

HACİM HESAPLAMALARINDA LASER TARAMA VE YERSEL FOTOGRAMETRİNİN KULLANILMASI

M. Yakar², H. M. Yılmaz², Ö. Mutluoğlu³

¹Selçuk Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh.Bölümü, Fotogrametri Anabilim Dalı, Konya, yakar@selcuk.edu.tr

²Aksaray Üniversitesi, Jeodezi ve Fotogrametri Müh.Bölümü, Fotogrametri Anabilim Dalı, Aksaray, hmyilmaz@aksaray.edu.tr

³Selçuk Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Konya, omutluoglu@selcuk.edu.tr

ÖZET

Hacim hesaplamaları birçok mühendislik çalışmalarında kullanılmaktadır. Hacim hesapları jeodezik ölçmelerle yapılabildiği gibi fotogrametri ve lazer tarama teknolojileri ile de yapılabilmektedir. Özellikle erişilmesi riskli ve zor bölgelerde hesaplamaların arazi çalışmalarından ziyade çekilen resim veya objenin taranan görüntüleri yardımıyla yapılması daha uygun olmaktadır. Yazılım ve donanım teknolojisindeki gelişmeler birçok mühendislik çalışmalarındaki işlemleri daha kolay, daha hızlı ve daha hassas yapılabilir hale getirmiştir.

Bu çalışmada fotogrametrik ve lazer tarama yönteminin hacim hesabındaki performansı incelendi. Bir kazı bölgesinde her iki yöntem ile hacim hesabı yapıldı. Yöntemler doğruluk, zaman ve maliyet açısından karşılaştırıldı. Her iki yöntemde hacim hesaplamaları açısından kullanılabilir olduğu sonucu elde edildi.

Anahtar Kelimeler: Hacim Hesabı, Lazer Tarama, Fotogrametri, Yüzey

1.GİRİŞ

Genellikle mühendislik projelerinin (yol, inşaat, madencilik vs.) arazi ile ilgili çalışmaları sırasında maliyet hesaplarının yapılabilmesi için kazılacak ve doldurulacak toprak hacimlerinin hesaplanmasına ihtiyaç duyulur. Hacim hesapları genel olarak, enkesitlerden, prizmalardan, yüzey nivelmanı ölçülerinden ve eş yükseklik eğrili haritalardan yararlanılarak yapılır.

Günümüzde bu yöntemlere alternatif çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmaların dayanak noktası araziye tanımlayacak uygun dağılımda ve sıklıkta noktaların toplanmasıdır. Fakat bu yöntem çok fazla hesaplama işlemi gerektirmektedir. Bu matematiksel işlemler karmaşık olmamasına rağmen zaman alıcı ve sıkıcıdır. Ancak bilgisayar teknolojisindeki gelişmelerle bu zorluklar aşılmıştır. Bu yüzden sayısal arazi modeli yöntemi çok büyük önem kazanmış olup, hacim hesabında en sık kullanılan metod olmuştur. Burada temel teori, araziye en iyi tanımlayacak noktalara (X,Y,Z koordinatları) dayandırılmaktadır (Yanalak 2005). Her bir nokta kendine komşu noktalara bağlanır, böylece tüm arazi yüzeyini kaplayacak üçgen prizmaları oluşturulur. Bu üçgen prizmaların hacimlerinin toplamı tüm yüzeyin belli bir referans yüzeyinden olan hacim miktarını verir. Araştırmalar iki karmaşık yüzey arasındaki hacim hesabını yapabilecek seviyeye gelmiştir. Şu anda çalışmalar doğrudan üç boyutlu yüzeylerin hacminin hesaplanması üzerine yoğunlaşmıştır.

