

HİDROGRAFİK ÖLÇMELER İLE BARAJLARDAKİ SEDİMENT MİKTARLARININ BELİRLENMESİ

¹Cevat İNAL, ²Pelin FAKIOĞLU, ³Sercan BÜLBÜL

^{1,2}Selçuk Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Harita Mühendisliği Bölümü, 42075, Konya, Türkiye
Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 42003 Konya, Türkiye

¹cevat@selcuk.edu.tr, ²pfakioglu10.06@gmail.com, ³bulbul@selcuk.edu.tr

(Geliş/Received: 15.09.2015; Kabul/Accepted in Revised Form: 24.12.2015)

ÖZET: Barajlarda akarsuların taşıdığı sedimentin birikimi sonucu depolama kapasitelerinde kayıp oluşmaktadır. Bu kayıp barajların ekonomik ömrünün kısalmasına neden olmaktadır. Barajlar yapılmadan önce havza planlaması sırasında sediment oluşumunu önleyici tedbirlerin dikkate alınması ve barajlarda belirli aralıklarda hidrografik ölçmeler yaparak sediment miktarının hesaplanması gerekmektedir.

Bu çalışmada Kayseri sarımsaklı barajında 1972, 1982 ve 2013 yıllarında yapılan hidrografik haritalardan yararlanarak sediment miktarları hesaplanmıştır. Hesaplamalarda NetCAD5.1, Global Mapper ve PDS2000 yazılımları kullanılmıştır. DSİ tarafından 1968 yılında hesaplanan 50 yıllık sediment miktarı 3.77 hm³ olarak tahmin edilmiştir. Bu tahmine göre 45 yıllık sediment miktarı 3.39 hm³ olarak hesaplanmıştır. 45 yıllık süreç içerisinde kullanılan yazılıma bağlı olarak hesaplanan sediment miktarları 4.255 hm³ ile 4.383 hm³ arasında değişmektedir. Farklı yazılımlarla hesaplanan sediment miktarları %97 oranında birbirine uyum göstermektedir. DSİ tarafından baraj tamamlandıktan sonra 50 yıldaki sediment miktarının 3.77 hm³ olduğu dikkate alınırca farklı yazılımların ortalaması ile yapılan karşılaştırmada %78 lik bir uyum söz konusudur.

Anahtar Kelimeler: Sediment, Sarımsaklı barajı, hidrografik harita

Determination of Sediment Volumes in Dams with Hydrographic Surveys

ABSTRACT: Loss of capacity of dams consists as a result of the accumulation of sediment carried by rivers. This loss causes the shortening of the economic life of dams. Before construction of dams, preventive measurements should be taken into account during watershed planning and it is necessary to calculate the amount of sediment by measuring hydrographic surveys at given intervals in dam.

In this study, by utilizing hydrographic maps made in 1972, 1982 and 2013, the amount of sediment was calculated. In calculations, softwares which were Netcad5.1, Global Mapper and PDS200 were used. 50-year the amount of sediment calculated by DSI in 1968 was estimated as 3.77 hm³. According this estimate, 45-year the amount of sediment was calculated as 3,49 hm³. In the 45-year period, according used software, the amount of sediment are changing between 4.255 hm³ and 4.383 hm³. The amounts of sediment calculated with different softwares are compatible with each other at rate of %97. It is considering that 50-year the amount of sediment is 3.77 hm³ after completions of dam construction, it is in question that the comparison made by average of different softwares is compatible at rate of %78.

Key Words: Sediment, Sarımsaklı dam, hydrographic map

GİRİŞ (INTRODUCTION)

Son yıllarda ülkemizde küresel ısınma sonucunda yağışların azalması, artan nüfus ve yükselen hayat standardına bağlı olarak su tüketiminin artması nedeniyle mevcut su kaynaklarımızın daha etkin ve daha dikkatli kullanımı zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle ülkemizdeki mevcut su kaynaklarından en uygun ve en verimli şekilde yararlanabilmek için su kaynaklarının potansiyelinin bilinmesi gerekmektedir. Bunun gerçekleştirilebilmesi içinde mevcut su kaynaklarımızın kontrol altına alınması ve boşa akıp giden suların mümkün olduğunca baraj, göl, gölet vb. ortamlarda depolanması gerekmektedir.

Baraj, göl, gölet gibi su ortamlarını en fazla tehdit eden olaylardan birisi ise su kirliliği ve kontrolsüz su taşkınlarınınca bu ortamlara bol miktarda taşınan (sediment, tortu, rusubat, çamur) birikinti malzemelerdir. Erozyonun yüksek olduğu ve buna karşı duyarlılığın henüz tam gelişmemiş olduğu ülkemizde ise bu tür ortamlar hızla etkilenmekte ve önemli derecede zarar görmektedir. Bu durum, özellikle bazı göller ve barajların zamanla birikinti malzemelerle (sedimentle) dolmasına, kirlenmesine ve depolama hacmi kaybına uğrayarak faydalı ömürlerinin kısalmasına yol açmaktadır (Çeliker ve Anaç, 2003; Alkan ve Kalkan, 2005)

Bu olumsuz durumlar nedeniyle de barajlarımızda daha fazla su depolanabilmesi, işletme ömürlerinin uzatılmasına yönelik tedbirlerin alınması ve geleceğinin doğru planlanması açısından mevcut suyun miktarının sağlıklı belirlenebilmesi için hidrografik ölçmelere konu olan su ortamlarında, dip topografyasındaki değişimin ve dolma hızının en az beş yılda bir veya gerekli görülen periyotlarda belirlenmesi bu amaçlarla da hidrografik haritalarının yapılması barajlarımızın verimli işletilmesi için önemli katkılar sağlamaktadır (Fakıoğlu, 2014a).

Baraj, göl, gölet vb. ortamlarda yapılan bu çalışmaların dışında hidrografik ölçmelerin uygulama alanları bununla kalmayıp boğaz, kanal vb. önemli bölgelerde deniz taşıtlarına güvenli seyir yaptırılması, petrol vb. gibi platformların yerleştirilmesi, doğalgaz vb. boru ve kablo hatlarının geçirilmesi, arama ve kurtarma çalışmaları, sualtı kaynaklarının araştırılması ve işletilmesi için yapılan ölçmeler gibi farklı amaçlarda birçok proje ve çalışma için hidrografik ölçmeler ve haritalar yapılmaktayken ortalama deniz seviyesinin belirlenmesi, gravite ölçmeleri, gel-git etkisinin araştırılması ve büyüklüğünün tespiti, okyanus dibine ait çalışmalar, tektonik özelliklerin belirlenmesi gibi bilimsel amaçlı hidrografik ölçmeler ve haritalarda yapılmaktadır (Alkan, 1998).

