



T.C.
KONYA TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ



HİDROGRAFİK ÖLÇMELER İLE
BARAJLARDAKİ SEDİMENT
MİKTARLARININ BELİRLENMESİ

Pelin FAKIOĞLU GÜLÇİÇEK

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Harita Mühendisliği Anabilim Dalı

Temmuz-2019
KONYA
Her Hakkı Saklıdır

TEZ KABUL VE ONAYI

Pelin FAKIOĞLU GÜLÇİÇEK tarafından hazırlanan "Hidrografik Ölçmeler ile Barajlardaki Sediment Miktarlarının Belirlenmesi" adlı tez çalışması 22/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Konya Teknik Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Harita Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Jüri Üyeleri

Başkan-Danışman
Prof. Dr. Cevat İNAL

Üye
Prof. Dr. Ayhan CEYLAN

Üye
Doç. Dr. Salih ALÇAY

İmza







Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof. Dr. Hakan KARABÖRK
Lisansüstü Eğitim Enstitü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Bu tezdeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edildiğini ve tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

DECLARATION PAGE

I hereby declare that all information in this document has been obtained and presented in accordance with academic rules and ethical conduct. I also declare that, as required by these rules and conduct, I have fully cited and referenced all material and results that are not original to this work.

P. Fakioglu Gulcicek

Pelin FAKIOĞLU GÜLÇİÇEK

Tarih: 22/07/2019

ÖZET

YÜKSEK LİSANS TEZİ

HİDROGRAFİK ÖLÇMELER İLE BARAJLARDAKİ SEDİMENT MİKTARLARININ BELİRLENMESİ

Pelin FAKIOĞLU GÜLÇİÇEK

**Konya Teknik Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Harita Mühendisliği Anabilim Dalı**

Danışman: Prof. Dr. Cevat İNAL

2019, 96 Sayfa

**Jüri
Prof. Dr. Cevat İNAL
Prof. Dr. Ayhan CEYLAN
Doç. Dr. Salih ALÇAY**

Küresel iklim değişikliğinden kaynaklanan hem dünyada hem de ülkemizde hissedilen kuraklık nedeniyle, mevcut su kaynaklarımızın etkili yönetilmesi ve doğru yönde kullanılarak sürdürülebilir bir kaynak haline getirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle mevcut su kaynaklarımız ile ilgili pek çok konuya daha dikkatli yaklaşmamız gerekmektedir.

Kontrolsüz su taşkınlıkları veya akarsular tarafından taşınan sediment, barajların verimli işletilmesini olumsuz yönde etkilemektedir. Sediment birikimi sonucunda da barajların depolama kapasitelerinde kayıplar oluşmaktadır. Oluşan bu kayıplar nedeniyle barajların ekonomik ömürleri kısaltmakta ve barajların işletmesiyle ilgili pek çok konuda olumsuz durumlar yaşanabilmektedir. Yaşanabilecek bu olumsuz durumların azaltılarak barajlarımızda daha fazla su depolanabilmesi, işletme ömürlerinin uzatılmasına yönelik tedbirlerin alınması ve depolanan suyun kullanım alanlarına göre doğru planlanması amaçlanmaktadır. Bu amaçlar doğrultusunda da mevcut suyun miktarının sağlıklı belirlenebilmesi için barajlarımızda belirli aralıklarla hidrografik ölçmeler yaparak sediment miktarının hesaplanması gerekmektedir.

Bu çalışmada, hidrografik ölçmelerin uygulama alanlarından biri olan baraj sedimentasyonu konusunda araştırmalar yapılmıştır. Bu doğrultuda Kızılırmak Havzasında yer alan Sarımsaklı Barajının 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait hidrografik haritalarından yararlanılmıştır. Üç farklı yıla ait hidrografik haritaların sayısal arazi modelleri kullanılarak NetCad, Global Mapper ve PDS2000 yazılımları yardımıyla Sarımsaklı Baraj rezervuarına ait farklı su seviyelerindeki yüzey alan ve hacim hesaplamaları yapılmıştır. Üç farklı yazılım yardımıyla yapılan bu hesaplamalarla, 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait baraj rezervuarının farklı su seviyelerindeki yüzey alan ve hacim değerleri gözlemlenirken elde edilen değerler birbirleriyle karşılaştırılarak da kontrol edilmiştir. Yapılan hesaplamaların sonucunda da farklı yazılımlar kullanılarak

hesaplanan baraj rezervuarına ait yüzey alan ve hacim değerlerinin %97 oranında birbirine uyum sağladığı görülmüştür. Barajın işletmeye alındığı 1968 yılındaki proje bilgileri ile Sarımsaklı Barajının 2013 yılına ait hidrografik haritası kullanılarak hesaplanan sediment miktarlarının ve yüzdesel doluluk oranlarının ortalaması alınmış ve geçen 45 yıllık sürede barajda biriken ortalama sediment miktarının 4.320 hm^3 ve ortalama yüzdesel doluluk oranının da %12.40 olduğu görülmüştür. Ayrıca geçen 45 yıllık sürede ölü hacimdeki ortalama doluluk miktarı da 0.429 hm^3 hesaplanmış ve ölü hacim kapasitesinin ortalama %16.43 oranında azaldığı görülmüştür. Sonuç olarak geçen 45 yıllık sürede toplam hacim kapasitesinde ortalama %12.40 oranında bir hacim kaybı olduğu ve ölü hacim kapasitesinde de ortalama %16.43 oranında bir azalma olduğu görülmüştür. Yapılan hesaplamalara ek olarak baraj depolama kapasitesinde gözlemlenen kaybın sediment dağılım haritaları, boykesitler ve enkesitler oluşturularak da daha detaylı incelenmesi amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Sarımsaklı Barajı, Sediment, Baraj Sedimentasyonu, Hidrografik Harita, Hidrografik Ölçmeler

ABSTRACT

MS THESIS

DETERMINATION OF SEDIMENT VOLUMES IN DAMS WITH HYDROGRAPHIC SURVEYS

Pelin FAKIOGLU GULCICEK

**Konya Technical University
Institute of Graduate Studies
Department of Geomatics Engineering**

Advisor: Prof. Dr. Cevat INAL

2019, 96 Pages

Jury

Prof. Dr. Cevat INAL

Prof. Dr. Ayhan CEYLAN

Assoc. Prof. Dr. Salih ALCAY

Due to the drought felt both in the world and in our country caused by global climate change, effective management of our existing water resources and become imperative to make a sustainable resource by truthfully. Therefore, we need to be more careful about many issues related to our existing water resources.

Sediment which is carried by uncontrolled floods or streams, affects the efficient operation of dams negatively. As a result of sediment accumulation, there are losses in the storage capacity of the dams. Due to these losses, the economic life of the dams is shortened and many problems can be occurred related to operation of the dams. Storing more water in our dams, taking measures to extend the operational life and planning the stored water according to the usage areas is aimed by reducing these negative situations. In accordance with these purposes, in order to determine the amount of water available correctly, it is necessary to calculate the amount of sediment by making hydrographic measurements in our dams at regular intervals.

In this study, dam sedimentation which is one of the application areas of hydrographic measurements has been investigated. In this direction, hydrographic maps of the Sarımsaklı Dam in the Kızılırmak Basin for 1972, 1982 and 2013 were used. Surface area and volume calculations at different water levels of the Sarımsaklı Dam reservoir were made with the help of NetCad, Global Mapper and PDS2000 softwares by using digital terrain models of hydrographic maps of three different years. The surface area and volume values of the dam reservoir of 1972, 1982 and 2013 were observed by the calculations made with the help of three different softwares and the values obtained were compared and controlled with each other. As a result of the calculations, it was seen that the area and volume values calculated by using different softwares are compatible with each other at rate of 97%. Averages of sediment

amounts and percentage occupancy rates were calculated by using the hydrographic map of Sarımsaklı Dam in 2013 and the project information in 1968 when the dam was commissioned and the average sediment amount accumulated in the dam during the last 45 years was 4,320 hm³ and the average percentage occupancy rate was 12.40%. In addition, the average occupancy in dead volume over the past 45 years was calculated as 0.429 hm³ and observed that the dead volume capacity decreased by an average of 16.43%. As a result, it is seen that there is an average volume loss of 12.40% in total volume capacity and a decrease in dead volume capacity of 16.43% in the last 45 years. In addition to the calculations, the loss observed in dam storage capacity is aimed to investigate by creating sediment distribution maps, profiles and cross-sections in more detail.

Keywords: Sarımsaklı Dam, Sediment, Dam Sedimentation, Hydrographic Map, Hydrographic Measurements



ÖNSÖZ

Lisans ve yüksek lisans eğitimlerim boyunca sahip olduğum tecrübe ve bilgi birikimleriyle kendisinden çok şey öğrendiğim, tez çalışmamın başlangıcından sonuna kadar kendisine ne zaman danışsam kıymetli zamanını ayırıp sabırla ve büyük bir ilgiyle bana faydalı olabilmek için her konuda yardımını ve desteğini gördüğüm, kendisi ile çalışmaktan her daim büyük gurur ve mutluluk duyduğum değerli hocam ve tez danışmanım Sayın Prof. Dr. Cevat İnal'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam süresince benden her konuda yardımını ve desteğini esirgemeyen sevgili hocam Arş. Gör. Dr. Sercan BÜLBÜL'e teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmamın her aşamasında bilgisi ve tecrübesi ile beni yönlendirip yol gösteren DSİ Harita Şube Müdürü kıymetli babam Mehmet FAKIOĞLU'na, çalışmamın uygulama aşamasında kullandığım yazılımlarla ilgili her konuda bana yardımcı olan ve görüşleri ile beni yönlendiren DSİ Harita Şube Müdürlüğü'nde görevli harita mühendisi Oğuzhan AYDIN'a ve çalışmamın uygulama aşamasında yardımlarını benden esirgemeyen DSİ Harita Şube Müdürlüğü'nde görevli harita mühendisi Yakup ATLIER'e en içten teşekkürlerimi sunar, çalışmalarımnda yardımlarını gördüğüm ve adını burada sayamadığım herkese teşekkür ederim.

