



İnsansız hava aracı yardımıyla zamansal topoğrafya değişiminin hassas şekilde izlenmesi

Precise monitoring of temporal topographic change detection via unmanned air vehicle

Serkan KARAKIŞ^a, Umut Güneş SEFERCİK^{a*}, Turhan BİLİR^b ve Can ATALAY^a

^aBülent Ecevit Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeomatik Mühendisliği Bölümü, 67100, Zonguldak, Türkiye

^bİstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 34320, İstanbul, Türkiye

Araştırma Makalesi

Anahtar Kelimeler:

Dijital fotogrametri, İHA, DiffDTM, İzleme.

ÖZ

Günümüzde hızlı gelişen uzay ve hava kaynaklı uzaktan algılama teknolojileri, harita, jeoloji, çevre ve madencilik gibi araziye bağlı mühendislik disiplinleri için vazgeçilmez hale gelmiştir. Dijital fotogrametri ve hava kaynaklı lazer tarama (Airborne Laser Scanning-ALS) ile çok yüksek çözünürlüklü (Very High Resolution - VHR), hızlı ulaşılabilen hassas nokta bulutları sayesinde topoğrafik yüzey tanımlaması kolay hale gelmiştir. Fotogrametrik tekniklerin en güncellerinden biri olan optik donanımlı insansız hava araçları (İHA), farklı amaçlar için oldukça revaçtadır. İHA'lar düşük uçuş irtifasının avantajını kullanarak yüksek çözünürlüklü veri sağlamaktadır. Bu çalışmada, Bülent Ecevit Üniversitesi Kampüsü içerisinde yer alan bir inşaat çalışması ve onun çevresel etkileri el yapımı bir optik İHA ile gözlemlenmiştir. Uygulamada, topoğrafyaya ait eş yükseklik eğrileri, sayısal arazi modeli (Digital Terrain Model - DTM) ve fark DTM'leri (Differential DTM- DiffDTM) kullanılarak zamansal değişimler belirlenmiştir. DiffDTM'ler kullanılarak, topoğrafya üzerindeki değişimler, eş yükseklik eğrilerinin morfolojik yapının değişimini gösteren renk yükseklik skalası ile görselleştirilmiştir.

Geliş Tarihi: 24.10.2018

Kabul Tarihi: 25.01.2019

Keywords:

Digital photogrammetry, UAV, DiffDTM, Monitoring.

ABSTRACT

Nowadays, fast developing space-borne and airborne remote sensing technologies became indispensable for land related engineering disciplines such as mapping, geology, environment, mining and forestry. The new technologies, provide more qualified and rapid achievable outcomes, are adopted permanently. The description of the topographic surface became easier by means of very high resolution (VHR), rapid achievable and accurate point clouds acquired by digital photogrammetry and airborne laser scanning (ALS). Optical unmanned air vehicle (UAV), one of the most actual photogrammetric techniques, is much in demand for varied purposes. UAVs provide high resolution data using the advantage of lower flight altitudes. In this study, a construction activity and its environmental influences in Bulent Ecevit University Central Campus were monitored by an optical hand-made UAV. In the application, the temporal change was detected by generating contour-lines, digital terrain models (DTMs) and differential DTMs (DiffDTM) of the topography. By DiffDTMs, temporal changes on the topography were visualized in color height scale where the contour-lines presents the change of morphological structure.

