTK, gerçek zamanlı düzeltmeler yaparak yüksek hassasiyet sağlarken, PPK, uçuş sonrası düzeltme imkanı sunarak daha esnek ve güvenilir sonuçlar elde edilmesini sağlar. Her iki teknoloji de YKN'larının doğruluğunu artırarak, veri toplama sürecinde daha yüksek doğruluk ve güvenilirlik sağlar.

Sonuç olarak, YKN İHA'larıyla yapılan haritalama projelerinde, doğruluğun sağlanması ve yüksek hassasiyetli harita üretimi için temel bir unsur olmaya devam etmektedir. Özellikle konumda dayalı projelerde beklenen doğruluğa bağlı olarak YKN yerleşimi, sayısı ve kullanılan teknolojiler, projenin başarısını doğrudan etkilemektedir. Bu faktörlerin doğru yönetilmesi, İHA'larıyla yapılan haritalama çalışmalarında doğru ve güvenilir coğrafi verilerin elde edilmesine katkı sağlar.

Araştırmacıların katkı oranı

Murat Yakar: Literatür taraması, Arazi çalışması; Hacı **Murat Yılmaz:** Makale yazımı, Düzenleme

Çatışma Beyanı

Herhangi bir çıkar çatışması bulunmamaktadır.

Kaynakça

1. Yakar, M. (2011). Using close range photogrammetry to measure the position of inaccessible geological features. *Experimental Techniques*, 35, 54-59.
2. Alyılmaz, C., Alyılmaz, S., & Yakar, M. (2010). Measurement of petroglyphs (rock of arts) of Qobustan with close range photogrammetry. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XXXVIII, Part 5 Commission V Symposium, Newcastle upon Tyne, UK
3. Alyılmaz, C., Yakar, M. & Yılmaz, H. M. (2010). Drawing Of Petroglyphs In Mongolia By Close Range Photogrammetry. *Scientific-Research and Essays*, 5(11), 1216-1222
4. Ünel, F. B., Kuşak, L., Çelik, M., Alptekin, A., & Yakar, M. (2020). Kıyı çizgisinin belirlenerek mülkiyet durumunun incelenmesi. *Türkiye Arazi Yönetimi Dergisi*, 2(1), 33-40.
5. Yılmaz, H. M., Yakar, M. & Yildiz, F. (2008). Digital photogrammetry in obtaining of 3D model data of irregular small objects. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 125-130
6. Yılmaz, H. M. & Yakar, M. (2008). Computing of Volume Of Excavation Areas By Digital Close Range Photogrammetry. *Arabian J. Sci. Eng.* 33(1A), 63-78
7. Yakar, M., & Dogan, Y. (2019). 3D Reconstruction of residential areas with SfM photogrammetry. In *Advances in Remote Sensing and Geo Informatics Applications: Proceedings of the 1st Springer Conference of the Arabian Journal of Geosciences (CAJG-1)*, Tunisia 2018 (pp. 73-75). Springer International Publishing.
8. Kaya, Y., Şenol, H. İ., Yiğit, A. Y., & Yakar, M. (2023). Car detection from very high-resolution UAV images using deep learning algorithms. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 89(2), 117-123.
9. Yakar, M., Yılmaz, H. M. & Mutluoglu, O. (2010). Close range photogrammetry and robotic total station in volume calculation. *International Journal of the Physical Sciences*. 5(2), 086-096
10. Ünal, M., Yakar, M., & Yildiz, F. (2004, July). Discontinuity surface roughness measurement techniques and the evaluation of digital photogrammetric method. In *Proceedings of the 20th international congress for photogrammetry and remote sensing*, ISPRS (Vol. 1103, p. 1108).
11. Villi, O., & Yakar, M. (2022). İnsansız Hava Araçlarının Kullanım Alanları ve Sensör Tipleri. *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 4(2), 73-100.
12. Hastaoglu A E C, Hastaoglu K O, Poyraz F & Gul Y (2021). İHA fotogrametrisi konum doğruluğuna kamera odak uzaklığı etkisinin incelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*, 3(1), 22-28
13. Kanun, E., & Yakar, M. (2021). Mobile phone-based photogrammetry for 3D modeling of ship hulls. *Mersin University Journal of Maritime Faculty*, 3(1), 9-16.
14. Kanun, E., Alptekin, A., Karataş, L., & Yakar, M. (2022). The use of UAV photogrammetry in modeling ancient structures: A case study of "Kanytellis". *Advanced UAV*, 2(2), 41-50.
15. Ateş, E., 2021, Türkiye'nin İnsansız Hava Aracı (İHA) İhracat Rekabet Gücünün Analizi, *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*- 2021; 3(1); 07-16
16. Yakar, M., Yılmaz, H. M. (2008). Using in volume computing of digital close range photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(3b).
17. Yakar M, Yılmaz H M & Mutluoğlu Ö (2010). Comparative evaluation of excavation volume by TLS and total topographic station based methods. *Lasers in Eng*, 19, 331-345.
18. Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Martínez-Carricondo, P. 2017. Assessment of photogrammetric mapping accuracy based on variation ground control points number using unmanned aerial vehicle. *Measurement*, 98, 221-227.
19. Ferrer-González, E., Agüera-Vega, F., Carvajal-Ramírez, F., Martínez-Carricondo, P. 2020. UAV photogrammetry accuracy assessment for corridor mapping based on the number and distribution of ground control points. *Remote sensing*, 12(15), 2447.
20. Harwin, S. 2012. Lucieer, A. Assessing the Accuracy of Georeferenced Point Clouds Produced via Multi-View Stereopsis from Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Imagery. *Remote Sens.*, 4, 1573-1599.
21. Mohammed, O., & Yakar, M. (2016). Yersel fotogrametrik yöntem ile ibadethanelerin modellenmesi. *Selcuk University Journal of Engineering Sciences*, 15(2), 85-95.
22. Oniga V. E., Breaban A. I., Statescu F. 2018. Determining the Optimum Number of Ground Control Points for Obtaining High Precision Results Based on UAS Images, *Proceedings 2018*
23. Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Yurt, K. (2010). The effect of grid resolution in defining terrain surface. *Experimental Techniques*, 34(6), 23-29.
24. Yakar, M., Yildiz, F., Alyılmaz, C., & Yılmaz, H. M. (2009). Photogrammetric study for Sircali Medrese Door. 9-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2009, 879-884.
25. Villi, O., & Yakar, M. (2024). Sensor technologies in unmanned aerial vehicles: types and applications. *Advanced UAV*, 4(1), 1-18.
26. Polat, N. 2023. An Investigation of Ancient Water Collection and Storage Systems Near the Karahantepe Neolithic Site Using UAV and GIS, *Environmental Archaeology*, 28(6), 475-487.