Hayatım boyunca her konuda ve her daim desteklerini arkamda hissettiğim, kocaman sevgileriyle bana güç veren ve bugünlere gelmemde büyük emek sahibi olan güzel annem Nebahat FAKIOĞLU'na ve canım babam Mehmet FAKIOĞLU'na ne kadar teşekkür etsem az kalsa da sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Tez çalışmam boyunca yaşadığım stresi benimle birlikte yaşayan ve bu süreçte bana moral vererek her konuda gösterdiği anlayışlı tavrıyla beni destekleyen sevgili eşim Muharrem GÜLÇİÇEK'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Pelin FAKIOĞLU GÜLÇİÇEK
KONYA-2019

İÇİNDEKİLER

ÖZET	iv
ABSTRACT.....	vi
ÖNSÖZ	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELER LİSTESİ	xi
ŞEKİLLER LİSTESİ	xii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xiv
1. GİRİŞ	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	4
3. HİDROGRAFIK ÖLÇMELER.....	13
3.1. Hidrografik Ölçmelerin Temsilcileri	15
3.2. Hidrografik Ölçmelerde Esas Alınan Doğruluk Standartları.....	17
3.3. Hidrografik Ölçmelerin Uygulama Alanları.....	19
3.4. Hidrografik Ölçmelerde Kullanılan Modern Teknikler.....	20
3.4.1. Derinlik belirleme yöntemleri.....	20
3.4.1.1. Lazer (lidar) iskandil yöntemi.....	22
3.4.1.1.1. Airborne lazer iskandil yöntemi	22
3.4.1.2. Uzaktan algılama ile iskandil yöntemi.....	24
3.4.1.3. Fotogrametrik iskandil yöntemi.....	25
3.4.1.4. Akustik iskandil yöntemi	25
3.4.1.4.1. Akustik yöntemle ölçülen derinliklerin düzeltilmesi ve indirgenmesi ...	30
3.4.1.4.2. Diğer akustik ölçme yöntemleri.....	35
3.4.1.4.2.1. Side-scan sonar sistemleri.....	36
3.4.1.4.2.2. Çok bimli iskandil sistemleri	37
3.4.2. Konum belirleme yöntemleri	39
3.4.2.1. Optik yöntemler (Klasik yöntemler).....	41
3.4.2.2. Elektrometrik yöntemler	41
3.4.2.3. Akustik yöntemler.....	42
3.4.2.4. Uydu bazlı yöntemler.....	43
3.4.2.4.1. GPS sistemi hakkında genel bilgiler	44
3.4.2.4.2. GPS ile konum belirleme yöntemleri.....	45
4. BARAJ SEDİMENTASYONU	50
4.1. Baraj Rezervuarına Taşınan Sediment Miktarının Belirlenmesi	53
4.2. Baraj Rezervuarında Biriken Sediment Miktarının Belirlenmesi.....	54
4.3. Baraj Rezervuarlarının Depolama Kapasitelerini Koruma Yöntemleri.....	55
4.3.1. Rezervuara sediment girişini azaltma yöntemleri.....	55

4.3.2. Rezervuara giren veya biriken/çökelen sedimentin uzaklaştırılması.....	59
5. UYGULAMA	61
5.1. Çalışma Alanı	61
5.2. Sediment Miktarının Belirlenmesinde Kullanılan Hidrografik Haritalara ait Bilgiler	62
5.3. Sarımsaklı Barajının Planlama Aşamasında Yapılan Elli Yılda Baraja Gelebilecek Sediment Miktarının Hesabı	66
5.4. Sediment Miktarının Belirlenmesinde Kullanılan Yazılımlar	67
6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA	69
6.1. Sarımsaklı Barajına ait Hidrografik Haritaların Sayısallaştırılması ve Sayısal Arazi Modellerinin Oluşturulması	69
6.2. Sarımsaklı Barajına ait Sayısal Hidrografik Haritalardan Yararlanarak Baraj Rezervuarına ait Farklı Su Seviyelerindeki Alan-Hacim Hesaplamalarının Yapılması	72
6.3. Sarımsaklı Barajına ait Hidrografik Haritalardan Elde Edilen Veriler Yardımıyla Hesaplanan Sediment Miktarları, Yüzdesel Doluluk Oranları ve Yıllık Ortalama Sediment Miktarları	78
6.4. Sarımsaklı Barajına ait Sediment Dağılım Haritaları	80
6.5. Sarımsaklı Barajına ait Boykesitler	81
6.6. Sarımsaklı Barajına ait Enkesitler.....	82
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	86
KAYNAKLAR	91
ÖZGEÇMİŞ	96

ÇİZELGELER LİSTESİ

Çizelge 3.1. Hidrografik ölçmeler için öngörülen minimum standartlar	18
Çizelge 3.2. Hidrografik ölçmelerin uygulama alanları	20
Çizelge 3.3. Genel olarak hidrografik ölçmelerden beklenen konum doğrulukları	40
Çizelge 3.4. Akustik yöntemler ile konumlandırılmadaki standart frekanslar	42
Çizelge 3.5. Ölçü yöntemlerinde elde edilebilecek doğruluklar	47
Çizelge 5.1. Sarımsaklı Barajı teknik özellikleri	61
Çizelge 5.2. 2013 yılında harita yapımında kullanılan ekipmanlar ve teknik özellikleri	65
Çizelge 6.1. Koordinatları bilinen noktalardan yararlanılarak yapılan Helmert Dönüşümü ve bulunan parametreler	71
Çizelge 6.2. 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait farklı yazılımlarla hesaplanan yüzey alanları (ha)	74
Çizelge 6.3. 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait farklı yazılımlarla hesaplanan hacimler (hm ³)	76
Çizelge 6.4. NETCAD yazılımı kullanılarak yapılan hesaplamalar	78
Çizelge 6.5. GLOBAL MAPPER yazılımı kullanılarak yapılan hesaplamalar	78
Çizelge 6.6. PDS2000 yazılımı kullanılarak yapılan hesaplamalar	78
Çizelge 6.7. Farklı yazılımlar yardımıyla hesaplanan sediment miktarları ve yüzdesel doluluk oranları	79

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. IHO üyelikleri	16
Şekil 3.2. Hidrografik ölçüm hatları	21
Şekil 3.3. Airborne lazer iskandil yöntemi ile derinlik ölçümü	23
Şekil 3.4. Meksika körfezinde yaşanan petrol sızıntısı felaketi	24
Şekil 3.5. Akustik iskandil yöntemi ile derinlik ölçümünün temel prensibi	26
Şekil 3.6. Akustik derinlik ölçme (iskandil) aletleri.....	27
Şekil 3.7. ELAC Hydrostar 4300 derinlik ölçer	28
Şekil 3.8. Ses hızı ölçer	29
Şekil 3.9. Eğim düzeltmesi	32
Şekil 3.10. Bat-çık hareketi	33
Şekil 3.11. Bat-çık, boyuna salınım ve yalpa etkilerinin geometrik gösterimi	34
Şekil 3.12. Yalpa etkisinin kardamik mafsallı transdüser ile ortadan kaldırılması	34
Şekil 3.13. Bir derinlik ölçüsünün referans yüzeyine indirgenmesi	35
Şekil 3.14. Gemi enkazına ait yandan tarama görüntüsü	36
Şekil 3.15. Çok bimli (multibeam) sonar ve side-scan kullanan bir ölçüm gemisi	37
Şekil 3.16. Çok bimli (multibeam) iskandil ölçüm yöntemi	38
Şekil 3.17. Çok bimli (multibeam) iskandil sistemi ve arayüzleri	39
Şekil 3.18. Uzun bazlı, Kısa bazlı ve Çok kısa bazlı yöntemler	43
Şekil 3.19. GPS ile konum belirleme yöntemleri	46
Şekil 3.20. Mutlak ve görelî konum belirleme yöntemleri	47
Şekil 3.21. Diferansiyel konum belirleme yöntemi	48
Şekil 4.1. Baraj rezervuarında meydana gelen sedimentasyon süreci	50
Şekil 4.2. Baraj rezervuarındaki suyun hacimsel dağılımı	51
Şekil 4.3. Kırklareli Baraj havzasında yapılan ağaçlandırma çalışmaları	56
Şekil 4.4. Heyelandan kaynaklanan rusubatu depolamak ve kontrol etmek için inşa edilen tersip bendi, Çamlığöze Barajı Havzası, Uludere, Suşehri/Sivas	57
Şekil 4.5. Rezervuarlara sediment girişini azaltmak için inşa edilen kontrol barajlarının şematik gösterimi	58
Şekil 4.6. 1950 yılında Nagle Baraj rezervuarında yapılan çevirme kanalı	59
Şekil 4.7. Sanmenxia Barajında biriken sedimentin yıkama yöntemiyle uzaklaştırılması	60
Şekil 5.1. Sarımsaklı Barajı ve barajın konumu	61

Şekil 5.2. Fruno marka echosounder	62
Şekil 5.3. Sarımsaklı Barajı 1972 yılına ait hidrografik harita	63
Şekil 5.4. Sarımsaklı Barajı 1982 yılına ait hidrografik harita pafta:1	63
Şekil 5.5. Sarımsaklı Barajı 1982 yılına ait hidrografik harita pafta:2	64
Şekil 6.1. Sarımsaklı Barajı sayısallaştırma işlemine örnek (1972 yılına ait hidrografik harita)	70
Şekil 6.2. Sarımsaklı Barajı sayısal arazi modeli oluşturma işlemine örnek (1972 yılına ait hidrografik harita)	70
Şekil 6.3. NETCAD yazılımı yardımıyla yapılan yüzey alanı ve hacim hesabına örnek (1972 yılı hidrografik haritası 1183.23 kotu)	72
Şekil 6.4. GLOBAL MAPPER yazılımı yardımıyla yapılan yüzey alanı ve hacim hesabına örnek (2013 yılı hidrografik haritası 1205 kotu)	73
Şekil 6.5. PDS2000 yazılımı yardımıyla yapılan yüzey alanı ve hacim hesabına örnek (1982 yılı hidrografik haritası 1183.23 kotu)	73
Şekil 6.6. 1972 yılına ait farklı yazılımlarla hesaplanan yüzey alanları	75
Şekil 6.7. 1982 yılına ait farklı yazılımlarla hesaplanan yüzey alanları	75
Şekil 6.8. 2013 yılına ait farklı yazılımlarla hesaplanan yüzey alanları	75
Şekil 6.9. 1972 yılına ait farklı yazılımlarla hesaplanan hacimler	77
Şekil 6.10. 1982 yılına ait farklı yazılımlarla hesaplanan hacimler	77
Şekil 6.11. 2013 yılına ait farklı yazılımlarla hesaplanan hacimler	77
Şekil 6.12. Farklı yazılımlar yardımıyla hesaplanan sediment miktarları	79
Şekil 6.13. 1972-1982 yılları arasında oluşan sediment dağılımı	80
Şekil 6.14. 1982-2013 yılları arasında oluşan sediment dağılımı	81
Şekil 6.15. Sarımsaklı Barajının 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait boykesitlerinin karşılaştırılması	82
Şekil 6.16. Sarımsaklı Barajının enkesit dağılımı	82
Şekil 6.17. Enkesit-1	83
Şekil 6.18. Enkesit-2	83
Şekil 6.19. Enkesit-3	83
Şekil 6.20. Enkesit-4	84
Şekil 6.21. Enkesit-5	84
Şekil 6.22. Enkesit-6	84
Şekil 6.23. Enkesit-7	85
Şekil 6.24. Enkesit-8	85

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

α	: Kullanılan transdüserin tepe açısı
β	: Zeminin eğimi
ρ	: Suyun geçirgenliği
a	: Derinliğe bağlı olmayan hata bileşeni
a	: Transdüser derinliği
A	: Net yağış alanı (km ²)
b	: Derinliğe bağlı hata bileşeni katsayısı
bxd	: Derinliğe bağlı hataların toplamı
c	: Ses dalgalarının su içindeki yayılma hızı
c_s	: Işık dalgalarının su içindeki yayılma hızı
$C_{t,s,p}$: Sıcaklığı t, tuzluluğu s ve basıncı p olan suda sesin yayılma hızı
C_0	: Normal koşullardaki suda sesin yayılma hızı
$\Delta C_t, \Delta C_s, \Delta C_p$: Normal koşullar dışında C_0 değerine uygulanacak düzeltmeler
$\Delta C_{t,s,p}$: Her üç verinin (t, s, p) aynı anda değişmesi halinde uygulanacak ek düzeltme
Δt	: Transdüser tarafından gönderilen ses impulsunun zamanı ile bunun sualtından yansıtılarak gelen ekosunun zamanı arasındaki fark
d	: Derinlik
d	: Transdüser ile sualtı zemini arasındaki düşey uzunluk
dH_v	: Hız düzeltmesi
dH_e	: Eğim düzeltmesi
dH_a	: Aletin ayar düzeltmesi
H	: Su derinliği
H'	: Ölçülen derinlik değeri
H'_0	: Derinlik ölçerinin ayarlanmış olduğu V_0 ses hızına göre ölçülmüş geçici derinlik
H_d	: Düzeltilmiş derinlik değeri
H_i	: Derinlik ölçmesi yapılmış herhangi bir noktanın referans yüzeyine göre kotu
H_{sk}	: Mareograf yardımıyla belirlenen ortalama su seviyesinin kotu

k	: Suyun yoğunluğu
m_d	: %95 güvenilirlik seviyesine uygun derinlik doğruluğu
m_{H_d}	: Düzeltilmiş derinlik inceliği
$m_{H'}$: Derinlik çözümleme inceliği
m_a	: Transdüser derinliğinin ölçülme inceliği
m_{H_v}	: Hız düzeltmesi inceliği
m_{H_e}	: Eğim düzeltmesi inceliği
m_{H_a}	: Aletin ayar düzeltmesi inceliği
Q_s	: Uzun yıllık ortalama sediment miktarı (ton/yıl)
R^2	: Belirtme katsayısı
t	: Işığın seyir süresi
V	: Çalışılan ortam için geçerli olan ortalama ses hızı değeri
V_0	: Derinlik ölçerin kalibre edildiği ses hızı değeri