1. Giriş

Son yıllarda, uzay ve hava kaynaklı uzaktan algılama teknikleri hızla gelişmekte ve inşaat faaliyetleri veya doğal afetlere dayalı topoğrafik yer değiştirmelerin ve deformasyonların izlenmesi, zamansal değişim belirleme analizleri ile mümkün hale gelmiştir. Havadan lazer taraması (ALS) teknolojisinin gelişmesiyle, topoğrafik yüzeyin üç boyutlu tanımı, önceki uzaktan algılama teknikleri ile sağlanamayan, çok yüksek çözünürlüklü, hızlı ulaşılabilen hassas nokta bulutları sayesinde daha kolay hale gelmiştir (Deng vd., 2007; Darwin vd., 2014; Höhle, 2017; Manfreda vd., 2018a). Yüksek yüzey tanımlama potansiyeli göz önüne alındığında, nokta bulutu düşüncesi ALS'yi takiben fotogrametrik görüntü işlemeye uyarlanmıştır (Teizer vd., 2005; Rosnell ve Honkavaara 2012). Fotogrametrik algılama, CCD/CMOS sensör entegre edilmiş multispektral dijital kameralarla havadan fotoğraflar alır ve stereo görüntülerin ilgili bölümlerinde nokta bulutları orijinal renklerde sağlanabilir (Rosnell ve Honkavaara, 2012; Swatantran vd., 2016).

Nokta bulutunun çözünürlüğü, üç boyutlu topoğrafyayı tanımlamada önemli rol oynar (Manfreda vd., 2018b) ve çözünürlüğü artırmanın en iyi yolu düşük uçuş yüksekliği ile insansız hava aracı (İHA) görüntülemesidir (Ai vd., 2015).