Bilgisayar teknolojisindeki son gelişmeler 3 boyutlu ölçüm teknolojisinde sürekli yenilikler getirmektedir. Yersel fotogrametri ve lazer ölçme teknikleri bu gelişmelerden en çok etkilenen iki teknolojidir. Robotik lazer tarayıcı total stationlar 3D modelleme için etkili bir ölçme teknolojisi olarak mevcut sistemlere rakip veya alternatif olarak hızla gelişmektedir. Robotik lazer tarayıcı total stationlar yüzlerce noktanın 3D koordinatlarını elde edebilmektedirler. Robotik lazer tarayıcılar klasik haritacılık işlerinde kullanılacağı gibi cisimle temas etmeden ölçüm yeteneği olan lazer teknolojisi ile ölçümde yeni ufuklar açmış uygulama alanları da aynı oranda artmıştır. Özellikle ölçülmesi riskli olan bölgelerde diğer klasik aletlere üstünlüğü bir kat daha atmaktadır. Jeodezik yöntemlerle ölçülemeyen ya da ölçülmesi çok zor olan ölçüm işlemleri bu tür tekniklerle artık oldukça kolay tamamlanabilmektedir.

3 boyutlu ölçüm teknolojilerinden en göze çarpan diğer bir yöntemde yersel fotogrametri tekniğidir. Yersel fotogrametri klasik ölçme metodları ile kıyaslandığında daha verimli ve hızlıdır, arazide veri toplamak için gereken zamanı anlamlı bir şekilde azaltır (Atkinson 1996). Her bir ölçü noktası fiziki olarak temas kurulmadan elde edilebilmektedir. Oldukça güvenli bir metottur.

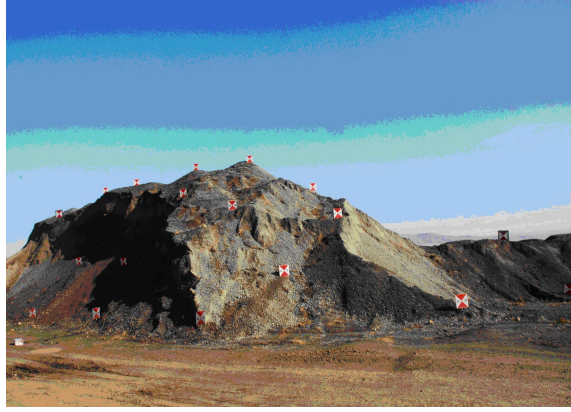
Bu projede digital yersel fotogrametrinin ve robotik lazer tarayıcı total stationların hacim hesaplarında kullanılabilirliği ve performansı araştırılmıştır. Bu amaçla arazide gerçek üretim yapan bir işletmede kazı alanı seçilerek bu kazı alanının hem fotogrametrik hem de lazer ölçüm yöntemiyle elde edilen verilerden hacimleri hesaplanmıştır. Her yöntemle yapılan arazi ve değerlendirme çalışmalarında zaman ve maliyet hesapları yapılmıştır.

2. VERİ VE YÖNTEM

Bu çalışmada hacim hesabı için yersel fotogrametri ve robotic lazer tarama metotları kullanıldı.

2.1 Arazi Çalışmaları

Hacim hesaplamaları için bir kum ocağı seçilmiştir (Şekil 1). Kum ocağı yaklaşık 20 m boyunda, 14 m derinliğinde ve 5m yüksekliğinde bir kum yığınının oluşmaktadır. Hacim hesapları iki farklı yöntemle yapıldı. Bu yöntemler fotogrametrik yöntem ve robotic lazer tarama yöntemleridir. Kazı bölgesinde iki kamyon kum kazısı yapıldı. Kamyonun kasa boyutları 2.20 m x 5.00 m x 1.55 m olarak ölçüldü. Bir kamyon kasasının hacmi 17.05 m³ olarak hesaplandı. Dolayısıyla iki kamyon kasası 34.10 m³ olmaktadır. Kazı bölgesindeki kum ocağından bir numune alındı ve laboratuarda bu malzemenin sıkışma oranı % 6 olarak hesaplatıldı. Kum ocağından kazılan kum miktarı $34.10 \cdot 0.06 = 32.054 \text{ m}^3$ olarak hesaplandı. Bu değer gerçek hacim değeri olarak alındı.