Kısaltmalar

AN	: Ana Nivelman Noktası
AUV	: Autonomous Underwater Vehicle
CHS	: Canadian Hydrographic Service
DGPS	: Differential Global Positioning System
DoD	: Department of Defence
DSİ	: Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü
ED50	: European Datum 1950
FIG	: International Federation of Surveyors
GPS	: Global Positioning System
HSSC	: Hydrographic Services and Standards Committee
IHB	: International Hydrographic Bureau
IHO	: International Hydrographic Organization
INS	: Inertial Navigation System
ITRF96	: International Terrestrial Reference Frame 1996
LINZ	: Land Information New Zealand
LIDAR	: Light Detection and Ranging
MTA	: Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü
ROV	: Remotely Operated Underwater Vehicle

RTK	: Real Time Kinematic
SAM	: Sayısal Arazi Modeli
SHOD	: Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı
SLR	: Satellite Laser Ranging
SMA	: Swedish Maritime Administration
TUTGA	: Türkiye Ulusal Temel GNSS Ağı
USACE	: United States Army Corps of Engineers
VLBI	: Very Long Baseline Interferometry
WGS-84	: World Geodetic System-1984



1. GİRİŞ

Hidrografi; okyanusların, denizlerin, kıyı alanlarının, göllerin ve nehirlerin fiziksel özelliklerinin ölçülmesi ve zaman içindeki değişimlerinin izlenmesini amaçlayan uygulamalı bir bilim dalıdır. Gemilerin güvenli navigasyonunu desteklemesinin yanı sıra ekonomik gelişmeyi, güvenlik ve savunmayı, bilimsel araştırmaları ve çevre korumasını da kapsamak üzere bütün denizcilik faaliyetlerini desteklemektedir.

Hidrografi bilim dalı; suyun derinliğini ölçmeyi, enkaz ve kayalar gibi deniz tabanındaki tüm seyir tehlikelerinin konumunu tespit etmeyi de içermektedir. Bu işlemler, echosounder veya sonarlarla işletilen özel gemiler ve botlarla, lazerlerin monte edildiği uçaklarla veya uydu gözlemlerinden yararlanılarak yapılmaktadır. Bunun yanı sıra gelgit ve akıntıların ölçülmesinde de hidrografi bilim dalı kullanılmaktadır (IHO, 2019).

Yeryüzünün sularla kaplı bölgelerinin dip topografyasının bütün özelliklerinin, doğal ve yapay görünülerinin belirlenmesi amacıyla yapılan ölçmeler, hidrografik ölçmeler olarak ifade edilmektedir. Ayrıca deniz, göl ve akarsuların ortalama su seviyelerinin belirlenmesi ve bu ortamlarda gravite ölçmelerinin yapılması da hidrografik ölçmeler kapsamına girmektedir. Hidrografik ölçmeler sırasında uygulanan iki değişik ölçme yöntemiyle de bir noktanın ortalama deniz (su) seviyesine göre derinliği ölçülürken yatay konumu da belirlenmektedir. Hidrografide derinlik ölçme işlemine batimetri veya iskandil denilmektedir. Karasal ölçmeler ile sularla kaplı alanlarda yapılan ölçmeler arasındaki en önemli farklardan biriye gözlemlenen yüzeyin doğrudan görülemiyor olması nedeniyle ölçmelerin uzaktan yapılmasıdır (Oner-Germen, 2006).

Dünya yüzeyinin dörtte üçünün sularla kaplı olduğu ülkemizin de üç tarafının denizlerle çevrili olduğu düşünülürse hidrografik ölçmeler ile ilgili yapılacak çalışmaların ne kadar önemli olduğu görülmektedir. Bu nedenle gerek bilimsel araştırmalar ve uygulamalarda gerek kıyı mühendisliği uygulamalarında gerekse her tür amaç için hidrografik harita yapımında hidrografik ölçmelere ihtiyaç vardır.

Küresel iklim değişikliği ile birlikte hem dünyada hem de ülkemizde hissedilen kuraklık nedeniyle yağışlarda gözlemlenen azalma ve yaşanan su sıkıntısı ile birlikte dünya nüfusunun da günden güne artmasıyla mevcut su kaynaklarımızın etkili yönetilmesi ve doğru yönde kullanılarak sürdürülebilir bir kaynak haline getirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle mevcut su kaynaklarımızı planlı bir şekilde kullanmamız, kontrol altına almamız, boşa akıp giden sularımızı baraj, göl, gölet vb.

ortamlarda depolamamız, kıyılarımızı korumamız ve su ortamlarında yaşanan kirliliği önlememiz gibi pek çok konuya daha dikkatli yaklaşmamız gerekmektedir.

KontROLSÜZ su taşkınlarıyla veya akarsular tarafından taşınan katı maddeler (sediment/tortu/çamur/rusubat), baraj, göl, gölet gibi sularla kaplı alanların verimli işletilmesini olumsuz yönde etkilemekte ve önemli ölçüde zarar görmelerine neden olmaktadır. Oluşan bu zararların azaltılarak barajlarımızda daha fazla su depolanabilmesi, işletme ömürlerinin uzatılmasına yönelik tedbirlerin alınması ve depolanan suyun kullanım alanlarına göre doğru planlanması amacıyla mevcut suyun miktarının sağlıklı belirlenebilmesi için hidrografik ölçmelere konu olan bu alanların dip topografyasındaki değişiminin gerekli görülen periyotlarda belirlenmesi amacıyla hidrografik haritalarının yapılması barajlarımızın verimli işletilebilmesine önemli katkılar sağlamaktadır (Fakıoğlu, 2014).

Ülkemizdeki su kaynaklarının planlanması, yönetilmesi, geliştirilmesi ve işletilmesinden sorumlu önemli bir kuruluş olan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) bünyesinde kurulmuş olan Harita Şube Müdürlüğü'nün görevlerinden birisi de işletmeye alınmış barajlarda ve tabii göllerde biriken sediment miktarını ve baraj kıyı erozyon hareketlerini tespit etmek amacıyla hidrografik harita üretmektir (Fakıoğlu, 2014). Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından 1960 ile 2018 yılları arasında 11.300 km²'lik alanda hidrografik harita alımı gerçekleştirilerek işletmede olan 157 barajın ve 72 tabii gölün hidrografik haritası yapılmıştır. Ayrıca bu baraj ve göllere ait değişik periyotlarda bir veya birkaç kere olmak üzere toplamda 418 adet baraj ve tabii gölün tekrarlı hidrografik haritası da yapılmıştır (DSİ Harita Şube Müd., 2019).

Yapılan tez çalışmasında barajlarımızın verimli işletilebilmesi için belirli periyotlarda yapılması gereken hidrografik ölçmeler sonucunda üretilen hidrografik haritaların önemli bir bilim dalının ilgi alanı olduğu düşünülerek hidrografik ölçmeler konusunda bir çalışma yapılmıştır. Bu doğrultuda öncelikle hidrografik ölçmeler konusunun tarihçesinden başlayarak temsilcileri, esas alınan doğruluk standartları ve uygulama alanları hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiş ve sonrasında da hidrografik ölçmelerde kullanılan modern derinlik ve konum belirleme yöntemleri ile ilgili detaylı açıklamalar yapılmıştır. Baraj sedimentasyonunun daha iyi anlaşılması içinde ayrı bir bölüm altında sediment ve sedimentasyon kavramlarından bahsedilerek baraj rezervuarına taşınan ve baraj rezervuarında biriken sediment miktarının belirlenmesi ve baraj rezervuarlarının depolama kapasitelerini koruma yöntemleri ile ilgili detaylı bilgiler de verilmiştir. Baraj sedimentasyonunun değerlendirilmesi amacıyla Kızılırmak Havzası

üzerinde bulunan Sarımsaklı Barajı uygulama alanı olarak seçilmiş ve barajın 1968 yılındaki proje bilgileri esas alınarak barajın 1972 ve 1982 yıllarına ait hidrografik haritaları ile 2013 yılında sayısal ortamda üretilen hidrografik haritası kullanılarak incelemeler yapılmıştır. Bu doğrultuda seçilen üç farklı yazılım yardımıyla yapılan Sarımsaklı Baraj rezervuarına ait farklı su seviyelerindeki yüzey alan ve hacim hesaplamaları kendi içinde karşılaştırılarak hesaplamaların doğru olup olmadığı incelenirken elde edilen baraj rezervuarına ait hacim değerleri kullanılarak da geçen 45 yıllık sürede barajda biriken sediment miktarı hesaplanarak barajdaki doluluk oranının bulunması amaçlanmıştır. Ayrıca 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait oluşturulan boykesitler ve enkesitler de karşılaştırılarak barajdaki sediment birikimiyle ilgili incelemeler yapılmıştır.



2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Algül (1985) tarafından yapılan çalışmada hidrografik ölçmelerde konum belirleme yöntemleri ile ilgili teorik bilgiler verilmiş ve bu yöntemler detaylı olarak açıklanmıştır. Algül (1987) tarafından yapılan bir başka çalışmada da hidrografik ölçmelerin dünü ve bugünü hakkında bilgiler verilmiş ve bu amaç doğrultusunda öncelikle hidrografi biliminin tanımı yapılarak gelişim tarihçesi anlatılmış sonrasında da derinlik ve konum belirleme yöntemlerindeki durumlardan bahsedilerek hidrografik ölçmelerin uluslararası temsilcileri ifade edilmiştir. Algül tarafından yapılan bu iki çalışma, hidrografi bilimi ve hidrografik ölçmeler alanında sonraki çalışmalara fayda sağlamıştır.

Mahmood (1987) tarafından yapılan çalışmada baraj sedimentasyonunun anlatılması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda drenaj havzalarında erozyon ve sedimentasyon konuları, rezervuar sedimentasyon süreçleri, rezervuar sedimentasyonunun tahmin edilmesi için uygulanacak yöntemler, rezervuarlara giren veya biriken/çökelen sedimenti azaltmak veya uzaklaştırmak için uygulanacak yöntemler hakkında detaylı bilgiler verilmiştir.

Erkaya (1995a ve 1995b) tarafından yapılan çalışmalarda hidrografik ölçmeler alanında teorik bilgiler verilmiştir. Hidrografik ölçmelerin tarihçesi, uygulama alanları, hidrografik çalışmaların planlanması ve hidrografik ölçmelerde derinlik ve konum belirleme yöntemleri vb. konularda detaylı bilgiler verilerek hidrografik ölçmeler alanında yapılan sonraki çalışmalara fayda sağlamıştır.