Ülkemizdeki hidrografik ölçmelerle ilgili çalışmalarda kamu ve özel kurumlar tarafından farklı ölçme aletleri ve yöntemleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu kurumların başında Deniz Kuvvetleri Komutanlığı(Dz.K.K) Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı gelmektedir. Hidrografik ölçmelerle ilgilenen ikinci bir kamu kurumu da Devlet Su İşleri (DSİ) Genel Müdürlüğü'dür. DSİ Genel Müdürlüğü verilerine göre ülkemizde büyük su işleri kapsamında 322 adet, küçük su işleri kapsamında da 540 adet baraj yapılmıştır. Yapılan bu barajlardan büyük su işleri kapsamında yapılan ve gövde yüksekliği 30 metreden büyük olan barajların 121 adedinin hidrografik haritası yapılmıştır. Yine bu 121 adet baraj içerisinde de bir baraja ait değişik zamanlarda bir veya birkaç kere olmak üzere toplamda 195 adet hidrografik harita yapılmıştır (Fakıoğlu, 2014a).

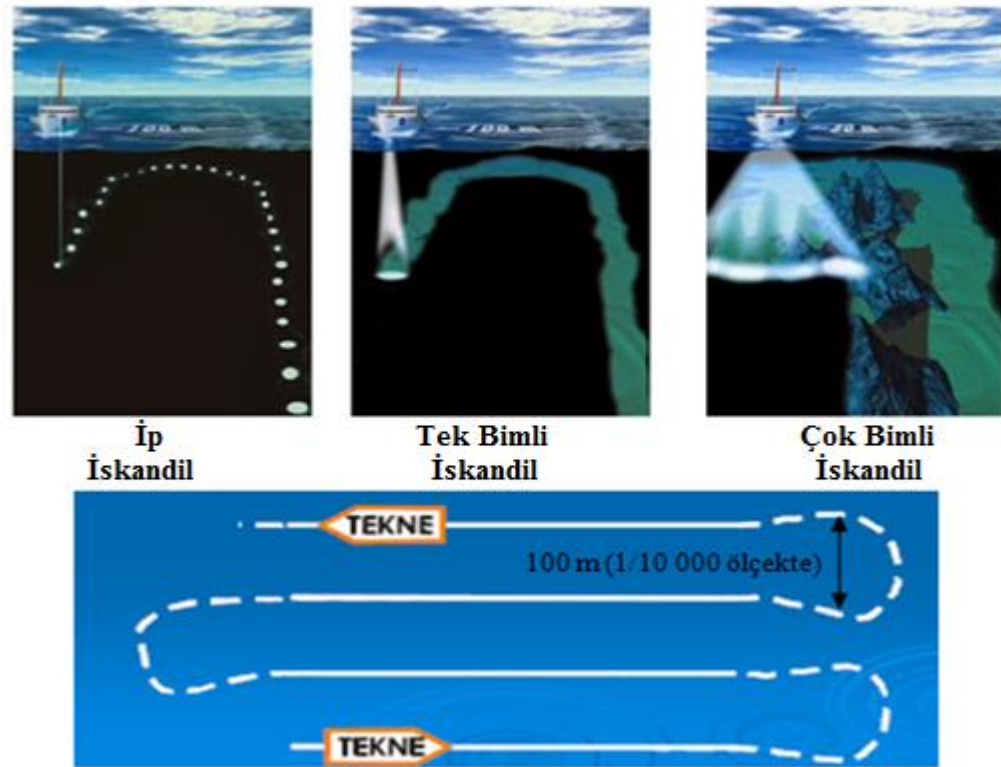
Bu çalışmada Kayseri Sarımsaklı barajındaki sediment miktarının belirlenmesi amacıyla DSİ Genel Müdürlüğü Etüt, Planlama ve Tahsisler Dairesi Başkanlığı Harita Şube Müdürlüğünden temin edilen Kayseri Sarımsaklı Barajına ait 1968 yılı proje bilgileri ile sayısal ortamda bulunmayan 1972 ve 1982 yıllarına ait haritalardan ve 2013 yılında yapılan ölçümler sonucunda üretilen sayısal hidrografik haritadan yararlanılmıştır. 1972, 1982 ve 2013 yıllarında üretilen hidrografik haritaların ayrı ayrı sayısal yükseklik modelleri oluşturulmuştur. Oluşturulan bu sayısal yükseklik modellerinden yararlanılarak üç farklı yazılım yardımıyla her bir dönem/yıl için ayrı ayrı depolama hacmi hesapları yapılarak 1968-2013 yılları arasında biriken sediment miktarı hesaplanmış ve baraj yapımı öncesi DSİ tarafından tahmin edilen değerle karşılaştırılmıştır.

HİDROGRAFİK ÖLÇMELERDE KULLANILAN MODERN TEKNİKLER(MODERN TECHNIQUES USED IN HYDROGRAPHIC SURVEYS)

Derinlik Belirleme Yöntemleri(Depth Measurement Methods)

Hidrografik çalışmalarda iskandil olarak adlandırılan derinlik ölçmeleri, sualtı topografyasını belirlemek amacıyla, ölçme yapılan zamandaki su yüzeyi ile bu yüzeye dik doğrultunun (çekül doğrultusunun), sualtı tabanını kestiği nokta ile arasındaki düşey uzunluğun herhangi bir yöntemle ölçülmesi ilkesine dayanır. Derinlik ölçmesi yapılan noktaya da iskandil noktası denir.