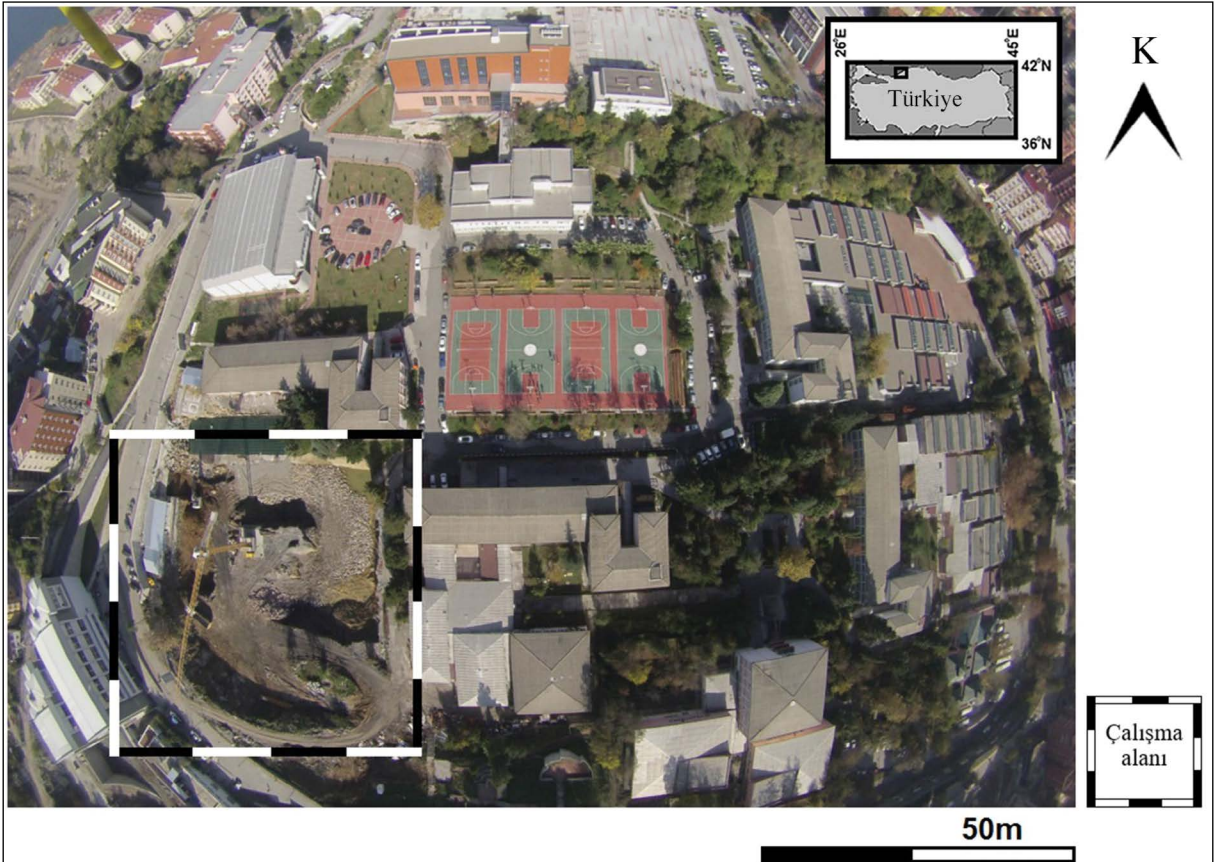
2. Çalışma Alanı

Seçilen çalışma alanı yeni Mühendislik Fakültesi binasının inşa edildiği yerdir. Yaklaşık olarak 100 m x 100 m (1 ha) alana sahiptir ve ortometrik yüksekliği yaklaşık olarak 65 m'dir. Şekil 1'de Bülent Ecevit Üniversitesi Ana Kampüsünün İHA uçuşuyla elde edilmiş yüksek çözünürlüklü (12 mp) görüntü üzerinde tercih edilmiş kısmı gösterilmektedir. Alan kazı sırasında periyodik olarak gözlenmiş, ilk ve son alınan stereo görüntüler uygulamada kullanılmıştır.

3. Materyal ve Metot

3.1. Kullanılan Materyaller

Bu çalışmada kullanılan İHA el yapımıdır ve basit ekipmanlara sahiptir. Bunun yanında kolayca üretilip



Şekil 1- Bülent Ecevit Üniversitesi merkez kampüsüne ait yüksek çözünürlüklü İHA görüntüsü.

çok çeşitli uygulamalarda kullanılabilir. Ana gövde karbonfiber kollarla kurulmuş ve ekipmanlar bunun üzerine yerleştirilmiştir. İHA'nın ana bileşenleri; fırçasız motorlar, uçuş kontrol birimi, anlık yer belirleme için küresel konumlama sistemi (GPS), veri kontrol kartı, elektronik hız kontrolcüsü, bir batarya ve harici radyo vericisi ile haberleşecek bir radyo alıcısından oluşmaktadır. Üretilen İHA ve ana ekipmanları şekil 2'de gösterilmiştir.

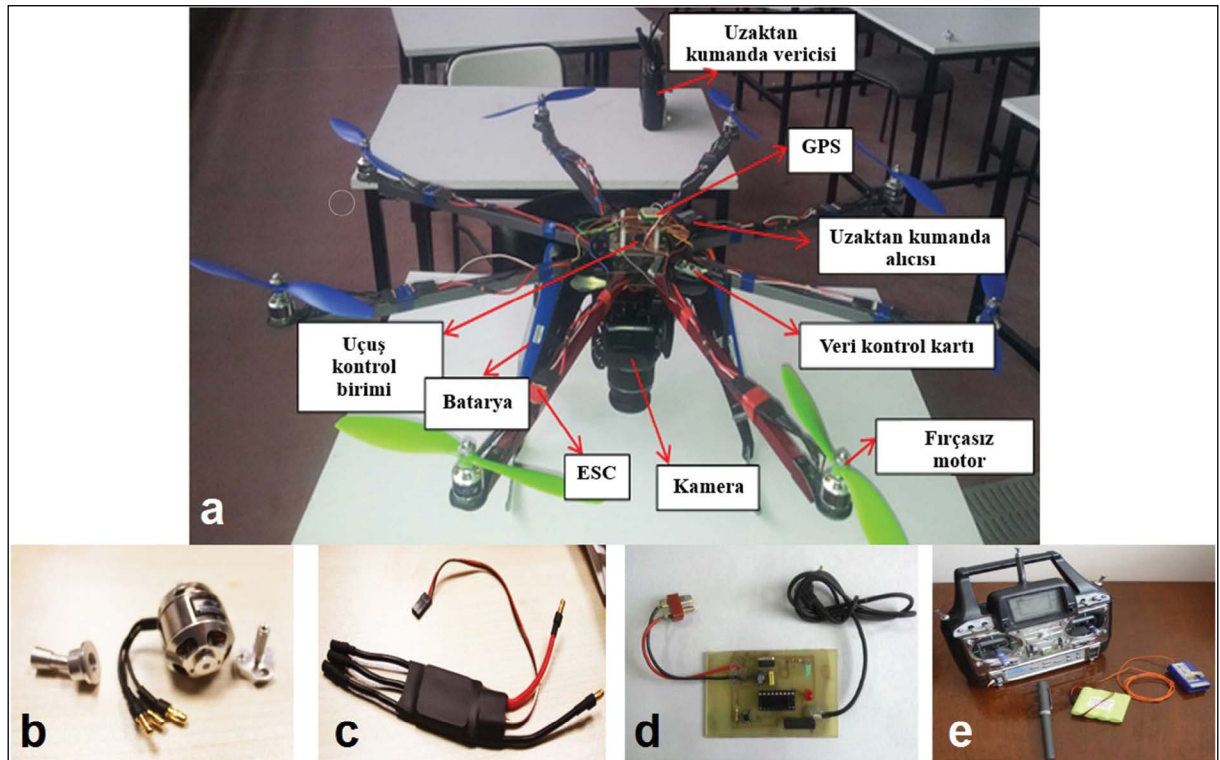
Çalışmada, oktokopter gövdesine bütün olarak yerleştirilmiş 12Mp'lik Canon EOS450D DSLR kamera kullanılmıştır. Kamera özellikleri çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1- Canon EOS450D DSLR kamera teknik özellikleri.