Hotchkiss ve Huang (1995) tarafından yapılan çalışmada baraj rezervuarlarına gelen veya biriken/çökelen sedimenti uzaklaştırma yöntemlerinden Hydrosuction sediment uzaklaştırma sistemleri (HSRS) açıklanmış ve bu doğrultuda HSRS kısaca tarif edilerek diğer yöntemlerle karşılaştırılmıştır. Hidrolik prensipler ve tasarım prosedürleri Nebraska'daki Elkhorn Nehri üzerindeki Atkinson Gölü'nde yapılan bir saha testinde açıklanarak uygulanmış ve yapılan saha çalışması sonucunda ise birkaç farklı giriş şeklinin, biriken sedimenti yıllık olarak rezervuara girme oranında çıkarabildiğini göstermiştir.

Abbott (1996) tarafından revize edilen araştırmacı ve mühendis için hidrografi adlı ders kitabında deniz araştırması konusunda kapsamlı bir bilgi verilmiştir. Kitabın büyük bir bölümünde anlatılan konumlandırma sistemleri bu alanda yapılan çalışmalara fayda sağlamıştır.

Alkan (1998) tarafından Haliç'te yapılan iki farklı zamandaki iki uygulama ile klasik ölçmeler ve GPS ölçmeleri birleştirilerek dalgalı ortamlarda yapılan uygulamalarda ölçme taşıtının düşey yöndeki hareketi sonucu ortaya çıkan bat-çık (heave) etkisini ölçülen derinlik değerlerinden uzaklaştırarak, derinlik değerlerinin doğruluğunu arttırmak için GPS ölçülerine dayalı bir yöntem geliştirmek ve hidrografik ölçmeler alanında yapılan uygulamalarda kurulması gereken klasik mareograf istasyonlarını kullanmadan GPS ölçmeleri ile ortalama deniz seviyesini belirlemek amaçlanmıştır. Yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen derinlik değerlerinden bat-çık etkisini uzaklaştırmak için geliştirilen yöntemin, klasik mareograflarla arasında 4-5 cm civarında farklılıklar olduğu gözlemlenmiş ve bu nedenle klasik mareograflara göre kullanılacak önemli bir seçenek olduğu düşünülmüştür. Ortalama su seviyesinin yükseltisinin belirlenmesi de geliştirilen yöntem uygulanarak çok daha kolay bir şekilde yapılmış ve $\pm(5-10)$ cm civarında bir doğrulukla bulunmuştur. Hidrografik ölçmelerle ilgili yapılan bu çalışma, uygulamasının yanı sıra hidrografik ölçmelerde kullanılan derinlik ve konum belirleme yöntemleriyle ilgili anlattığı teorik bilgilerle de hidrografi bilimi ve hidrografik ölçmeler alanında sonraki çalışmalara fayda sağlamıştır.

Erener (2002) tarafından yapılan çalışmada Trabzon limanı için hidrografik ölçmeler yapıp liman dibinin topografik haritası çıkartılmıştır. Trabzon limanı için yapılan hidrografik ölçümler sırasında yatay konum bilgileri, gerçek zamanlı kinematik (GZK) GPS ölçme metodu kullanılarak belirlenmiş ve ölçümler sonucunda iskandil nokta koordinatları 2-3 cm hassasiyetinde ve gerçek zamanlı olarak bulunmuştur. Uygulamada iskandil noktalarına ait yatay konum bilgileri GZK GPS ile belirlenirken aynı anda derinlikler de özel olarak hazırlanmış mekanik iskandil düzeneği ile ölçülmüştür. GZK GPS ile her iskandil noktasında alınan yükseklik verilerinin değerlendirilmesi ile derinlik verilerini düzensiz biçimde etkileyen, iskandil noktalarındaki dalga büyüklükleri belirlenmiş ve grafiksel olarak gösterilen dalga büyüklüğü değerleri, düzeltme olarak, yapılan derinlik ölçümlerine getirilmiştir. Yapılan düzeltmeler sonrası, mekanik iskandil ile derinlik ölçümleri ± 15 cm hassasiyetinde belirlenmiştir.

Jain ve ark. (2002) tarafından Batı Himalayaların eteklerinde bulunan Satluj nehri üzerindeki Bhakra Barajında yapılan çalışmada baraj sedimentasyonunun değerlendirilmesi amacıyla uzaktan algılama teknikleri kullanılmıştır. Sonuç olarak 1965 ve 1997 yılları arasında geçen 32 yıllık sürede sediment birikimi nedeniyle baraj depolama kapasitesindeki kayıp, ortalama $25.23 \text{ Mm}^3\text{yıl}^{-1}$ sedimentasyon oranını veren 807.35 Mm^3 olarak hesaplanmıştır. Aynı dönem için hidrografik inceleme verileri

kullanılarak hesaplanan ortalama sedimentasyon oranı da $20.84 \text{ Mm}^3\text{yıl}^{-1}$ bulunmuştur. Böylece uzaktan algılama teknikleri kullanılarak hesaplanan sedimentasyon oranının hidrografik incelemeden elde edilen sedimentasyon oranına yakın olduğu tespit edilmiştir.

Palmieri ve ark. (2003) tarafından yapılan çalışmada Dünya Bankası'nın rezervuarların sürdürülebilir yönetiminin değerlendirilmesi ve tanıtımına yönelik bir yaklaşım geliştirmek için yaptığı RESCON (Reservoir Conservation) araştırma projesinin sonuçları özetlenmiştir.

Aydın ve ark. (2005) tarafından hidrografik ölçme standartları ile ilgili yapılan çalışmada ülkemizdeki kurumlardan Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) tarafından göllerde ve barajlarda yapılan hidrografik ölçmeler için oluşturulan standartlar ile Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı tarafından yapılan hidrografik harita üretiminde yararlanılan IHO S44 ölçme standartları hakkında araştırmalar yapılmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda ise hidrografik ölçmelerde ulusal standartlarımızı oluşturmamız, uygulama yapılan alana göre ölçmelerde kullanılacak alet ve yöntemleri belirlememiz ve günümüz koşullarına uygun hidrografik haritalar üretmemiz düşüncelerini vurgulamışlardır.

Aykut ve ark. (2005) tarafından Karaburun sahilinde yapılan çalışmada kıyı çizgisinde değişime uğrayan alanlar belirlenerek değişimin nedenlerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda kıyı çizgisine ait ölçümler RTK GPS yöntemiyle yapılmış ve yaklaşık 3 km uzunluğundaki kıyı çizgisi, iki saat gibi kısa bir sürede yürüyerek ölçülmüştür. Yapılan çalışmadan elde edilen sonuçlar ise RTK GPS yöntemiyle yapılan ölçümlerin yersel yöntemlere göre daha az emek ve işgücü harcayarak daha kısa sürede yapılabildiğini göstermiştir.

Fakıoğlu (2005) tarafından yapılan çalışmada Seyhan Barajında biriken sediment miktarının belirlenebilmesi için barajın farklı yıllarına ait hidrografik haritalar karşılaştırılarak yıllara göre barajda biriken sediment miktarı ve barajdaki kullanılabilir su miktarı hesaplanmıştır. Baraj depolama kapasitesinde azalmaya yol açan sediment birikiminin nedenleri ifade edilmiş ve alınabilecek önlemler anlatılmıştır. Seyhan Barajının karşılaştırmada kullanılan 1966, 1971, 1976, 1980, 1986 ve 1991 yıllarına ait haritaları klasik yöntemlerle üretilirken 2005 yılına ait haritası da aynı anda kara alımları yapılarak otomatik veri toplama sistemi kullanılarak üretilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise barajda biriken sediment miktarının karşılaştırılan yıllar arasında artış gösterdiğini ve

barajın işletmeye alındığı 1956 yılı ile 2005 yılı arasında geçen 49 yıllık sürede 407 hm³ miktarında sediment biriktiğini göstermiştir.

IHO (2005) tarafından yayınlanan kitapta hidrografi ve hidrografik araştırmalar ile ilgili kavramlar hakkında bilgi verilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda hidrografik araştırma prensipleri, konumlandırma teknikleri ve yöntemleri, derinlik belirleme yöntemleri ve teknikleri, deniz tabanı sınıflandırılması ve nesne tespiti, su seviyeleri ve akış, topografik araştırma ve hidrografik uygulama konuları detaylı olarak anlatılmıştır.

Kalkan ve Alkan (2005), otomatik veri toplama sistemi olarak adlandırılan sistemleri kullanarak bazı uygulamalar yapmış ve bu uygulamalardan en dikkat çekeni olan Haliç Islah Projesi kapsamında yapılan çalışmaları anlatmışlardır. Bu doğrultuda Haliç Islah projesi dahilinde Haliç bilgi sistemine altlık da oluşturacak şekilde hidrografik haritalar hazırlanmış ve çalışma yapılan bölgede uygulama süresince yaklaşık on bir defa ölçümler yapılıp, taranarak uzaklaştırılan çamurun miktarı yaklaşık 5 milyon m³ olarak hesaplanmıştır.

Oner-Germen (2006) tarafından yapılan çalışmada Marmaray Tp Geçit Projesi kapsamında yapılan hidrografik çalışmalar anlatılmış ve batırma tüplerinin inşaati bittikten sonra indirileceği denizin derinliğinin belli bir değerin altında olması gerektiğinden su altı kaya kırma ve çıkarma çalışmalarını yönlendirmek amacıyla hidrografik ölçmelerin bu alanlarda tekrarlanması gerektiği vurgulanmıştır.

Aykut ve Birkan (2007) tarafından yapılan çalışmada dünyada ve ülkemizde kullanılan çok bimli iskandillerin dağılımı, çalışma prensipleri, diğer derinlik lme yöntemlerine göre avantajları ve dezavantajları açıklanmıştır. Yapılan araştırmalar sonucunda ise çok bimli iskandil sistemlerinde %27'lik kullanım oranıyla Amerika Birleşik Devletleri birinci sırayı alırken %0'lık kullanım oranıyla Türkiye'nin bu sıralamaların çok gerisinde kaldığı gözlemlenmiştir.

Mukherjee ve ark. (2007) tarafından Hindistan Orissa'da yer alan Hirakud Barajında yapılan çalışmada baraj sedimentasyonunun değerlendirilmesi amacıyla uzaktan algılama teknikleri kullanılmıştır. Sonuç olarak 1957 ve 1989 yılları arasında geçen sürede baraj depolama kapasite kaybının %24.10 oranında olduğu görülmüştür.

IHO (2008) tarafından yayınlanan kitapta öncelikle yüzey navigasyonunun güvenliği ve deniz ortamının korunması için kullanılacak seyir çizelgelerini derlemek ve kullanılacak verileri toplanmak amacıyla hidrografik araştırmaların yürütülmesine

yönelik bir dizi standart sağlamak üzere oluşturulan “Hidrografik Araştırmalar için Standartlar (S-44)” anlatılmıştır.

Aykut (2009) tarafından yapılan çalışmada sığ sularda (derinliği 50 m’den az) çok bimli iskandil (ÇBİ) sistemlerinin kullanımı açıklanarak ÇBİ sistemleriyle toplanan her bir derinlik ölçümünün derinlik doğruluğu ve maliyeti yapılan analizlerle belirlenmiştir. Akustik derinlik ölçme yöntemleri inceleyerek, tek bimli iskandil (TBİ) ve çok bimli iskandil (ÇBİ) sistemleriyle toplanan verilerin derinlik değerleri birbirleriyle karşılaştırılmış ve derinlik farkları hesaplanmıştır. Tespit edilen derinlik farklarının da Uluslararası Hidrografi Örgütünün Özel Yayın No:44 standartlarında özel dereceli alanlar için tanımlanan sınır değerler altında kaldığı belirlenmiştir. Hidrografik ölçmelerle ilgili yapılan bu çalışmada, uygulamasının yanı sıra hidrografik ölçmelerde kullanılan derinlik belirleme yöntemlerinden özellikle akustik iskandil yöntemi ve konum belirleme yöntemleri hakkında anlattığı teorik bilgilerle de hidrografi bilimi ve hidrografik ölçmeler alanında sonraki çalışmalara fayda sağlamıştır.