Derinlik ölçme işlemi ile sualtı noktalarının düşey doğrultudaki konumu belirlendiğinden iskandil, klasik haritacılıktaki nivelman ile eş anlamlıdır. Ancak kullanılan yöntemler ve donanımlar, yersel ölçmelerde kullanılan yöntemler ve donanımlardan tamamen farklıdır. Hidrografik ölçmelerde, su altı tabanını doğrudan görmek mümkün olmadığından önceden saptanan doğrultular üzerinde ve çalışma ölçeğine bağlı olarak belirlenen aralıklarla ölçmeler yapılır(Şekil 1) (Erener, 2002).



Şekil 1. Hidrografik ölçüm hatları (The lines of Hydrographic measurements) (Erkaya ve Hoşbaş, 1998; MTA, 2015).

İskandil yöntemleri ise; tarihi gelişim veya alet konstrüksiyonlarının tamlığı yönünden, *klasik yöntemler* ve *modern yöntemler* diye iki gruba ayrılır. Bunlardan **Klasik Yöntemler**; Lata iskandili, İp iskandili ve Tel (mekanik) iskandil olarak sıralanırken, **Modern Yöntemler** ise; Lazer (Lidar) iskandili, Uzaktan algılama ile iskandil, Fotogrametrik yöntemle iskandil ve Akustik iskandil olarak sıralanır. Modern derinlik belirleme yöntemlerinden sayılanların dışında ise hidrostatik ve termometrik iskandil olarak adlandırılan ve derin sularda ölçme yapmak için kullanılan özel uygulamaların dışında kullanımı olmayan, uygulanması güç iki yöntem daha vardır (Alkan, 1998; Ekizoğlu, 2011). Bunun yanı sıra

derinlik ölçmelerinde kullanılan yöntem ve o yöntemle birlikte kullanılan alete göre derinlik değerleri ya doğrudan ya da dolaylı olarak elde edilir. Klasik yöntemler doğrudan sonuç vermekteyken modern yöntemler dolaylı sonuç veren yöntemler olarak da ifade edilebilir (Erkaya ve Hoşbaş,1998).

Konum Belirleme Yöntemleri(Point Positioning Methods)

Derinliği ölçülen noktaların yatay düzlemdeki konumunu saptamak amacıyla konum ölçmeleri yapılır. Konum ölçmeleri daima karadaki jeodezik noktalara dayalı olarak yapılır ve genellikle klasik haritacılıkta bilinen yöntemler uygulanır. Ancak, su üzeri çalışmasının özellikleri nedeniyle yöntemlerin uygulama biçiminde ve aletlerde bazı ayrıcalıklar vardır. (Erkaya ve Hoşbaş, 1998;Özgen ve Algül, 1977). Bunun yanı sıra konum ölçmeleri hidrografi taşıtıdan da yapılabilir. Fakat taşıtın belirli bir hızla, sürekli hareket halinde olması durumunda, derinlik ve konum ölçmelerinin aynı anda yapılması ve çok kısa sürede tamamlanması zorunludur. Bu durumda ölçmelerin tekrarlanması mümkün olmadığından, eksik ya da hatalı ölçülerin kontrolüne olanak sağlayacak yöntemler kullanılır.

Hidrografik ölçmelerde kullanılan konum belirleme yöntemlerini;

- 1) Optik yöntemler (Klasik yöntemler)
- 2) Elektrometrik Yöntemler
- 3) Akustik Yöntemler
- 4) Uydu Bazlı Konum Belirleme Yöntemleri

şekilde sıralamak mümkündür(Erener, 2002).

Konum belirleme yöntemlerinden günümüzde en çok tercih edileni ise uydu bazlı konum belirleme yöntemleridir. Hidrografik ölçümler ve günümüzdeki diğer uygulamalarda özellikle gerçek zamanlı kinematik GPS(RTK GPS) ve statik ölçü yöntemleri daha fazla kullanılmaktadır.

GPS yönteminin yaygın olarak kullanılmasıyla birlikte, hidrografik ölçmeler de yeni bir çehre kazanmıştır. Bunun en önemli nedenleri de, her zaman konum belirleme olanağının olması, uygulama kolaylığı, ucuz olması ve neredeyse tüm hidrografik çalışmalarda gereken doğruluklarda konum belirleme işlerini başarıyla karşılayabilecek düzeyde olmasıdır(Alkan, 1998).

BARAJ SEDİMENTASYONU(SEDIMENTATION IN DAMS)

Sediment, oluştuğu yerden çökeldiği yere kadar su tarafından taşınan katı maddelerdir. Su yataklarındaki sediment suda asılı halde veya tabanda sürüntü malzemesi olarak taşınan alüvyon malzemeleri kapsamaktadır. Sedimentasyon ise, suda asılı halde bulunan katı maddelerin yerçekimi etkisiyle çöküp birikmesidir (DSİ Hidroloji Sözlüğü, 2015).

Dünya üzerindeki barajlar akarsuların taşıdığı sedimentin birikimi sonucu depolama kapasitelerini her yıl yaklaşık %1 oranında kaybetmektedir (Morris ve Fan, 1998). Bir barajda sedimentasyon miktarı artarsa depolama hacmi azalır. Hidroelektrik santrallarda da enerji türbünleri aşınır(Hydrocoop, 2015). Barajların depolama kapasitelerindeki bu kayıp taşkın önleme, enerji üretimi, sulama, içme suyu temini ve rekreasyon gibi işlevler üzerinde olumsuz etki yaratmakta ve barajların ömürlerinin azalmasına yol açmaktadır(Hotckiss ve Huang,1995). Dünyadaki baraj depolama hacimlerinin ortalama hizmet süresi yaklaşık 22 yıl olarak ileri sürülmektedir(Mahmood, 1987). Barajların ekonomik ömürlerinin kısalması yeni barajların inşa edilmesini akla getirmektedir. Oysaki çevresel etkiler, baraj yapımına uygun alanların kısıtlılığı ve inşaat maliyetlerinin çok yüksek olması nedeniyle yeni bir baraj inşa etmek yerine mevcut barajların depolama kapasitelerini korumak son yıllarda daha çok tercih edilmektedir(Wen ShenveLai, 1996).

Baraj depolama hacimlerinin kapasitelerini korumak için; rezervuar sediment girişini azaltmak, nehir yatağı havzasındaki erozyonu kontrol altına almak ve heyelanları önlemek gerekmektedir(Boroujeni, 2012). Havzada toprak, rüzgar ve yağmur erozyonunu önlemek için de ağaçlandırma yapılması uygun olacaktır(Goldsmith ve Hildyard, 1984). Ayrıca rezervuara giren ve

biriken sedimentin uzaklaştırılması için hidrolik ve mekanik taşıma yöntemleri de kullanılabilir (Odabaşı, 2011).