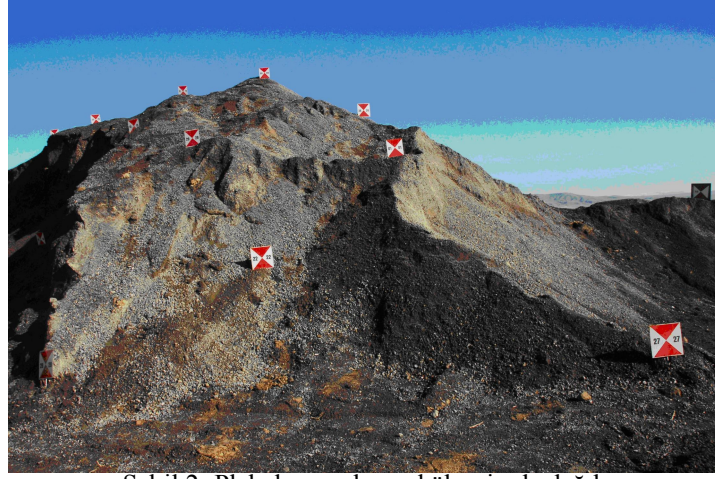
Şekil 1: Çalışma Alanı

3. HACİM HESAPLARI

Bu proje çalışmasında hacim hesapları daha önce de belirtildiği gibi üç farklı yöntemle yapıldı. Bu yöntemlerde yapılan ölçmelerde zaman, maliyet ve doğruluk analizleri için gerekli olan veriler de kayıt altına alındı. Hacim hesaplarında kazı öncesi ve kazı sonrası durumlar ayrı ayrı değerlendirildi ve bu iki yüzey arasındaki farktan hacimler hesaplandı. Hacim hesaplamaları için Surfer 8.0 yazılımı kullanıldı. Kazı bölgesinde üç noktadan oluşan bir lokal jeodezik ağ oluşturuldu. Bütün koordinatlandırma işlemleri bu noktalara dayalı olarak yapıldı. Hacim hesapları için yapılan çalışmalar aşağıdaki bölümlerde detaylı olarak açıklanmaktadır.

3.1 Fotogrametrik Yöntemle Hacim Hesabı

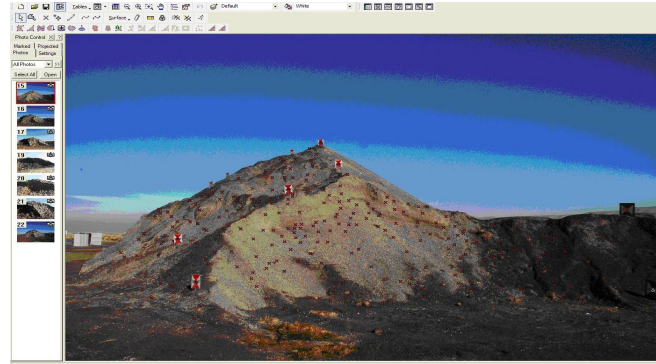
Fotogrametrik yöntemde resimlerin değerlendirilmesi için yersel fotogrametri yöntemi kullanıldı. Resim çekiminden önce çalışma bölgesine plakalar yerleştirildi. Plakalar çalışma için özel olarak üretilmiş 20*20 cm2 boyutlarında saç levhadan yaptırıldı (Şekil 2). Arazi yüzeyine kazı öncesi ve kazı sonrası 19 adet kontrol noktası plakaları yerleştirildi. Bu plakaların koordinatları jeodezik ölçme aleti ile ölçüldü. Kontrol noktalarının yerleştirilmesi 20 dakikada, koordinatlarının ölçülmesi 24 dakikada yapıldı.