Çelikkıran (2009) tarafından yapılan çalışmada İstanbul Boğazı Marmaray Tüp Geçit Projesi kapsamında gerçekleştirilen hidrografik ölçme verileri ile sonuçlarının hassas bir şekilde elde edilmesi ve hassasiyetlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda çalışma bölgesinde sonar, akıntı hızı ve batimetri ölçümleri yapılmış ve bu ölçmelerde sonuçlara etki eden faktörler belirlenerek hassasiyetleri araştırılmıştır. Batimetri ölçümlerine etki eden ses hızı ölçümleri de farklı saat ve günlerde yapılarak kendi aralarında ve ölçüme etkisi konusunda karşılaştırmalar yapılmıştır. Sonuç olarak; İstanbul Boğazı çalışma bölgesinde yapılan hidrografik ölçmelerde ölçüm öncesi ve sonrası yapılan adımlar incelenmiş, istenilen hassasiyetlerin elde edilebilmesi için yapılması gerekenler anlatılmıştır. Çalışma bölgesinde aynı konumda ama farklı saatte yapılan ölçümlerin sonuçlarının değiştiği görülmüştür.

Kokpınar ve ark. (2010) tarafından Gediz Nehri üzerinde inşa edilen Demirköprü Barajında yapılan çalışmada baraj sedimentasyonunun değerlendirilmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda baraj sedimentasyonu, hem hidrografik ölçümler hem de süspanse sediment gözlemleri arasında karşılaştırmalar yapılarak iki farklı yöntemle değerlendirilmiştir. Demirköprü Barajının 1977 ve 1991 yıllarına ait hidrografik haritaları kullanılarak yapılan incelemeler sonucu, baraj depolama hacminin %33’ünün sediment birikimi nedeniyle kaybedildiği görülmüştür. Demirköprü Barajının 1977 ve 1991 yıllarına ait iki hidrografik haritasının süspanse sediment ölçümleri ile birlikte karşılaştırılması da detaylı bir şekilde incelenmiş ve Demirköprü drenaj alanının sediment

verimi hem hidrografik veriler hem de süspansediment verileri kullanılarak tahmin edilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise hidrografik incelemelerden hesaplanan sediment verim oranının, süspansediment ölçümlerinden elde edilen oranın neredeyse 5.3 katı olduğunu göstermiştir.

Ekizoğlu (2011) tarafından yapılan çalışmada Altınapa Barajının etkin olarak kullanılabilmesi ve yönetilebilmesi amacıyla coğrafi bilgi sistemi yardımıyla hidrografik haritalarının oluşturulması ve bu haritalar yardımıyla yapılan hesaplamalar ile baraj depolama kapasitesindeki değişimlerin belirlenmesi hedeflenmiştir. Ayrıca baraja ait elde edilen pek çok veri kullanılarak da baraj bilgi sisteminin oluşturulması amaçlanmıştır. Bu doğrultuda Altınapa Barajının 1984 ve 2009 yıllarına ait hidrografik haritalarının sayısal yükseklik modelleri kullanılarak ArcGIS yazılımı yardımıyla Altınapa Baraj rezervuarına ait yüzey alan ve hacim hesaplamaları yapılmış ve yapılan hesaplamalar sonucunda baraj depolama kapasitesinde %12.7 oranında bir kaybın olduğu gözlemlenmiştir. Baraj ve çevresinde yapılan ölçmeler sonucunda elde edilen verilerin toplanması, depolanması, işlenmesi ve analiziyle de Altınapa baraj bilgi sistemi oluşturulmaya çalışılmıştır.

Odabaşı (2011) tarafından yapılan çalışmada dünyadaki ve ülkemizdeki işletme halinde bulunan barajlardan örnekler verilerek barajların ekonomik ömürlerinin azalmasına neden olan sediment birikimi problemi, sediment kavramı ile ilgili bilgiler de verilerek anlatılmış ve sedimentin kontrol edilebilmesi veya uzaklaştırılabilmesi için uygulanabilecek yöntemler kapsamlı bir şekilde açıklanmıştır. Bu tez çalışmasının sediment ve sedimentasyon alanlarında yapılan çalışmalarda fayda sağlayacağı düşünülmektedir.

Pekmezci ve Buttanrı (2011) tarafından yapılan çalışmada sediment yıkama (flushing) yöntemi üzerine genel açıklamalar yapılarak dünyadaki ve ülkemizdeki barajlardan örnekler verilerek barajların depolama kapasitelerini koruma yöntemlerinin önemine değinilmiştir. Ayrıca bir barajdaki katı madde birikiminin oluşum nedenleri incelenerek sediment yıkama (flushing) yöntemi genel olarak anlatılmıştır.

Ceylan ve Ekizoglu (2012) tarafından yapılan çalışmada Altınapa Barajının topografik ve batimetrik verileri karşılaştırılarak, 25 yıllık bir süre içerisinde sedimentasyon sonucu Altınapa Barajının yüzey alanındaki ve su hacmindeki değişiklikler, iki farklı yıla ait hidrografik haritaların sayısal yükseklik modelleri kullanılarak ArcGIS yazılımı yardımıyla incelenmiştir. Sonuç olarak 1984 ve 2009 yılları arasında geçen 25 yıllık sürede normal su seviyesindeki rezervuar kapasitesinde %12,

maksimum su seviyesindeki rezervuar kapasitesinde de %12.7 oranında bir kaybın olduğu gözlemlenmiştir.

Çelik ve ark. (2012) tarafından 2007 yılının yazında alansal olarak %70'i kuruyan Alibey Barajında yapılan çalışmada, geçmiş yıllarda Alibey Barajında biriken sediment miktarını hesaplamak ve elde edilen sonuçlar doğrultusunda alınması gereken önlemleri belirlemek amaçlanmıştır. Bu doğrultuda kullanılan Alibey Barajının 1978 yılına ait hidrografik haritasının hata vermesi nedeniyle 2007 yılında yersel yöntemlerle üretilen hidrografik harita ile karşılaştırma yapılamamış ve bu nedenle diğer arazi çalışma ve gözlemlerinden yararlanılmaya çalışılarak çeşitli değerlendirmeler yapılmıştır. Çalışma sonucunda ise baraj zemininin ortalarından başlayarak krete doğru yaklaşık 10 cm siltasyon olduğu sonucuna varılmış ve alınması gereken önlemler ifade edilmiştir.

Haregeweyn ve ark. (2012) tarafından Kuzeybatı Etiyopya'da yer alan Angereb Barajında yapılan çalışmada baraj sedimentasyonunun değerlendirilmesi ve benzer bölgelerdeki barajların daha iyi planlanması ve yönetilmesi için katkıda bulunacak stratejiler önerilmesi amaçlanmıştır. Bu doğrultuda baraj rezervuarının yüzey alanı ve her bir metrelik yükseklik farkındaki kapasite, 2005 ve 2007 yıllarındaki batimetrik araştırmalarla toplanan nokta (x, y, z) verilerine dayanılarak oluşturulmuş ve 1997-2005, 1997-2007, 2005-2007 yılları arasındaki rezervuar kapasite kaybı ile sediment birikimi hesaplanmıştır. Çalışma sonucunda ise 1997-2005, 1997-2007 ve 2005-2007 yılları arasındaki yıllık toplam kapasite kaybı sırasıyla %4.02, %3.16 ve %3.03 olarak hesaplanmış ve sediment birikiminin çoğunun ölü hacim seviyesinin altında gerçekleştiği gözlemlenmiştir.

Dinçsoy (2013) tarafından yapılan çalışmada Türkiye'nin su ve toprak kaynakları ile erozyon ve rusubat konularından bahsedilerek yan derelerde erozyon ve rusubat kontrolüne yönelik alınması gereken önlemler teknik detaylara girilmeden açıklanmış ve ülkemizde elli beş yıldan fazla bir süredir yan derelerde yapılan ıslah çalışmaları görsel olarak resimlerle ve örnek projelerle desteklenerek tanıtılmaya çalışılmıştır. Çalışma sonucunda yan derelerde erozyon ve rusubat kontrolüne yönelik alınabilecek önlemlerin önemi vurgulanarak erozyon ve rusubat kontrolü konusunda arazi tecrübesi yeterli teknik elemanların yetiştirilmesi gerektiği ifade edilmiştir.

Yalçın ve Uludağ (2013), 2006 ve 2012 yılları arasında Türkiye akarsularında yapılan süspanse sediment gözlemlerini ve bu konu ile ilgili yapılan hesaplamaların nasıl yapıldığını detaylı bir şekilde açıklamışlardır.

Ceylan ve Ekizoglu (2014) tarafından yapılan çalışmada Altınapa Barajının topografik ve batimetrik verileri karşılaştırılarak, 25 yıllık bir süre içerisinde sedimentasyon sonucu Altınapa Barajının su hacmindeki değişiklikler, iki farklı yıla ait hidrografik haritaların sayısal yükseklik modelleri kullanılarak ArcGIS yazılımı yardımıyla incelenmiştir. Sonuç olarak 1984 ve 2009 yılları arasında geçen 25 yıllık sürede, baraj depolama kapasitesinin $4.280.400 \text{ m}^3$ ve baraj kapasitesinin ortalama olarak $171.200 \text{ m}^3/\text{yıl}$ azaldığı görülmüştür. Ayrıca yapılan analizler sonucunda ortalama sediment kalınlığı da 0.82 m olarak hesaplanmıştır.

Fakioğlu (2014) tarafından yapılan çalışmada Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü bünyesinde kurulmuş olan Harita Şube Müdürlüğü'nce üretilen haritalardan bahsedilerek özellikle hidrografik harita yapımı ve çalışmaları üzerinde durulmuştur. Bugüne kadar üretilen hidrografik haritaların hangi aletler kullanılarak üretildiğinden bahsedilerek hidrografik haritası üretilen baraj ve göllerin sayıları ifade edilmiştir.

Ardıç (2015) tarafından Osmaniye ili Sumbas ilçesi sınırları içerisinde bulunan Kesiksuyu (Mehmetli) Barajının 1963 ve 2007 yıllarına ait hidrografik haritaları kullanılarak elde edilen enkesitler, NetCad yazılımı yardımıyla ortalama sonlu alan yöntemi ile hesaplanarak su toplama havzasında oluşan sediment birikiminin zamansal değişimi tespit edilmiş ve geçen 44 yıllık zaman diliminde baraj depolama kapasitesinin %17.20 oranında bir hacim kaybına uğradığı görülmüştür. Ayrıca 1963 ve 2007 yıllarına ait hidrografik haritalar ArcGIS yazılımına aktarılarak hidrografik haritaların sayısal yükseklik modelleri renklendirilmiş ve iki zaman arasında gerçekleşen değişimin kolaylıkla analiz edilmesi sağlanmıştır.

Aykut ve Alkan (2016) tarafından hidrografik ölçme standartları ile ilgili yapılan çalışmada güncel uluslararası hidrografik ölçme standartları incelenerek Türkiye için bazı öneriler verilmiştir. Yapılan çalışmanın sonucunda hidrografik ölçmeler alanında yeterli bilgiye sahip teknik insanlar yetiştirilmesi ve genelde mühendislik ölçmeleri, özeldense hidrografik ölçmelerle ilgili standartlar hazırlanarak uygulamaya konulması gerektiğini vurgulamışlardır.