UYGULAMA (APPLICATION)

Sarımsaklı Barajındaki Sediment Miktarının Belirlenmesi (Determination of sediment in Sarımsaklı Dam)

Sarımsaklı Barajı, Kayseri Sarımsaklı mevkinde bulunmakta olup baraj DSİ 12. Bölge Müdürlüğü Kayseri sınırları içerisinde yer almakta ve Orta Kızılırmak Havzasında bulunmaktadır. Baraj 1/25000 ölçekli K35-a2 ile K35-b1 paftalarında bulunmakta olup coğrafi konum olarak da 38° 85' enlemi ve 35° 74' 8" boylamında yer almaktadır. Baraj, sulama amacıyla yapılmış olup 1968 yılında işletmeye alınmıştır. Barajın Kuzeybatı yönünde baraj bendi ve bağlantı yolları, baraj çevresinde de piknik alanı, bağlantı yolları, tarlalar ve fidanlıklar bulunmaktadır. Barajın konumu Şekil 2 de, teknik özellikleri Çizelge 1 de verilmektedir.



Şekil 2. Sarımsaklı barajı ve konumu (<http://www.google.com/earth/>) (Sarımsaklı Dam and its location)

Çizelge 1. Sarımsaklı barajı teknik özellikleri (DSİ Barajlarımız, 2015) (Technical properties of Sarımsaklı Dam)

Adı	SARIMSAKLI
Yeri	Kayseri
Akarsu	Sarımsaklı
Amaç	Sulama
İnşaatın Başlama-Bitiş Yılı	1966 - 1968
Gövde Dolgu Tipi	Toprak
Kret Uzunluğu	578 m
Gövde Hacmi	1582 dam ³
Yükseklik (Talvegden)	40 m
Maksimum Su Kotunda Göl Hacmi	34.83 hm ³
Maksimum Su Kotunda Göl Alanı	2.44 km ²
Sulama Alanı	6400 ha

Sarımsaklı barajındaki sediment miktarını hesaplamak amacıyla 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait 1/5000 ölçekli haritalar kullanılmıştır. Söz konusu hidrografik haritalar farklı yöntemler ve aletler kullanılarak üretilmiştir.

1968 yılında baraj proje çalışmalarında kullanılan 1/5000 ölçekli harita, 1957 yılında Harita Genel Komutanlığı'nın analog kameralarla çekmiş olduğu ve 1/16 000 ölçekli hava fotoğraflarından ürettiği

haritadır. 1972 ve 1982 yılındaki haritalarda da yatay konumlar; takeometre ve teodolitlerle ileriden kestirme yöntemiyle belirlenirken, derinliklerde Fruno MARKA echosounder kullanılarak özel kayıt kağıdı üzerine çizilen profilden özel bir cetvelle ölçülerek belirlenmiştir. (Fakioğlu, 2005). Karada ve suda ölçülen tüm veriler kullanılarak da o dönemdeki harita teknik ressamı tarafından elle kağıda aktarılarak haritaları çizilmiştir. Bu sebeple 1972 ve 1982 yılına ait haritaların sayısal ortamda mevcudu bulunmamaktadır.

2013 yılında üretilen hidrografik haritada ise otomatik veri toplama sistemi olarak adlandırılan bir yöntemle ölçmeler yapılmıştır. Bu sistem, 2005 yılı sonrasındaki hidrografik haritaların üretiminde kullanılan bir sistem olup, arazinin su altında kalan kısmında derinlik ölçerinin ölçmüş olduğu derinlik verisi ile GPS'in ölçmüş olduğu konum verisini eşlenik olarak kaydeden bir sistemdir. Otomatik veri toplama sistemi kullanılarak yapılan ölçmeler, ölçme hatlarının düzgünlüğü, noktaların homojenliği, konum ve derinlik ölçmelerinin eş zamanlı yapılması, çok yüksek ölçme hızı ve doğruluğu sağlanması ve gerektiğinde tek bir kişi ile de ölçmelerin yapılabilmesi gibi konularda klasik hidrografik ölçmelere göre daha üstündür. (Fakioğlu, 2014) Arazinin kara (barajın ölçüm günündeki su kotu ile kret kotu arasında kalan kısım) bölümünde ise detay alımı yersel yöntemle yapılmıştır. Sayısal ortamda elde edilen detay verilerden de harita oluşturulmuştur. 2013 yılındaki harita yapımında kullanılan ekipmanların teknik özellikleri Çizelge 2 de verilmektedir.

Çizelge 2. Kullanılan ekipmanlar ve teknik özellikleri(Fakioğlu, 2014b)(Equipments used and specifications

ALET	TEKNİK ÖZELLİKLERİ
Magellan GPS (2 adet)	Çift frekanslı İzleme Özellikleri : 40 L1 GPS (20 GPS L1+L2+GLONASS Cinderella günlerinde) İzleme kanalları : 20 GPS L1+L2 (GD) veya GPS L1 + GLONASS (GG) İzlenen sinyaller : L1/L2 C/A ve P kod & taşıyıcı ve GLONASS Performans Özellikleri : (1 sigma) Baz Hassasiyeti(Statik-hızlı statik) : L1+ L2 için :3mm+0.5 ppm, L1 için H:5mm+0.5 ppm RTK (OTF) Hassasiyeti : L1 +L2 için :10mm+1.0 ppm, L1 için H:15mm+1.0 ppm Soğuk Başlama : 60 saniye Sıcak Başlama : 10 saniye Yeniden veri elde etme : 1 saniye
HD-380 Digital VF model Echosounder	Çift bimli Çalışma frekansı : Yüksek frekans 100-750KHz (Ayarlanabilir) Çalışma menzili : Yüksek frekans 0.3m ~600m arası Doğruluğu : ±10mm+0.1%h , Çözüm : 1cm Ayarlanılabilir dağılma alanı : 0.0m~15m Ses hızı dağılması : 1370~1700m/s Algılama 1m/s
MakroMap	MakroMap Hidrografi yazılımı ; GPS ile entegreli olarak kullanılır. Veriler gerçek zamanda koordinatlandırılıp altlık haritaya yerleştirilir. Otomatik kayıt yapma özelliğine sahip, bilgisayar ve metre altı GPS'te çalışabilen tamamen Türkçe hidrografik bir yazılımdır.
Bot	Yamaha sea master 290 marka lastik bot ve 5 HP lik dıştan takma motor.