Çözünürlük (megapiksel)	12
Çerçeve Boyutu (piksel)	4272 × 2848
Sensor boyutu (mm)	22,2 × 14,8
Piksel boyutu (µm)	5
Maksimum perde hızı (sn)	1/4000
Ağırlık (g)	475
Kamera boyutları (mm)	129 × 98 × 62
İşlemci	Digic III

Oktokopter 8 kanala sahip modülasyonla veri transferi yapan bir uzaktan kumandayla işletilmektedir. Her bir kanal İHA'nın hareket çeşitliliğini arttırmaktadır. Bu İHA'da, 5 kanal; motor hareketleri (kalkış ve iniş), sağ-sol hareket, ileri-geri hareket, kendi etrafında dönüş ve uçuş tipi seçimi için kullanılmıştır. Diğer 3 kanal fotoğraf çekimi ve diğer işlemler için kullanılabilir.

İHA'da kullanılan fırçasız motorlar verimlidir ve düzenli hız-zaman ilişkisine sahiptir. Riskli hava ve topoğrafik durumlarda kullanılmaya elverişlidir ve ekstra bakım ihtiyaçları yoktur. Diğer taraftan, fiyatları yüksek ve tekil operasyonları zordur. Fırçalı doğru akım motorlarından farklı olarak fırçasız doğru akım motorlarında tetikleme işlemi elektronik olarak ESC tarafından gerçekleştirilir. İHA'nın hareket kontrolü için mikro denetleyiciler kullanılır. Mikro denetleyicilerin görevleri olarak; kontrol biriminden, sensörlerden veri alıp gerçek zamanlı olarak alınan verilerin işlenmesi olarak özetlenebilir. Mikro denetleyici işlemleri için açık kaynak kodlu Arduino kullanılmıştır. Gerekli düzenlemeler C programlama dilinde gerçekleştirilmiştir (Karakış, 2012).



Şekil 2- İHA ve ana ekipmanları; a) üretilen oktokopter, b) fırçasız motor, c) elektronik hız kontrolcü (ESC), d) elektronik zamanlayıcı, e) uzaktan kumanda vericisi.

İHA uçuşunda, cihazın dengesi bir grup sensör ile sağlanmaktadır. Bu sensörlerin ana görevleri; uçuş stabilitesini ve doğru hareketleri sağlamak olarak özetlenebilir. İHA uçuşlarımızda jiroskop, akselerometre, basınç sensörü ve hava ve uzay kaynaklı görevlerin ana atalet bileşenleri olan atalet ölçüm sistemi (Inertial Measurement Unit-IMU) kullanılmıştır (Watts vd. 2012; Sørensen vd. 2017). Görüntü alımı için İHA'ya elektronik bir zamanlayıcı entegre edilmiştir. Görüntü alım aralığı uçuş sırasında oktokopterin muhtemel bakışları göz önünde bulundurularak 1 saniye olarak belirlenmiştir. Aralığın 1 saniye olması deneme uçuşlarına bağlı olarak bu şekilde seçilmiştir.