Zirek ve Sunar (2016), Anamur-KKTC içme suyu boru hattı boyunca, sığ suda ($<100\text{m}$) çok bimli iskandil ile derinlik ölçümleri yaparak kalibrasyonun gerekliliği ve ölçüm sonuçlarına olan etkilerini incelemişlerdir. Bu doğrultuda yapılan pitch, roll ve yaw testleri sonucunda derece cinsinden elde edilen veriler, patch testi sonuçları final verisi olarak sisteme girilmiştir. Elde edilen sonuçlar ise iyi bir kurulumun patch testi sonucunda elde edilen düzeltmelerin de düşük olmasını sağladığını göstermiştir. Bunun

yanında patch test verilerinin toplanacağı alanın, çalışma alanıyla derinlik ve yüzey olarak benzer olması, düzeltme verilerinin gerçekçiliğini arttırmıştır. Patch testinin ölçümler tamamlandıktan sonra yapılması da olasıdır, fakat önce yapılması ölçüm esnasında olası diğer hataların fark edilip düzeltilmesine olanak sağlamıştır.

Güvel ve ark. (2017) tarafından Berdan Barajında yapılan çalışmada coğrafi bilgi sistemleri yardımıyla barajda biriken sediment miktarının belirlenmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda Berdan Barajının 1961 ve 2003 yıllarına ait hidrografik haritaları kullanılarak ArcGIS yazılımı yardımıyla karşılaştırmalar yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar ise 1961 ve 2003 yılları arasında geçen sürede maksimum su seviyesindeki rezervuar kapasitesinde %4, normal su seviyesindeki rezervuar kapasitesinde %12 ve minimum su seviyesindeki rezervuar kapasitesinde %32 oranında bir kayıp olduğunu göstermiştir.

Selek ve Pınarlık (2019), Yeşilirmak Havzası Abdal akarsuyu üzerine inşa edilmiş Çakmak Barajında yaptıkları sediment birikiminin araştırılması çalışmasında Çakmak Barajının iki farklı yıla ait hidrografik haritalarından yararlanarak NetCad yazılımı yardımıyla belirli aralıklarla boykesitlerini almış ve taban profillerini çizmişlerdir. Çizilen rezervuar taban profillerinden yararlanarak da sediment etkisiyle oluşan kot farklarını tespit etmişlerdir. Ayrıca kot-alan-hacim yöntemi kullanarak 1988 ve 2014 yılları arasında geçen sürede barajın faydalı ömrünü belirleyen ölü hacminin yaklaşık olarak %30'unun sediment ile dolduğunu gözlemlemişlerdir.

KontROLSÜZ su taşkınlarıyla veya akarsular tarafından taşınan katı maddeler, baraj, göl, gölet gibi sularla kaplı alanları olumsuz yönde etkileyen faktörlerin başında gelmekte ve taşınan katı maddelerin çökmesiyle de barajlarda sediment birikimi oluşmaktadır. Sediment birikimi nedeniyle barajların depolama kapasitelerinde bir kayıp oluşmakta ve oluşan bu kayıpta su depolama yapılarındaki kapasitenin azalmasına neden olmanın yanı sıra taşkın riskini artırma, içme ve kullanma suyunun arıtma giderlerini artırma ve su alma yapılarının girişini tıkama gibi pek çok olumsuz sonuç doğurmaktadır. Bu nedenle baraj depolama kapasitesini koruma yöntemlerine gereksinim duyulmuştur. Brown (1943), Goldsmith ve Hildyard (1984), Brabben (1988), Durgunoglu ve Singh (1993), Wen Shen ve Lai (1996), ICOLD (2009), Boroujeni (2012) tarafından yapılan çalışmalar da baraj depolama kapasitesini koruma yöntemleri ile ilgili konularda sonraki çalışmalara fayda sağlamıştır.

3. HİDROGRAFİK ÖLÇMELER

Genel bir ifadeyle hidrografi, “yeryüzünün sularla kaplı kısmının ve bunlara ait kıyı bilgilerinin fiziksel özelliklerinin tanımlanması ve ölçümü ile ilgili uygulamalı bir bilim dalıdır” (Haskins, 1986). Bir başka tanıma göre de “deniz yatağının doğasını ve yapısını saptamak için gerekli parametreleri bulma ve ölçme bilimidir” (Doğan, 1987).

Hidrografik ölçmeler, sularla kaplı ortamlarda yapılan jeodezik (konum belirleme, derinlik ölçümü vb.) ve oşinografik ölçme çalışmalarını kapsamaktadır. Karasal topografik haritalara benzer şekilde sularla kaplı ortamların dip topografyasının bütün özelliklerinin, doğal ve yapay görünümünün belirlenmesi de hidrografik ölçmelerin amacını oluşturmaktadır.

Sualtı dip topografyasını belirlemek amacıyla yapılan bu çalışmalar, su üzerindeki bir ölçme taşıtından yapılmakta ve yapılan çalışmalarla bir noktanın, herhangi bir koordinat sistemindeki yatay konumu ile ortalama deniz (su) seviyesine göre derinliği ölçülmektedir. Sularla kaplı ortamlarda yapılan bu ölçme yöntemi, konum ve derinlik ölçmeleri olmak üzere iki önemli kısımdan oluşmaktadır. Hidrografik ölçmelerle ilgili çalışmalar sırasında uygulanan ve birbirinden bağımsız olan bu iki değişik ölçme yönteminden konum belirleme yöntemleri, karada yapılan çalışmalara benzerken; derinlik belirleme yöntemleri ise iskandille yapılmaktadır.

Dünya yüzeyinin dörtte üçünü su ortamlarının oluşturduğu, ülkemizin ise üç tarafının denizlerle çevrili olup bunun yanı sıra irili ufaklı yüzlerce gölleri, göletleri ve barajları olduğu düşünülürse hidrografik ölçmelerin ne kadar önemli bir alan olduğu ve uğraşı alanının ne kadar büyük olduğu ortaya çıkar. Son yıllarda denizlerin gerek beslenme yönünden, gerekse petrol, doğalgaz ve madenler yönünden çok zengin olduğunun anlaşılması, deniz ticaretinin hızlı gelişimi, deniz taşımacılığının çok daha ekonomik olduğunun anlaşılması, sualtı ve su kıyısına yapılacak teknik hizmetlerin planlanması, akarsuların ve göllerin modern bir şekilde işletilebilmesi için hidrografik harita ve planlarının yapılmasının gerekli olması gibi nedenler deniz bilimlerinin ve dolayısıyla hidrografinin önemini büyük ölçüde arttırmış ve bu doğrultuda da hidrografik ölçmelerin gelişmesinin zorunlu nedenlerini oluşturmuşlardır.

12. yüzyılda Arapların pusulayı icat etmeleri, insanlığın güvenle denizlere açılmasına ve bu alandaki bilgilerin çoğalmasına yardımcı olmuştur. Mevcut bilgilere göre ilk deniz haritaları 13. yüzyılda İtalya kıyılarında pusula ve gemi yolu ölçülerine göre yapılmış olan “PORTOLANE=Pusula Haritası” adı verilen haritalardır. “Doğrultu

ve Uzaklık ölçmesi” ilkesine göre yapılmış olan Portolane haritaları, bazı sığ alanlar dışında su derinliklerini göstermediği halde dönemin denizcileri için önemli birer yol gösterici olmuşlardır. 15. yüzyılın başlarında Vasco da Gamma, Macellan ve Kristof Kolomb gibi tanınmış denizcilerin seyahatleri esnasında elde ettikleri bilgiler ve bu bilgiler yardımıyla çizdikleri basit krokiler de denizlerle ilgili ilk önemli bilgileri oluşturmuştur (Erkaya, 1995b). Piri Reis tarafından 16. yüzyılın başlarında yapılan deniz haritaları ise, geliştirilmiş Portolanelere iyi birer örnek olmasının yanı sıra limanlar ve kıyılarla ilgili detaylı bilgiler verirken sualtı tabanıyla ilgili herhangi bir bilgi vermemiştir. Zaman içerisinde geliştirilerek yapılmaya devam eden deniz haritaları 17. yüzyıla kadar kıyıya yakın sularda gemilerin güvenli seyrini sağlamak amacıyla genellikle özel kurum veya kişiler tarafından yapılmıştır.

Hidrografik amaçlar için su derinliklerinin ölçülmesine ne zaman başlandığı kesin olarak bilinmemesine karşın, ilk ölçmelerde lata ve iplerin kullanıldığı, 17. yüzyıldan sonra zincir ve tellerden yararlanıldığı bilinmektedir. Kıyıya yakın derinliklerin 18. yüzyılda ölçülebilmesine rağmen, kıyıdan uzak su derinliklerinin ölçülebilmesi ancak 19. yüzyılın ortalarında Brooke tarafından geliştirilen telli mekanik iskandil aleti ile (ağırlık atarak iskandil yöntemi) mümkün olmuştur. 20.yüzyılın başlarında derinlik ölçme işlemi ile birlikte su sıcaklığı, tuzluluk vs. gibi oşinografik bilgilerin toplanması amacıyla kullanılmakta olan klasik derinlik ölçme yöntemlerine Hidrostatik ve Termometrik iskandil aletleri de eklenmiştir (Algül, 1987; Erkaya, 1995b).

20. yüzyıl ve sonrasında oşinografik ve hidrografik konularda bilgi edinmek amacıyla yapılan seyahatler fazlasıyla önemsenmeye başlanmıştır. 1860’lı yıllarda kıtalar arası telgraf kablolarının okyanus altından geçirilmesi düşüncesiyle ilk kez derin sularda ileri teknik bir hidrografik çalışma yapılmıştır. 1872-1876 yılları arasında da İngilizler tarafından gerçekleştirilen ve deniz seyahatlerinin en önemlisi olan “Atlas Okyanusu, Büyük Okyanus ve Güney denizlerinin dolaşıldığı Challenger Seferi” ile hidrografik ve oşinografik konularda önemli bilgiler edinilmiş, derinlik ve konum ölçmeleriyle ilgili de yeni aletler ve yöntemler geliştirilmiştir (Erkaya, 1995b).

Derinlik ölçmelerinde ses enerjisinin kullanılabilmesi, 1807 yılında keşfedilmiş olsa da bu tekniğe ilişkin ilk patent 1907 yılında Amerikalı A.F.Ells’e verilmiştir. İlk akustik derinlik ölçme aleti de (Ekolot-Echo Sounder) 1912 yılında A. Behm tarafından yapılmış ve sağladığı ölçme kolaylığı ve hızı ile günümüze kadar sürekli geliştirilmiştir (Algül, 1987). Hidrografik çalışmalarda ses sinyallerinin kullanılmasına ise 1915 yılında başlanmıştır. 1920’li yılların sonunda pratik bir akustik derinlik ölçme aleti Kelvin-

Hughes tarafından geliştirilmiştir. Bunu 1927 yılında ABD tarafından geliştirilen başka bir aletin yapımı izlemiş, alete, "SOund NAVigation and Ranging" ifadesinin baş harfleri alınarak SONAR adı verilmiştir. 1950'li yıllarda ise, transdüser teknolojisindeki ilerlemeler ve zamanın çok daha hassas ölçülebilmesi sonucu presizyonlu olarak derinlik ölçmek ve kaydetmek mümkün olmuştur (Alkan, 1998).