Baraj sediment miktarının belirlenmesi amacıyla yapılan depolama hacminin hesaplanmasında NetCAD5.1, Global Mapper ve PDS2000 yazılımları kullanılmıştır. Bunlardan; NetCAD yazılımı hem CAD özelliği olan hem de nokta temelli çalışabilen bir yazılım olup, genel olarak büyük ölçekli harita yapımında ülkemizde yaygın olarak kullanılmaktadır (<http://atlas.selcuk.edu.tr/>). Global Mapper

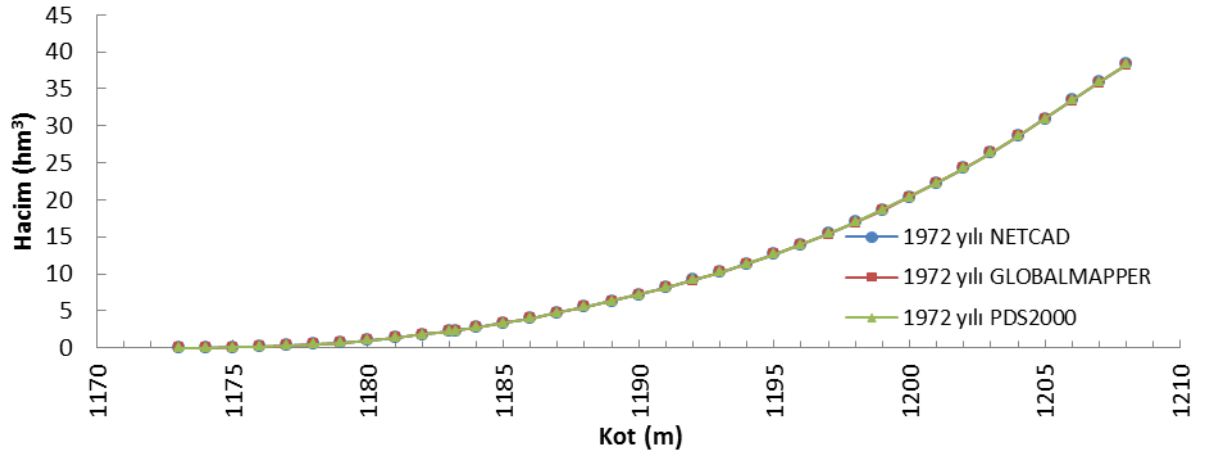
yazılımı ise, jeomekansal her türlü vektör ve raster dosya formatlarını destekleyen ve bu tür verilerin diğer formatlara dönüştürülmesinde, düzenlenmesinde ve çıktı alınmasında ek olarak da GPS ile takip olanağı sağlayan etkin ve ekonomik bir yazılımdır. Global Mapper yazılımı mesafe, alan hesaplamaları gibi özelliklerinin yanında sayısal yükseklik modelleri üzerinde kesit alınıp farklı kesitlerle karşılaştırmalar yapabilme imkânı sağlamaktadır. Gelişmiş raster ve vektör veri üzerinde ölçme (alan, çevre, uzunluk), su havza sınırlarının oluşturulması, spektral görüntü geliştirme ve analiz işlemleri yapılabilmektedir(<http://www.nik.com.tr/>). PDS2000 yazılımı ise hidrografik araştırma ve tarama işlemleri için kullanılan bir yazılım paketidir. PDS2000 veri toplama yeteneğine sahip, veri düzenleme, işleme, hacim hesaplamaları ve 3D görüntüleme amaçları ile kullanılan bir yazılımdır (<http://www.teledyne-pds.com/>).

Sarımsaklı Barajına ait farklı yıllarda oluşturulmuş hidrografik haritalardan yararlanarak barajın işletim süresi içerisinde barajda biriken sediment miktarını belirleyebilmek için öncelikle bütün haritaların sayısal hale getirilmesi gerekmektedir. Bu sebeple baraja ait sayısal ortamda bulunmayan 1972 ve 1982 yıllarına ait haritalar öncelikli olarak NetCAD5.1 programı yardımıyla sayısal hale getirilmiştir.

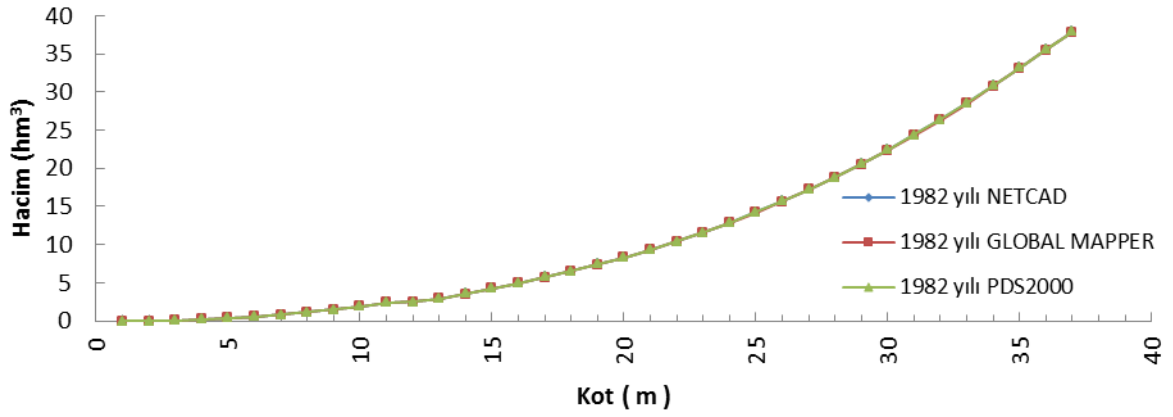
Sarımsaklı Barajına ait hidrografik haritaların tamamı sayısal ortamda elde edildikten sonra bütün haritalar için ayrı ayrı oluşturulan üç boyutlu modellerden hacim hesapları yapılmıştır. Bu hesaplar bütün haritalarda, harita üzerinden belirlenen en düşük kot değerinden kret kotuna kadar metrede bir olacak şekilde yapılmıştır. Yapılan hacim hesaplarının kontrolünü sağlamak amacıyla 3 ayrı yıla ait hacim hesapları 3 farklı yazılım yardımıyla hesaplanmış ve hesaplanan değerler arasında karşılaştırma yapılmıştır(Çizelge 3, Şekil 3-5). Çizelge 3'de 1183.23 kotu minimum işletme kotunu, 1205 kotu maksimum işletme kotunu ve 1208 kret kotunu göstermektedir.