Yük ve gerekli uçuş süresi göz önünde bulundurularak, yüksek enerji sağlaması için 11.1V ve 8000mAh deşarj kapasiteli lityum polimer batarya tercih edilmiştir. Tüm bu ekipmanların başarılı bir şekilde birleştirilmesiyle, hava görüntüleri yaklaşık 3cm yer örnekleme aralığıyla (Ground Sampling Distance-GSD) alınmıştır.

3.2. Geometrik Görüntü Düzeltme Metotları

Fotogrametrik kıymetlendirme sırasında, stereo hava görüntülerinin işlenmesi için 5 adet yer kontrol noktası (Ground Control Point-GCP) tesis edilmiş ve gerçek zamanlı kinematik uydu konumlama sistemi ile ölçülmüştür (Real Time Kinematic Global Navigation Satellite Systems-RTK GNSS). 3B model üretiminde iç, karşılıklı ve mutlak yönelmeler hesaplanmıştır. Ardından, stereoskopik kıymetlendirme ile model

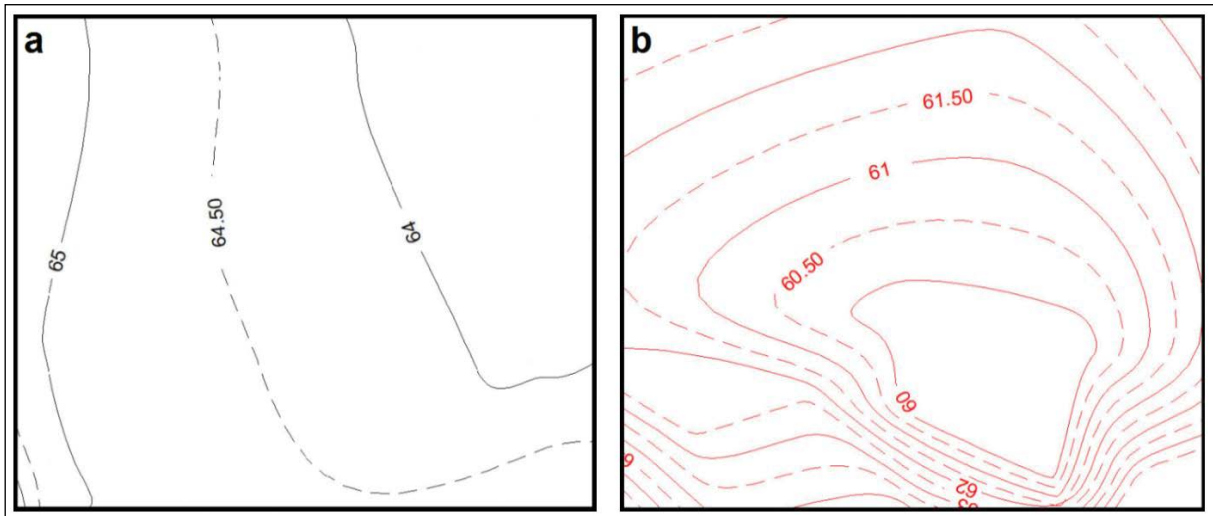
noktaları elde edilmiş ve bu model noktaları kullanılarak eş yükseklik eğrileri çizilmiştir.