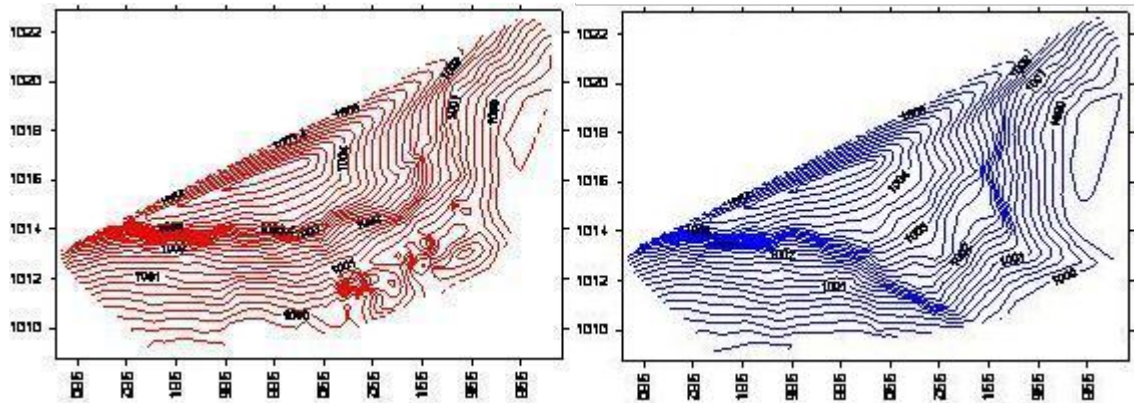
Şekil 2: Plakaların çalışma bölgesinde dağılımı

Plakalar araziye yerleştirildikten sonra NIKON D200 digital SLR makina ile fotogrametrik esaslara uygun olarak resimler çekildi. Resim çekme işlemi 20 dakikada yapıldı. Resimler Photomodeler 5.0 fotogrametrik yazılımında değerlendirildi (Şekil 3).

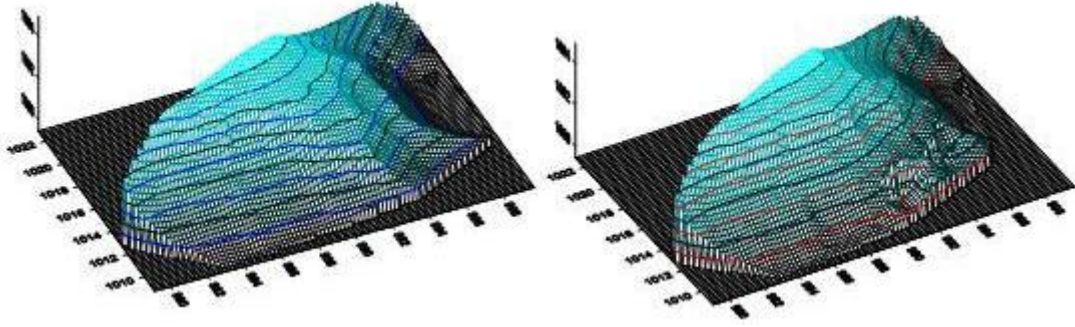
Fotogrametrik değerlendirme sonucunda kazı öncesinde 595 nokta, kazı sonrasında 476 nokta ölçüldü. Kazı öncesi değerlendirme işlemi 115 dakikada, kazı sonrası değerlendirme işlemi 95 dakikada yapıldı. Kazı öncesi ve kazı sonrasına ait nokta koordinatları Surfer 8.0 yazılımına aktarıldı ve kazı öncesi ve kazı sonrası yüzeyler elde edildi. İki yüzey farkından kazı hacmi 30.012 m^3 olarak hesaplandı. Fotogrametrik yöntemde yapılan çalışmalara ait görüntüler Şekil 4-6 de görülmektedir.