Çizelge 3. Ölçü yapılan yıllara ait farklı yazılımlarla hesaplanan hacimler (*Volumes calculated different softwares belong to years measured*) (hm³)

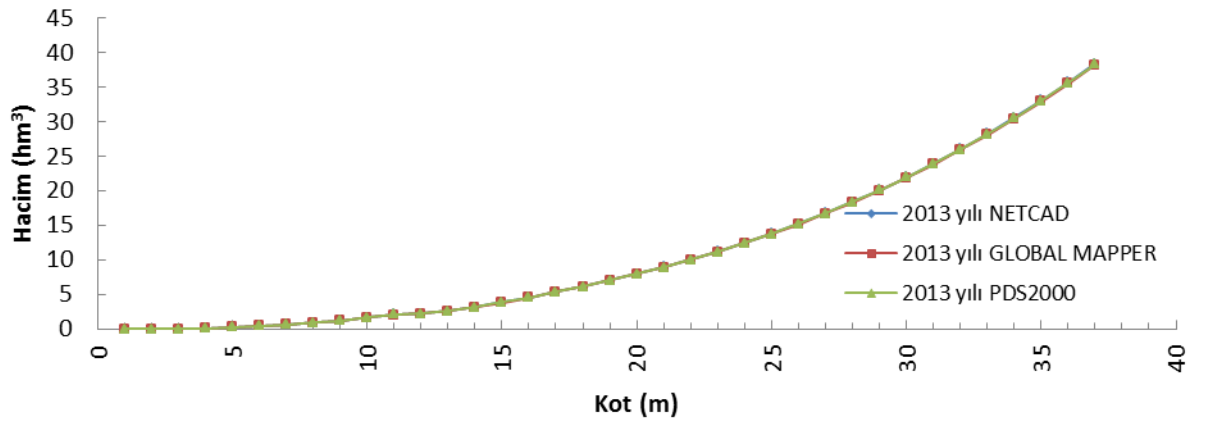
Sıra No	Kot (m)	1972 yılı			1982 yılı			2013 yılı		
		NETCAD	GLOBAL MAPPER	PDS2000	NETCAD	GLOBAL MAPPER	PDS2000	NETCAD	GLOBAL MAPPER	PDS2000
1	1173	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
2	1174	0.002	0.002	0.002	0.013	0.013	0.013	0.001	0.001	0.001
3	1175	0.049	0.049	0.049	0.087	0.087	0.087	0.021	0.021	0.021
4	1176	0.144	0.144	0.144	0.197	0.196	0.197	0.103	0.103	0.103
5	1177	0.289	0.288	0.289	0.353	0.352	0.353	0.232	0.231	0.232
6	1178	0.479	0.478	0.479	0.561	0.560	0.561	0.403	0.402	0.403
7	1179	0.721	0.719	0.721	0.825	0.824	0.825	0.618	0.617	0.618
8	1180	1.017	1.015	1.017	1.143	1.141	1.143	0.887	0.885	0.887
9	1181	1.368	1.365	1.368	1.513	1.510	1.513	1.213	1.211	1.213
10	1182	1.773	1.769	1.773	1.933	1.929	1.933	1.608	1.605	1.608
11	1183	2.234	2.230	2.234	2.405	2.400	2.405	2.068	2.064	2.068
12	1183.23	2.348	2.343	2.348	2.523	2.518	2.523	2.183	2.178	2.183
13	1184	2.752	2.746	2.752	2.943	2.937	2.943	2.589	2.583	2.589
14	1185	3.340	3.334	3.340	3.555	3.548	3.555	3.173	3.166	3.173
15	1186	4.006	3.998	4.006	4.240	4.231	4.240	3.830	3.823	3.830
16	1187	4.731	4.722	4.731	4.975	4.965	4.975	4.556	4.546	4.556
17	1188	5.507	5.496	5.507	5.746	5.735	5.746	5.329	5.318	5.329
18	1189	6.331	6.319	6.331	6.557	6.543	6.557	6.148	6.135	6.148
19	1190	7.214	7.199	7.214	7.421	7.406	7.421	7.022	7.006	7.021
20	1191	8.157	8.140	8.156	8.344	8.327	8.344	7.949	7.928	7.944
21	1192	9.153	9.134	9.153	9.333	9.315	9.333	8.938	8.911	8.929
22	1193	10.226	10.206	10.226	10.412	10.391	10.412	10.005	9.973	9.993
23	1194	11.384	11.361	11.384	11.597	11.574	11.597	11.171	11.132	11.154
24	1195	12.636	12.611	12.636	12.881	12.855	12.881	12.422	12.375	12.400
25	1196	13.976	13.948	13.975	14.250	14.221	14.250	13.757	13.703	13.730
26	1197	15.415	15.385	15.415	15.698	15.667	15.698	15.188	15.127	15.157
27	1198	16.959	16.925	16.959	17.221	17.186	17.221	16.728	16.659	16.692
28	1199	18.616	18.579	18.616	18.836	18.798	18.836	18.370	18.293	18.330
29	1200	20.397	20.357	20.397	20.566	20.525	20.566	20.113	20.029	20.068
30	1201	22.290	22.246	22.290	22.406	22.362	22.406	21.969	21.877	21.920
31	1202	24.288	24.240	24.288	24.352	24.303	24.351	23.941	23.840	23.887
32	1203	26.400	26.347	26.399	26.406	26.353	26.405	26.027	25.918	25.969
33	1204	28.637	28.580	28.637	28.568	28.512	28.568	28.235	28.117	28.172
34	1205	31.006	30.946	31.006	30.847	30.787	30.847	30.575	30.447	30.507
35	1206	33.456	33.390	33.457	33.207	33.140	33.207	33.047	32.908	32.974
36	1207	35.913	35.840	35.914	35.582	35.508	35.582	35.647	35.498	35.569
37	1208	38.376	38.296	38.378	37.969	37.888	37.969	38.392	38.233	38.309