Topoğrafyadaki zamansal değişimleri belirlemek için, LISA yazılımında inşaattan önce ve sonraki zemin ve kazı kotları göz önünde bulundurularak, hareketli ortalama enterpolasyon methodu kullanan vektör-raster dönüşüm ile 10cm gridlenmiş sayısal arazi modeli (Digital Terrain Model-DTM) üretilmiştir. DiffDTM, yer ve kazı yükseklik verileri kullanılarak üretilen DTM'lerden aşağıdaki eşitlikle elde edilmiştir;

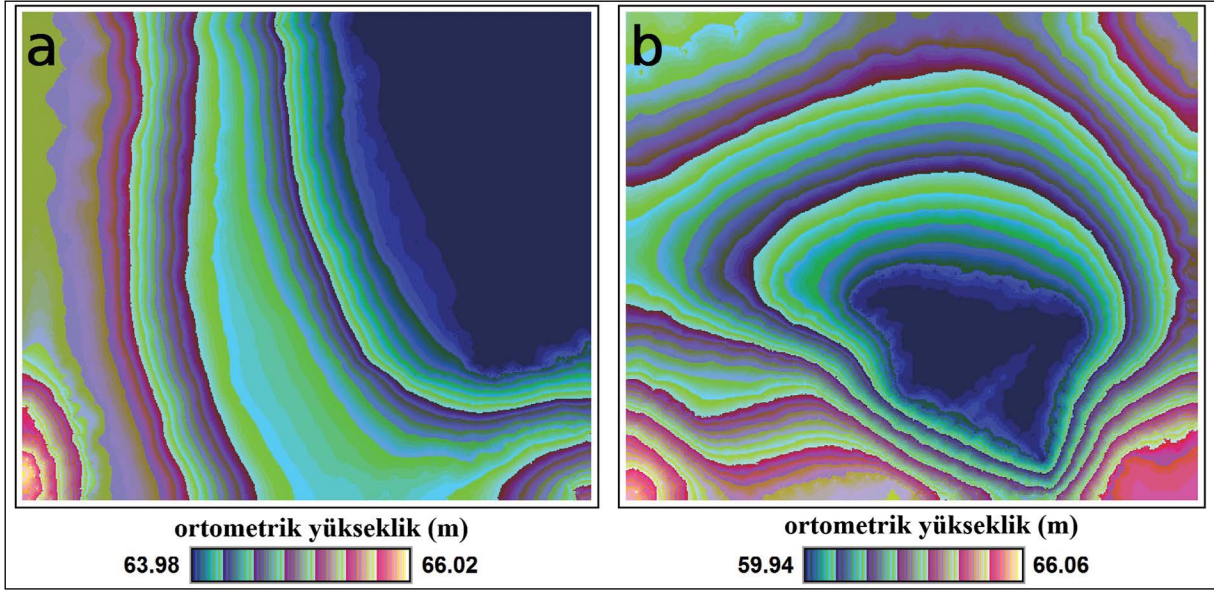
$$DiffDTM = DTM_{grade} - DTM_{ground} \quad (1)$$

4. Sonuçlar

Yer ve kazı yüksekliklerine bağlı olarak oluşturulan eş yükseklik eğrileri şekil 3'te ayrı ayrı verilmiştir. Şekilde, kazıyla oluşan yaklaşık 4m topoğrafik yükseklik değişimi görülmektedir. Buna rağmen, zamansal topoğrafik değişim çoğu zaman eş yükseklik eğrisi aralığının ya da vektör yapının eksikliğinden tam olarak ayırt edilememektedir. Şekil 4'te, kazı öncesi ve sonrası için üretilen raster DTM'ler yükseklik skalalarıyla verilmiştir. Raster DTM'ler tüm alanı 10cm çözünürlük, ±3cm planimetrik ve ±5cm düşey mutlak konum doğruluğu ile sunmaktadır. Bu sayede topoğrafyadaki gerçek değişim elde edilebilmektedir. Modellerin konum doğrulukları nokta bazlı GNSS ölçümlerine bağlı olarak, konum farklarının en küçük kareler yöntemi ile analiziyle hesaplanmıştır. Kazı sonrası saçakların sayısındaki artış şekil 4b'de açık bir şekilde görülmektedir.