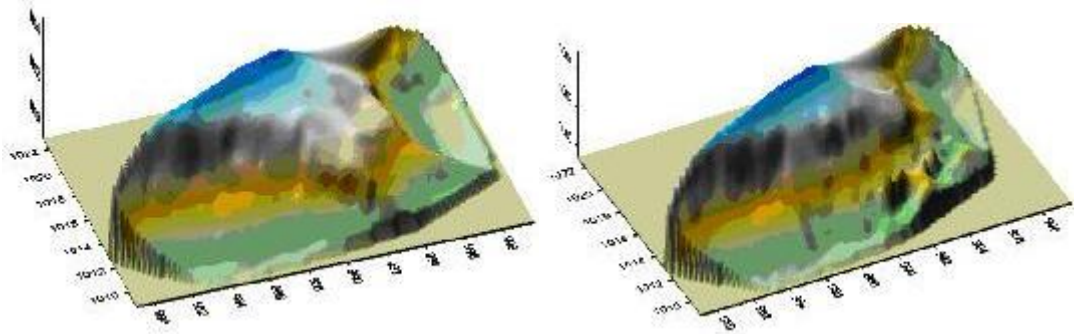
Şekil 3: Fotogrametrik değerlendirme



Şekil 4: Kazı öncesi ve kazı sonrası kontur harita



Şekil 5: Kazı öncesi ve kazı sonrası wireframe harita



Şekil 6: Kazı öncesi ve kazı sonrası 3D model

3.2 Robotic Lazer Tarayıcı İle Hacim Hesabı

Çalışmada Lazer tarama yönteminde tanımlanan arazi yüzeyinde belirlenen aralıklardaki noktaların koordinatları ölçülmektedir. Bu çalışmada tarama aralıkları 20 cm, 40 cm ve 100 cm olarak seçildi. Bu tarama aralıklarında elde edilen noktalar kullanılarak hacim hesapları yapıldı.

4. YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

Bu çalışmada kullanılan yöntemlerden elde edilen sonuçlar Tablo 1 de bir arada özetlenmiştir.

Tablo 1: Yöntemlere göre hacim hesabından elde edilen sonuçlar

Yöntem	Nokta Sayısı		Harcanan Zaman (dk)		Hacim (m ³)	Fark (m ³)	Doğruluk (%)
	Kazı Öncesi	Kazı Sonrası	Kazı Öncesi	Kazı Sonrası			
Fotogrametrik	595	476	100	85	30.012	-2.042	93.63
Lazer 20 cm	1949	1779	126	120	30.883	-1.171	96.35
Lazer 40 cm	979	890	68	63	30.025	-2.029	93.67
Lazer 100 cm	410	368	30	27	35.141	3.087	91.22

Kazı alanından kazılan kum miktarı hacmi bilinen bir kamyon ile ölçülmüş ve bu değer gerçek değer olarak alınmıştır. Buna göre yöntemlerin doğrulukları kıyaslanmıştır. Genel olarak yöntemlerle gerçek hacime % 10 hata payı ile yaklaşıldığı görülmüştür.

Günümüzde reflektörsüz modda ölçü yapabilen jeodezik ölçme aletlerinin yaygın olarak kullanılması ile ölçülecek noktaların yanına varılması gerekliliği ortadan kalkmıştır. Aletle ölçü yapılacak obje arasındaki mesafenin fazla olması jeodezik yöntemde arazi tanımlayacak karakteristik noktaların seçiminde zorluklara neden olmaktadır. Diğer taraftan yeni gelişen otomatik lazer nokta tarayıcı aletler ile bu problemler ortadan kalkmaktadır. Bu işlemde de araziyi temsil eden karakteristik noktaların yatay ve düşeyde tanımlanan tarama aralıklarının dışında kalması ihtimalinin olmasıdır. Bu durum tarama aralığının küçük tutulması giderilebilmekte ancak bu defa da tarama zamanı artmaktadır.

Fotogrametrik yöntemde fotogrametrik dengeleme iş lemlerinin yapılabilmesi için yüzey üzerinde kontrol noktalarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu kontrol noktaları arazinin yapısına bağı lı olarak yapay ya da doğ uđ al olmaktadır. Bu noktaların koordinatları jeodezik yöntemlerle belirlenmektedir. Fotogrametrik yöntem ile doğ ruluk ağı sından uygun sonuçlar alınmaktadır. Fotogrametrik yöntemde zamanın çoğ u bü rodaki değ erlendirme ç alış malarında harcanmaktadır. Arazi ç alış maları kısa sürmektedir. Bu da diğ er ç alış maların devam ettiğ i durumlarda bir avantaj olmaktadır.