Şekil 3. 1972 yılına ait farklı programlarla hesaplanan hacimler (Volumes calculated different softwares belong to 1972)



Şekil 4. 1982 yılına ait farklı programlarla hesaplanan hacimler (Volumes calculated different softwares belong to 1982)

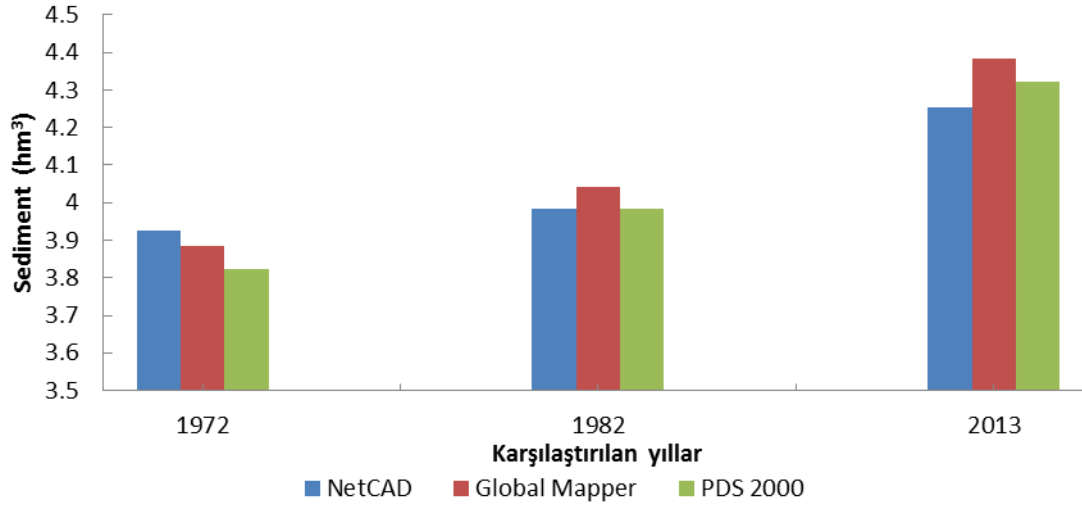


Şekil 5. 2013 yılına ait farklı programlarla hesaplanan hacimler (Volumes calculated different softwares belong to 2013)

Sarımsaklı barajının işletmeye alındığı 1968 yılındaki belirlenen hacmi 34.83 hm³ lük hacim ile karşılaştırma yıllarında hesaplanan hacimlerin farkları alınarak sediment miktarları hesaplanmış ve grafik olarak da gösterilmiştir(Çizelge 3, Şekil 6).

Çizelge 3. Farklı yazılımlarda hesaplanan sediment miktarları ve yüzdeleri (*The amount and percent of sediments calculated different softwares*)

Karşılaştırılan Yıl	Hesaplanan Sediment Miktarları ve Yüzdeleri					
	NetCAD		Global Mapper		PDS2000	
	Sediment (hm ³)	%	Sediment (hm ³)	%	Sediment (hm ³)	%
1972	3.924	10.98%	3.884	11.15%	3.824	10.98%
1982	3.983	11.43%	4.043	11.61%	3.983	11.43%
2013	4.255	12.22%	4.383	12.58%	4.323	12.41%



Şekil 6. Farklı yazılımlarla hesaplanan sediment miktarları (*The amount of sediments calculated different softwares*)

DSİ tarafından Sarımsaklı barajında 50 yılda oluşabilecek sediment miktarının hesabı yapılmıştır. Hesaplamalarda, Sarımsaklı Barajı için sediment miktarı tahmininde kullanılacak sediment gözlem istasyonu olmaması nedeniyle 15 nolu Kızılırmak havzasındaki tüm sediment istasyonlarından elde edilen havzanın genel sediment anahtar eğrisi denkleminde yararlanılmıştır. Kızılırmak Havzasının ortalama **Süspanse sediment verimi** : 160 ton/yıl/km² ,**Sediment hacim ağırlığı**: 1,32 ton/m³ dür. **Yatak yükü** olarakda; süspanse sedimentin % 25 'i kabul edilmiştir. **Havzanın Genel Denklemi** $Q_s=189,5 \cdot A$ ve $R^2=0,82$ dir. Denklemde geçen terimlerse Q_s : Taşınan süspanse sediment miktarı (ton/yıl), A: Sediment yağış alanı (km²) ve R^2 : korelasyon katsayısıdır. (DSİ, 2013). Sarımsaklı Barajının yağış alanı 420 km²dir. Genel Denklem ve yukarıda verilen bilgileri kullanarak, Baraj yerinin **toplam sediment verimi** (yatak+süspanse); **179 m³/yıl/ km²**olarak ve sediment hacmi 3.77 hm³ olarak hesaplanmıştır.

SONUÇ VE BULGULAR (RESULTS AND FINDINGS)

Baraj, göl, gölet gibi su ortamlarını en fazla tehdit eden olaylardan birisi ise su kirliliği ve kontrolsüz su taşkınlarınca bu ortamlara bol miktarda taşınan birikinti(sediment/tortu, rusubat/çamur) malzemelerdir. Ülkemiz gibi erozyon kirliliğinin yüksek olduğu ve buna karşı duyarlılığın henüz tam gelişmemiş olduğu bölgelerde ise bu tür ortamlar hızla etkilenmekte ve önemli derecede zarar görmektedir. Bu durum, özellikle bazı göller ve barajların zamanla birikinti malzemelerle (sedimentle)

dolmasına, kirlenmesine ve depolama hacmi kaybına uğrayarak faydalı ömürlerinin kısalmasına yol açmaktadır (Alkan ve Kalkan, 2005). Barajlardaki sediment miktarının belirlenmesi için periyodik olarak hidrografik haritalarının yapılması gerekmektedir. DSİ genel müdürlüğü bu kapsamda 121 barajda, farklı zamanlarda, 195 hidrografik haritada yapmış bulunmaktadır (Fakıoğlu, 2014a).