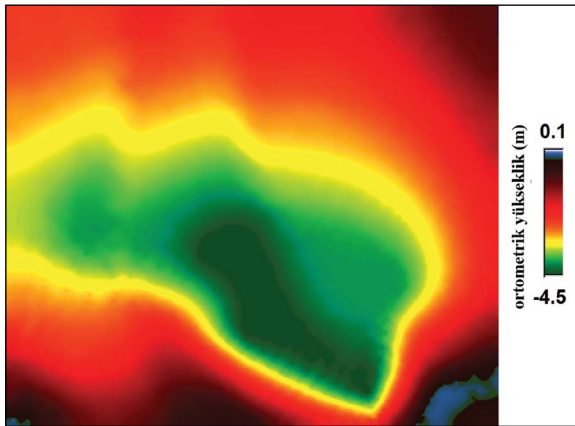


Şekil 3- a) Zemin ve b) kazı eş yükseklik eğrileri.



Şekil 4- a) Zemin ve b) DTM'leri.

Şekil 5'te alana ait yükseklik skalalı DiffDTM verilmiştir. DiffDTM göz önüne alındığında, zamansal topoğrafik değişim $-4.5\text{m}'$ ye kadar çıkmaktadır. DiffDTM kullanılarak hesaplanan alansal ve hacimsel değişimler çizelge 2'de verilmiştir.

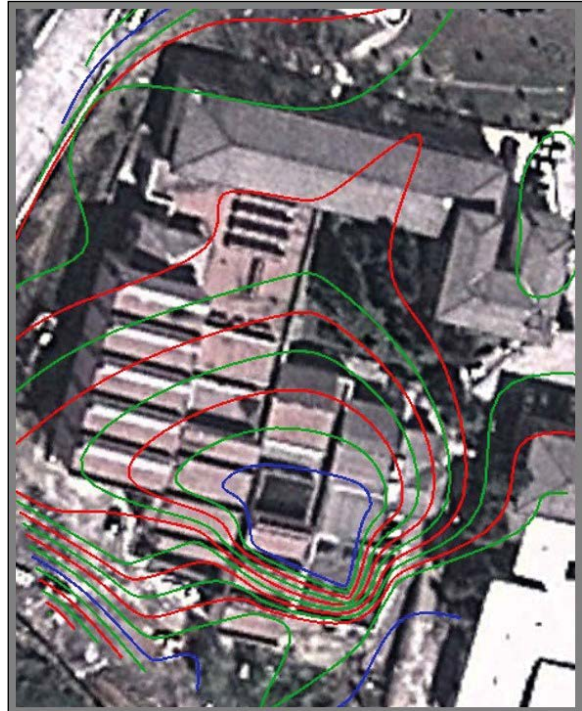


Şekil 5- İnşaat alanına ait İHA bazlı DiffDTM.

Çizelge 2- Çalışma alanındaki alansal ve hacimsel değişimler.

Kazı hacmi (m ³)	5089,9
Dolgu hacmi (m ³)	337,8
Kazı alanı (m ²)	2924,5
Dolgu alanı (m ²)	369,2

Sonuçlardan da görüleceği gibi, tüm alansal ve hacimsel zamansal değişim bilgileri el yapımı bir İHA ile kolayca elde edilebilir. Görsel doğrulama için, kazı yüksekliğini yansıtan eş yükseklik eğrileri Google-Earth görüntüsü üzerine yerleştirilmiştir (Şekil 6). Bu sayede, çalışma alanının ilk ve son durumu açık bir şekilde belirlenebilir (Lütfen şekil 1 ile kıyaslayınız).



Şekil 6- GoogleEarth üzerine yerleştirilmiş kazı yüksekliklerine ait eş yükseklik eğrileri.