Lazer nokta tarayıcılar tanımlanan bir alanda ve belirlenen yatay ve düş ey aralıklarda arazi yüzeylerini otomatik olarak tarama yeteneğ ine sahiptirler. Tanımlanan yüzey farklarından hacim hesabı söz konusu olduğ unda lazer nokta tarayıcılar ile ölçmelerin yapılması en uygun yöntemdir. Bu yöntemde en büyük dezavantaj arazideki ölçme süresinin oldukça fazla olmasıdır. Tarama aralığ ı kü ç üldükçe tarama zamanı artmaktadır.

Her yöntemde yüzeyi tanımlayan ve iki yüzey farkından hacim hesaplayabilen bir yazılıma ihtiyaç duyulmaktadır. Reflektörsüz ölçme yapabilen jeodezik ölçme aletlerinin kullanılamsı durumunda her yöntem gerektiğ inde bir kişi ile de yapılabilir. Nokta sayısının çok olması yüzeyin daha iyi tanımlanmasını saç lamakta ve doğ ruluk oranını da arttırmaktadır. İnsan gücü ve hacim hesabı için gereken yazılım haricinde fotogrametrik yöntem için ayrıca bir fotogrametrik değ erlendirme yazılımına da ihtiyaç duyulmaktadır. Maliyetler dikkate alındığ ında bir modern jeodezik ölçme aleti (reflektörsüz ölçme yapabilen) ortalama 20.000 YTL dir. Fotogrametrik yöntemde bir resim çekme kamerası (ortalama 1.000 YTL), fotogrametrik değ erlendirme yazılımı (ortalama 5.000 YTL) ve kontrol noktalarının ölçülmesi için bir jeodezik alet gereklidir. Jeodezik ölçme aletinin modern jeodezik ölçme aleti olması gerekmez. Dolayısıyla fotogrametrik yöntemde ortalama maliyet 10.000 YTL olmaktadır. Lazer nokta taramada ise bir adet lazer nokta taraması yapabilen jeodezik ölçme aletine ihtiyaç vardır. Bu aletin günümüzdeki ortalama fiyatı ise 70.000 YTL dir. Maliyet bazından fotogrametrik yöntemin daha avantajlı olduğu görülmektedir.

5. SONUÇLAR

Yapılan ç alış maların özelliklerine bağı lı olarak hacim değ erlerinin bazen doğ ruluk ağı sından bazen maliyet ve bazen de zaman ağı sından en iyi değ erde olması tercih edilmektedir. Beklentilere bağı lı olarak hacim hesabının hangi yöntemle yapılması gerektiğ inin tespit edilmesi de önem arz etmektedir. Bu ç alış masında bunlara cevap arandı. Yapılan ç alış ma sonucunda; Lazer nokta tarama ile en yüksek doğ ruluk (% 96.35) elde edildi. Buna karş ılıklı en fazla zaman da bu yöntemde harcanmaktadır. Fotogrametrik yöntemde ise doğ ruluk oranı % 93.13 olarak elde edildi. Düzgün geometriye sahip olmayan yüzeylerde kazılan, kazılacak ya da doldurulacak miktarın % 100 tespit edilmesi uygulamada mümkün olmamaktadır. Bu değ erin en iyi doğ rulukta, en uygun maliyette ve en az zamanda belirlenmesi arzu edilmektedir. Genel olarak bütün yöntemlerle % 10 hata sınırı içinde hacim hesapları yapılabilir. Sonuç olarak hacim hesabı yapılacak bölgeye, beklenen doğ ruluk, maliyet ve zamana bağı lı olarak her iki yöntem ile de hacim hesaplarının yapılabileceğ i yapılan ç alış malarla ortaya ç ıkmış tır.

TEŞEKKÜR

Bu ç alış ma TÜBİTAK tarafından 105M179 nolu proje kapsamında desteklenmiş tir.

KAYNAKLAR

Atkinson, K.B., 1996. Close Range Photogrammetry and Machine Vision, Whittles Publishing, Scotland.

Yanalak M., 2005. Computing Pit Excavation Volume, Journal of Surveying Engineering, Vol. 131, No. 1, p.15-19.

Surfer 8 software

Photomodeler 5.0 software