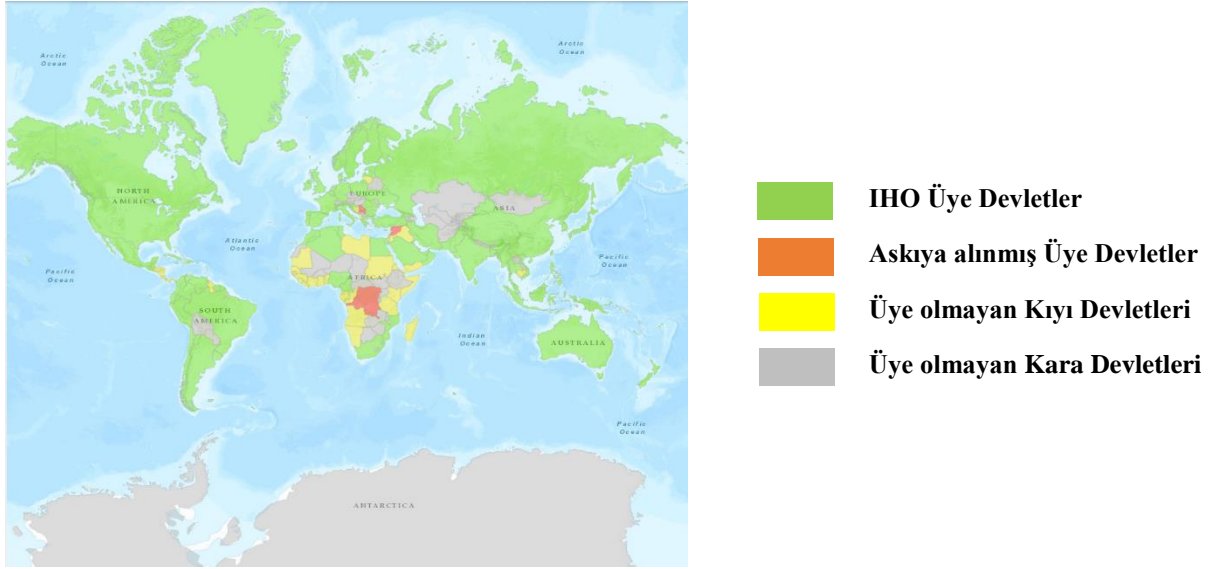
3.1. Hidrografik Ölçmelerin Temsilcileri

Hidrografi alanında uluslararası işbirliği 1889 yılında Washington'da yapılan ilk Uluslararası Denizcilik Konferansı'nın ardından başlamıştır. 1919 yılında Hidrografi Konferansı için Londra'da bir araya gelen 24 ülke, kalıcı bir kurumun oluşturulması gerektiğine karar vermiştir. Böylece 1921 yılında 18 üye devletle Monaco'da kurulan Uluslararası Hidrografi Bürosu (IHB), 1970 yılında üye ülkeler tarafından ismi Uluslararası Hidrografi Örgütü (IHO) olarak değiştirilmek suretiyle yeniden organize olmuştur (IHO, 2019).

IHO'nun görevi, hidrografi bilimleri ve oşinografi teknikleri geliştirmek, hidrografik ölçmelerin yapılması için güvenilir ve etkili yöntemler tespit ve kabul etmek, deniz harita ve dokümanlarında standardizasyonu sağlamak ve hidrografi dairelerinin faaliyetlerini koordine etmektir (Aydın ve ark., 2005). IHO bünyesinde kurulmuş olan birden fazla çalışma grubu, komite ve komisyon olup IHO Hidrografik Ölçme Standartları da, Hidrografik Servisler ve Standartlar Komitesi (HSSC) ve çalışma grupları tarafından oluşturulmaktadır.

IHO'nun bugün hali hazırda 85 adet üyesi olup, bu sayının üye olma sürecinde olanlarında katılmasıyla artması beklenmektedir (Şekil 3.1). Türkiye ise bu örgüte 1969 yılında üye olmuş ve IHO faaliyetlerinde Türkiye'yi temsil etme yetkisi, Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'na (SHOD) verilmiştir.

1968 yılına kadar hidrografinin uluslararası platformlarda tek temsilcisi "IHO" iken 1968 yılında Londra'da yapılan 12. Kongrede hidrografi, Uluslararası Haritacılar Federasyonu (FIG) bünyesine alınmış ve sorunları jeodezi gibi geniş bir çevrede görüşülmeye başlanmıştır. Bugün FIG'ın 4.komisyonu "Hidrografik Ölçmeler" konusunda faaliyet göstermektedir (Algül, 1987). Bu iki temsilcinin dışında hidrografiyi ilgilendiren bazı sorunlar da zaman zaman uluslararası konferanslarda ve uluslararası jeodezi-jeofizik birliğinde görüşülmektedir.



Şekil 3.1. IHO üyelikleri (IHO, 2019)

Ülkemizde son yıllarda kendini daha fazla göstermeye başlayan bir bilim dalı olan hidrografinin gelişmesi için üniversitelerin Deniz Bilimleri ve Harita/Geomatik Mühendisliği öğretim programlarında hidrografi dersleri okutulmaya başlanmıştır. Ülkemizde hidrografik ölçmelerle ilgili çalışmalar yapan kamu kurumları ve özel kurumlar, bu alandaki çalışmalarını farklı ölçme yöntemleri ve aletleri kullanarak gerçekleştirmektedir. Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı (SHOD), ülkemizde hidrografik ölçmelerle ilgilenen kamu kurumlarının başında gelmektedir. Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'na bağlı bir kuruluş olarak faaliyetlerini sürdürmekte olan SHOD, 1909 yılında "Deniz mesahaları ve seyir bürosu" adıyla kurulmuş ve yıllar içinde yeniden organize olarak 1972 yılında bugünkü adını almıştır (SHOD, 2019). SHOD, Deniz Kuvvetleri Komutanlığı'nın seyir, hidrografi ve oşinografi hizmetlerini karşılamak amacıyla bu alanlardaki kanunlar ve talimatlar uyarınca tüm denizcilere sorumluluğundaki deniz alanında hizmet vermekte, ulusal ve uluslararası organizasyonlarda ve IHO faaliyetlerinde Türkiye'yi temsil etmektedir. Bu görevlerinin yanı sıra Türkiye'de deniz haritalarının üretim ve yayınlama sorumluluğu da 1738 sayılı Seyir ve Hidrografi Hizmetleri Kanunu ile Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı'na verilmiştir. SHOD' un yanı sıra hidrografik ölçmelerle ilgili çalışmalarda bulunan bir başka kamu kurumu da Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (DSİ) 'dür. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü, 6200 sayılı kanunla 1953 yılında kurulmuş olup ülkemizdeki tüm su kaynaklarının planlanması, yönetimi, geliştirilmesi ve işletilmesinden sorumlu en yetkili kuruluştur (DSİ, 2019). Bu kuruluş, amacı doğrultusunda su kaynaklarının fazla

olduğu ülkemizde, bu kaynaklardan en uygun ve en verimli şekilde faydalanmak için bu kaynakların miktarlarının bilinmesi gerektiğini düşünmektedir. Bu nedenle barajlarımızda ve göllerimizdeki su ve erozyon miktarını belirlemenin yolunun da sularla kaplı bu alanların gerekli görülen periyotlarda hidrografik haritalarının üretilmesinden geçmekte olduğunu söylemektedir. Bu amaç doğrultusunda da barajlarımızda yapılan hidrografik çalışmaların sonuçlarını gözlemlemek ve elde edilen sonuçlara göre gerekli önlemleri alarak, biriken sediment miktarını ve dağılımını belirlemek amacı ile hidrografik harita üretmektedir. Hidrografik ölçmelerle ilgili çalışmalar yapan ve bu konuda ilk sıralarda yer alan SHOD ve DSI'nin dışında Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (MTA) de deniz araştırmaları kapsamında hidrografi ve oşinografi konuları ile ilgilenmektedir. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2804 sayılı kanunla 1935 yılında kurulmuş olup madencilik sektörünün gelişmesi için gerekli her türlü bilgiyi üreten ve altyapı hizmetlerini sunan araştırmacı bir kuruluştur (MTA, 2019). MTA tarafından yapılan deniz araştırmalarıyla ilgili çalışmalar kapsamında, deniz yetki alanları başta olmak üzere tüm kıyı ötesi alanların jeolojik yapısının araştırılması, yeraltı kaynaklarının ortaya çıkarılması, kıyı ve kıyı ötesi alanlarla ilgili bilgi ve bilimsel altyapı hizmetlerinin üretilmesi, çevre koruma bilinciyle modern teknolojilerden yararlanılarak üretilen bilimsel altyapı bilgilerinin sağlıklı ve hızlı bir şekilde paylaşımı amaçlanmaktadır. Ayrıca liman haritalarının çıkarılmasında denizdibi tarama çalışmaları da Ulaştırma Bakanlığı tarafından yapılmaktadır.

3.2. Hidrografik Ölçmelerde Esas Alınan Doğruluk Standartları

Dünyada teknolojinin gelişmesiyle birlikte hidrografi alanında da birbirinden farklı kabiliyet ve doğruluklara sahip yeni aletler ve donanımlar üretilmekte, yeni yöntemler geliştirilmektedir. Böylece yapılan çalışmaların planlanma aşamasında çalışmayı yapacak kişiler tarafından farklı işlev ve doğruluktaki yöntem ve aletler seçilebilmektedir. Bunun sonucunda ise yapılan benzer nitelikli çalışmalar birbirinden farklı duyarlılıklara sahip olabileceğinden bu farklılıkların mühendislik ölçme standartları kullanılarak, kabul edilebilir sınırlar içerisinde kalmaları sağlanmalıdır (Aykut ve Alkan, 2016). Bu amaç doğrultusunda hidrografi alanında da standartlar oluşturulmuştur. Bu standartların başında ise Uluslararası Hidrografi Örgütü (IHO) tarafından oluşturulan "IHO Hidrografik Ölçme Standartları (S-44)" gelmektedir. IHO Hidrografik Ölçme Standartları, Hidrografik Servisler ve Standartlar Komitesi (HSSC)

ve çalışma grupları tarafından oluşturulmaktadır. Hidrografik ölçmelerde uyulması tavsiye edilen bu standartlar IHO tarafından “Özel Yayın No:44” adı altında güncellemeler yapılarak IHO ’nun kuruluşundan bugüne kadar 5 baskı halinde sırasıyla 1968, 1982, 1987, 1998 ve 2008 yıllarında yayınlanmıştır. 2008 tarihinde 5. Baskı olarak yayınlanan IHO Hidrografik Ölçme Standartları ise günümüzde halen kullanılmaktadır (Çizelge 3.1).