Bu çalışmada Kayseri Sarımsaklı barajında 1968-2013 yılları arasında oluşan sediment miktarlarını belirlemek amacıyla 1972, 1982 ve 2013 yılında yapılan hidrografik ölçüler farklı yazılımlarla değerlendirilmiştir. DSİ tarafından 1968 yılında hesaplanan 50 yıllık sediment miktarı 3.77 hm³ olarak tahmin edilmiştir. Bu tahmine göre 45 yıllık sediment miktarı 3.39 hm³ olarak hesaplanabilir. 45 yıllık süreç içerisinde kullanılan yazılıma bağlı olarak hesaplanan sediment miktarları 4.255 hm³ ile 4.383 hm³ arasında değişmektedir. Farklı yazılımlara hesaplanan sediment miktarları %97 oranında birbirine uyum göstermektedir. DSİ tarafından baraj tamamlandıktan sonra 50 yıldaki sediment miktarının 3.77 hm³ olduğu dikkate alınırsa farklı yazılımların ortalaması ile yapılan karşılaştırmada %78 lik bir uyum söz konusudur.

KATKI BELİRTME (ACKNOWLEDGMENTS)

Bu makale Prof. Dr. Cevat İNAL danışmanlığında yürütülen “Hidrografik Ölçmeler ile Barajlardaki Sediment Miktarlarının Belirlenmesi” isimli Yüksek Lisans tezinden üretilmiştir.

KAYNAKLAR

- Alkan, M.R., 1998, *Prezisyonlu Hidrografik Ölçmelerde Bat-Çık Etkisinin GPS Yöntemi ile Belirlenmesi*, Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Alkan, M.R., Kalkan, Y., 2005, *Sularla Kaplı Alanlarımız ve Hidrografik Ölçmeler*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 529-541, Ankara.
- Boroujeni, H., S., 2012, *Sediment Management in Hydropower Dam (Case Study – Dez Dam Project)*, *Hydropower - Practice and Application*, ISBN: 978-953-51-0164-2, Dr. Hossein Samadi-Boroujeni (Ed.), InTech, Available from: <<http://www.intechopen.com/books/hydropower-practice-and-application/sedimentmanagement-in-hydropower-dam-case-study-dez-dam-project>>
- Çeliker, S.A., Anaç, H., 2003, *Erozyon*, Tarımsal Ekonomi Araştırma Enstitüsü, Sayı:4, Nüsha:1, Ankara.
- DSİ, Hidroloji Sözlüğü, <http://www2.dsi.gov.tr/sozlukler/hidrosozluk/index.cfm?SozcukID=1073>, ziyaret tarihi: 01.09.2015.
- DSİ, Barajlarımız, <http://www2.dsi.gov.tr/baraj/detay.cfm?BarajID=31>, ziyaret tarihi: 01.09.2015.
- DSİ, 2013, *Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri [2006-2012]*, Ankara.
- Ekizoğlu, İ., 2011, *CBS yardımıyla batimetrik haritaların oluşturulması ve değerlendirilmesi üzerine bir çalışma: Altınapa Barajı (Konya) örneği*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Erener, A., 2002, *Hidrografik Ölçmelerde GZK GPS'in Kullanımı ve Trabzon Limanı Deniz Dibi Topografyasının Çıkarılması*, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Erkaya, H., Hoşbaş, R.G., 1998, *“Hidrografik Ölçmeler Ders Notları”*, Yıldız Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Fakıoğlu, M., 2005, *Seyhan Barajı Hidrografik Harita Alımı Değerlendirmesi ve Sonuçları*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 2. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu, 225-236, İstanbul.
- Fakıoğlu, M., 2014a, *Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nde Hidrografik Harita Çalışmaları*, TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 7. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyum, Çorum.
- Fakıoğlu, P., 2014b, *Hidrografik Ölçmelerde Konum ve Derinlik Belirleme Yöntemleri*, Yüksek Lisans Semineri, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Goldsmith, E., Hildyard, N., 1984, *“Sedimentation: The Way of All Dams”*, *The Social and Environmental Effects of Large Dams*, Wadebridge Ecological Centre, USA.

- Hotchkiss, R.,Huang, X., 1995, “*Hydrosuction Sediment–Removel Systems (HSRS): Principles and Field Test*”, Journal of HydraulicResearch, pp. 479-489, June.
- Hydrocoop, “<http://www.hydrocoop.org/dams-with-significant-siltation-problems/>”, ziyaret tarihi: 01.09.2015.
- Mahmood, K., 1987, “*Reservoir Sedimentation: Impact, Extent, Mitigation*”, World Bank Technical Report, No. 71, Washington, D.C.
- MTA, Deniz Araştırmaları, <http://www.mta.gov.tr/v2.0/dairebaskanliklari/deniz/index.php?id=singlebeam&m=4>, ziyaret tarihi: 10.09.2015.
- Morris, G., L., Fan, J., 1998, *Reservoir Sedimentation Handbook , Design and Management of Dam, Reservoir and Watersheds for Sustainable Use*, McGraw-Hill, New York.
- Odabaşı, B., 2011, *Rezervuarlarda Sediment Birikiminin Önlenmesi ve Rezervuar Ekonomik Ömrünün Uzatılması*, Yüksek lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Özgen, M.G, Algül, E., 1977, *Mühendislik Ölçmeleri- I-Hidrografik Ölçmeler*, İ.T.Ü. Kütüphanesi, İstanbul.
- Teledyne PDS, Hydrography, <http://www.teledyne-pds.com/product-category/hydrography/>, ziyaret tarihi: 10.09.2015.
- Wen Shen, H.,Lai, J., S., 1996, “*Sustain Reservoir Useful Life by Flushing Sediment*”, International Journal of SedimentResearch, IRTCES, Vol. 11, No 3. December.
- http://www.nik.com.tr/content_sistem_yazilim.asp?id=53, ziyaret tarihi: 10.09.2015.
- <http://www.google.com/earth/>, ziyaret tarihi: 04.09.2015
- <http://atlas.selcuk.edu.tr/netcad/dersler/01.htm>, ziyaret tarihi: 10.09.2015.