5. Öneriler

Bu çalışmada, alansal ve hacimsel zamansal değişim belirlemede insansız hava aracı tekniğinin yüksek potansiyeli açıklanmaya çalışılmıştır. Uygulama Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi Ana Kampüsü'nde yer alan bir inşaat alanında gerçekleştirilmiştir. Çalışma alanı inşaat çalışmaları sırasında DSLR bir kamera ile donatılmış İHA ile gözlemlenmiştir. Elde edilen stereo modellerin geometrileri RTK GNSS ile ölçümleri yapılan yer kontrol noktaları ile düzeltilmiştir. Topoğrafyaya ait kazı öncesi ve kazı sonrası yükseklik bilgileri ilk ve son uçuş verileri kullanılarak elde edilmiş ve sayısal arazi modelleri ayrı ayrı oluşturulmuştur. Sayısal fark arazi modeli üretilerek alansal ve hacimsel zamansal topoğrafik değişimler açık bir şekilde hesaplanmıştır. Çalışma ile inşaat alanlarındaki belirli periyotlarda kazı ve dolgu büyüklüklerinin hassas bir şekilde hesaplanmasında insansız hava aracı teknolojisinin çok yararlı olduğu ortaya konulmuştur.

Değınilen Belgeler

- Ai, M., Hu, Q., Li, J., Wang, M., Yuan, H., Wang, S. 2015. A robust photogrammetric processing method of low-altitude UAV images. *Remote Sens* 7:2302–2333. doi: 10.3390/rs70302302
- Darwin, N., Ahmad, A., Zainon, O. 2014. The potential of unmanned aerial vehicle for large scale mapping of coastal area. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci* 18:. doi: 10.1088/1755-1315/18/1/012031.
- Deng, Y., Wilson, J.P., Bauer, B.O. 2007. DEM resolution dependencies of terrain attributes across a landscape. *Int J Geogr Inf Sci* 21:187–213. doi: 10.1080/13658810600894364.
- Höhle, J. 2017. Generating topographic map data from classification results. *Remote Sens* 9: doi: 10.3390/rs9030224.
- Karakış, S. 2012. İnsansız Hava Aracı Yardımıyla Büyük Ölçekli Fotogrametrik Harita Üretim Olanaklarının Araştırılması. *Harita Dergisi* 147:13–20.
- Manfreda, S., McCabe, M.F., Miller, P.E., Lucas, R., Pajuelo Madrigal, V., Mallinis, G., Ben Dor, E., Helman, D., Estes, L., Ciraolo, G., Müllerová, J., Tauro, F., De Lima, M.I., De Lima, J.L.M.P., Maltese, A., Frances, F., Caylor, K., Kohv, M., Perks, M., Ruiz-Pérez, G., Su, Z., Vico, G., Toth, B. 2018a. Use of Unmanned Aerial Systems for Environmental Monitoring. *Remote Sens* 10(4):641. doi: 10.3390/rs10040641.
- Manfreda, S., Dvorak, P., Mullerova, J., Herban, S., Vuono, P., Arranz Justel, J.J., Perks, M. 2018b. Accuracy Assessment on Unmanned Aerial System Derived Digital Surface Models, Preprints 2018, doi: 10.20944/preprints201809.0579.v1.
- Rosnell, T., Honkavaara, E. 2012. Point cloud generation from aerial image data acquired by a quadcopter type micro unmanned aerial vehicle and a digital still camera. *Sensors* 12:453–480. doi: 10.3390/s120100453.
- Sørensen, L.Y., Jacobsen, L.T., Hansen, J.P. 2017. Low cost and flexible UAV deployment of sensors. *Sensors (Switzerland)* 17:1–13. doi: 10.3390/s17010154.
- Swatantran, A., Tang, H., Barrett, T., DeCola, P., & Dubayah, R. 2016. Rapid, high-resolution forest structure and terrain mapping over large areas using single photon lidar. *Sci Rep* 6:1–12. doi: 10.1038/srep28277.
- Teizer, J., Kim, C., Bosche, F. N., Haas, C. T., Caldas, C. 2005. Real-time 3{D} Modeling for Accelerated and Safer Construction using Emerging Technology. 539–543.
- Watts, A.C., Ambrosia, V.G., Hinkley, E.A. 2012. Unmanned aircraft systems in remote sensing and scientific research: Classification and considerations of use. *Remote Sens* 4:1671–1692. doi: 10.3390/rs4061671.