27. Akar, A. 2017. Evaluation of Accuracy of Dems Obtained from Uav-point Clouds for Different Topographical Areas, *International Journal of Engineering and Geosciences*, 2(3), 110-117.
28. Zeybek, M., Kaya, A. 2020. Tarihi Yığma Kiliselerde Hasarların Fotogrametrik Ölçme Tekniğiyle İncelenmesi: Artvin Tbeti Kilisesi Örneği. *Geomatik*, 5(1), 47-57.
29. Erdoğan, A., Mutluoğlu, Ö. 2020. İnsansız Hava Araçları ile Harita Üretim Çalışmalarında Farklı Yüksekliklerde Yapılan Uçuşların Konum Doğruluğuna Etkisi, *Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi*, 2(1); 28-35
30. Li, J., Wang, Q., & Zhao, X. (2025). Influence of Ground Control Point Reliability and Distribution on UAV Photogrammetric 3D Mapping Accuracy. *Measurement*, 236, 115012.
31. Chen, Y., Zhang, F., & Liu, W. (2025). Optimal Ground Control Point Layout for UAV Photogrammetry in High Terrain Regions. *Measurement*, 241, 115067.
32. Zhang, Y., & Wang, S. (2023). Automatic Detection of Aerial Survey Ground Control Points Based on YOLOv5-OB. *arXiv preprint arXiv:2303.03041*
33. Türk, T. (2020). PPK GNSS Sistemine Sahip İnsansız Hava Araçları İle Elde Edilen Fotogrametrik Ürünlerin Doğruluğunun Farklı Yaklaşımlarla İrdelenmesi. *Türkiye Fotogrametri Dergisi*.
34. Kahveci, M. (2011). Statik ve RTK GNSS Ölçüm ve Hesaplamalarının Karşılaştırılması. *Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası (HKMO) Yayını*.
35. Yakar, M., Yıldız, F., Uray, F., & Metin, A. (2010) Photogrammetric Measurement of The Meke Lake and Its Environment with Kite Photographs to Monitoring of Water Level to Climate Change. In *ISPRS Commission V Mid-Term Symposium* (pp. 613-616)
36. Yilmaz, H. M. & Yakar, M. (2008). Computing Of Volume Of Excavation Areas By Digital Close Range Photogrammetry. *Arabian J. Sci. Eng.* 33(1A), 63-78.
37. Yakar, M. & Yilmaz, H. M. (2008). Using in volume computing of digital close range photogrammetry. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37(3b).
38. Yakar, M., Yildiz, F., Alyilmaz, C., & Yilmaz, H. M. (2009). Photogrammetric study for Sircali Medrese Door. *9-th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2009*, 879-884.
39. Korumaza, A. G., Korumaz, M., Dulgerlera, O. N., Karasaka, L., Yıldız, F., & Yakar, M. (2010). Evaluation of laser scanner performance in documentation of historical and architectural ruins, a case study in Konya. *International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 38(5), 361-366.
40. Yakar, M. and Yilmaz, H.M. 2011b. Determination Of Erosion On A Small Fairychimney, *Experimental Techniques*, doi: 10.1111/j.1747-1567.2010.00661.
41. Yilmaz H.M., Yakar M., Yildiz F., Karabork H., Kavurmaci M.M., Mutluoglu O., & Goktepe A. (2010). Determining rates of erosion of an earth pillar by terrestrial laser scanning. *Arab. J. Sci. Eng.* 35(2A), 163-172 (2010)



© Author(s) 2026. This work is distributed under <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/>