Çizelge 3.1. Hidrografik ölçmeler için öngörülen minimum standartlar (IHO, 2008)

DERECE	Özel	1a	1b	2
Saha Örnekleri	Limanlar, yanaşma yerleri ve omurga altı kleransının kritik olduğu bölgeler	Limanlar, tavsiye edilen kanallar ve derinliği 100 m’ye kadar olan bazı kıyılar	Özel Derece ve 1a Derece ile kapsanmamış veya derinliği 100 m’ye kadar olan alanlar	Özel Derece, 1a ve 1b Derece ile kapsanmamış, derinliği 100 m’den fazla olan denizler
Konum Doğruluğu (%95 güvenilirlik)	2 m	5 m + derinliğin %5’i	5 m + derinliğin %5’i	20 m + derinliğin %10’u
İndirgenmiş Derinlikler için Derinlik Doğruluğu (%95 güvenilirlik)	a = 0.25 m b = 0.0075	a = 0.5 m b = 0.013	a = 0.5 m b = 0.013	a = 1.0 m b = 0.023
%100 Dip Araştırması	Zorunlu	Zorunlu	Zorunlu Değil	Zorunlu Değil
Sistem Tespit Kabiliyeti	1 m ³ ’ten büyük cisimler	40 m’den sığ derinliklerde 2 m ³ ’ten; 40 m’den sonra derinliğin %10’undan büyük engeller	Uygulanmaz	Uygulanmaz
Maksimum Hat Aralığı	%100 dip kaplaması zorunlu olduğu için uygulanmaz	%100 dip kaplaması zorunlu olduğu için uygulanmaz	Ortalama derinliğin 3 katı veya 25 m	Ortalama derinliğin 4 katı

IHO tarafından hazırlanan hidrografik ölçmeler için öngörülen minimum standartlardan yararlanarak derinlik doğruluğu, Çizelge 3.1’de verilmiş olan a ve b değerlerinden faydalanılarak (3.1) bağıntısı yardımıyla elde edilmektedir.

$$m_d = \pm \sqrt{a^2 + (b \times d)^2} \quad (3.1)$$

Bu bağıntıda,

a: derinliğe bağlı olmayan hata bileşeni

b: derinliğe bağlı hata bileşeni katsayısı

d: derinlik

bxd: derinliğe bağlı hataların toplamı

m_d: %95 güvenirlilik seviyesine uygun derinlik doğruluğu

olarak ifade edilmektedir.

IHO standartlarına ilave olarak bazı ülkelerin kendilerine özgü ve daha katı hidrografik ölçme standartları da bulunmaktadır. Örneğin; Amerika'da Amerika Birleşik Devletleri Mühendis Ordu Piyadeleri (USACE) standartları, Yeni Zelanda'da Yeni Zelanda Hidrografi Otoritesinin hazırladığı LINZ standartları, İsveç'te ve bazı Baltık ülkelerinde kullanılan İsveç Denizcilik Dairesi (SMA) standartları ve Kanada'da Kanada Hidrografi Servisi (CHS) standartları vb. ölçme standartları da kullanılmaktadır. Ülkemizde ise hidrografik ölçmelerle ilgili çalışmalar kamu kurumları ve özel kurumlar tarafından farklı ölçme yöntemleri ve aletleri kullanılarak farklı hassasiyet ve güvenilirlikte yapılmaktadır.

Hidrografik ölçmelerle ilgili genel standartların yanı sıra hidrografik ölçmelerin ülkemizdeki temsilcilerinin göz önünde bulundurduğu standartlara şöyle açıklanabilir: Türkiye'de deniz haritalarının üretim ve yayınlama sorumluluğu kendisine verilen Seyir Hidrografi ve Oşinografi Dairesi Başkanlığı, hidrografik ölçüm ve harita üretim çalışmalarını Uluslararası Hidrografi Örgütünün (IHO) öngördüğü S44/5 standartları çerçevesinde yapmaktadır. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü ise DSİ bünyesinde kurulmuş olan Harita Şube Müdürlüğü'nün görevleri arasında yer alan hidrografik harita üretimini, Büyük Ölçekli Harita ve Harita Bilgileri Üretim Yönetmeliği ve DSİ Harita ve Harita Bilgileri Üretimi Genel Teknik Şartnamesi esaslarına göre yapmaktadır (Fakıoğlu, 2014).

3.3. Hidrografik Ölçmelerin Uygulama Alanları

Geçmişten günümüze kadar insan ve yük taşımacılığında kullanılan gemilerin güvenli bir şekilde seyrini tamamlanması için denizlerin derinliklerinin ölçülmesi gerekli olmuştur. Bu sebeple hidrografik ölçmeler ilk olarak seyir alanında uygulanmıştır. Hidrografi bilim dalının yıllar içinde gelişmesiyle birlikte de hidrografik ölçmeler pek çok bilim dalını bir araya getirmiş ve uygulama alanları açısından da farklı bilim dallarına hizmet eden bir uğraş alanı haline gelmiştir.

Çizelge 3.2. Hidrografik ölçmelerin uygulama alanları (Alkan, 1998; Aykut, 2009)

Hidrografik Harita Yapımı	Bilimsel Uygulamalar ve Araştırmalar	Kıyı Mühendisliği Uygulamaları
<ul style="list-style-type: none"> Her tür amaç için hidrografik harita yapımı Seyir haritalarının çizilmesi Petrol vb. gibi platformların yerleştirilmesi Denizaltı kablo ve boru hatlarının geçirilmesi (doğalgaz hattı vb.) Araştırma ve kurtarma çalışmaları, Aplikasyon, deformasyon ya da deplasman ölçmeleri Askeri uygulamalar 	<ul style="list-style-type: none"> Ortalama deniz seviyesinin belirlenmesi Gel-git etkisinin araştırılması ve büyüklüğünün tespiti, akıntıların yön ve şiddetinin belirlenmesi, dalga ölçümleri, tsunami (deniz depremleri) etkisi vb. Okyanus dibine ait çalışmalar, deniz tabanı tektoniğinin belirlenmesi vb. Jeofizik uygulamaları Deniz suyunun fiziksel özelliklerinin belirlenmesi Kıyı, göl ve baraj gibi ortamlardaki dolma miktarlarının ve hızlarının belirlenmesi Gravite, sismik ölçmeler Sediment yapısının belirlenmesi vb. Jeolojik çalışmalar, Sualtı kaynaklarının aranması ve işletmesi için yapılan ölçmeler 	<ul style="list-style-type: none"> Limanların kumlanmaya karşı korunması Kıyı erozyonunun belirlenmesi Liman yapımında taş dolgu hacminin hesaplanması Tarama çalışmaları Deniz deşarj projelerinin uygulanması

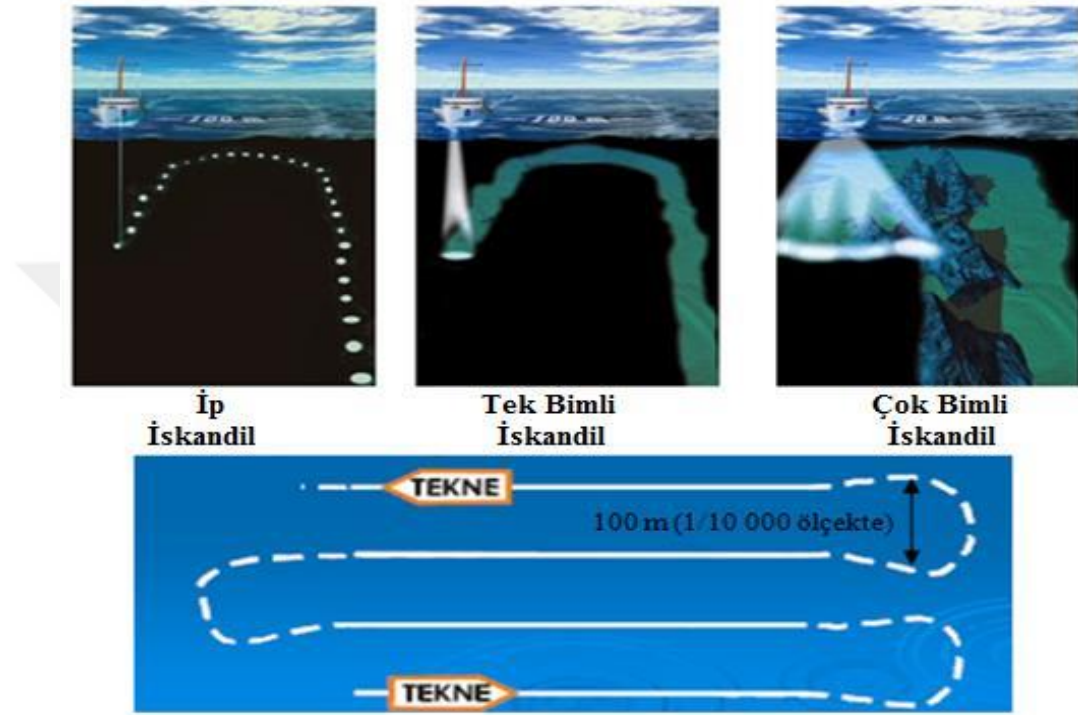
3.4. Hidrografik Ölçmelerde Kullanılan Modern Teknikler

3.4.1. Derinlik belirleme yöntemleri

Hidrografik çalışmalarda iskandil olarak adlandırılan derinlik ölçmeleri, sualtı dip 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. Derinlikleri ölçülen noktalara da iskandil noktaları denir. Derinlik ölçmeleri, kullanılan alete göre ya bir alet tarafından otomatik olarak gerçekleştirilir ya da bir operatör tarafından bizzat yapılır.

Derinlik ölçme işlemiyle sualtı noktalarının düşey doğrultudaki konumu belirlendiğinden derinlik ölçmeleri, klasik haritacılıktaki nivelman gibi düşünülebilir. Fakat kullanılan yöntemler ve donanımlar, yersel ölçmelerde kullanılan yöntemler ve donanımlardan tamamıyla farklıdır. Hidrografik ölçmelerde, sualtı tabanını doğrudan görmek olanaksız olduğundan önceden belirlenen doğrultular üzerinde ve çalışma

ölçeğine bağlı olarak belirlenen aralıklarla ölçmeler yapılır (Şekil 3.2) (Erener, 2002). Ayrıca belirlenen ölçüm doğrultularına dik olacak şekilde en az bir adet kontrol hattı da alınmalıdır. Bu hat farklı zamanlarda ölçülen hatlar arasında ölçme sisteminde bir farklılık olup olmadığını kontrol eder. Kontrol hattı boyunca birbirine yakın olan noktalar hemen hemen aynı kot değerinde olmalıdır.



Şekil 3.2. Hidrografik ölçüm hatları (Erkaya, 1995b; İnal ve ark., 2015)

Hidrografik ölçmeler sonucunda elde edilen derinlik değerlerine, haritaya aktarılmadan önce su ortamına, alete ve yonteme bağlı olarak bazı düzeltmeler getirilir ve sonrasında ortak bir su seviyesine indirgenir.

Tarihsel gelişim veya alet yapılarının bütünlüğü açısından derinlik belirleme yöntemleri, “klasik ve modern yöntemler” olmak üzere iki gruba ayrılır. Bu yöntemlerden 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, 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). Hidrografik ölçmeler sonucunda elde edilen derinlik değerleri, uygulanan

yönteme ve uygulanan yöntemle birlikte kullanılan alete göre de ya doğrudan ya da dolaylı olarak elde edilmektedir. Bu doğrultuda derinlik belirleme yöntemlerinden klasik yöntemler doğrudan sonuç veren yöntemler olarak ifade edilirken modern yöntemler de dolaylı sonuç veren yöntemler olarak ifade edilmektedir.

3.4.1.1. Lazer (Lidar) iskandil yöntemi

Yöntemin temel ilkesi, su yüzeyinde bulunan lazer kaynağından düşey doğrultuda gönderilen ışık ışınlarının sualtı tabanına çarpıp, geri dönerek kaynağa ulaşmaya kadar geçen seyir süresinin ölçülmesi esasına dayanır (Alkan, 1998). Gönderilen ışık dalgalarının su içindeki yayılma hızı “ c_s ” bilindiğinden, ışığın t seyir süresi ölçülerek su derinliği, (3.2) eşitliğindeki hız-zaman bağıntısı ile elde edilir.

$$H = \frac{1}{2} t c_s \quad (3.2)$$

Işık dalgaları su içinde kuvvetli dağılma ve yutulma etkisine uğradığından dalga boyları 0.48-0.55 μm arasındaki lazer ışınları kullanılır (Özgen ve Algül, 1977). Lazer ışınları ile derinlik ölçme yöntemine “Lidar iskandili” de denilmektedir.

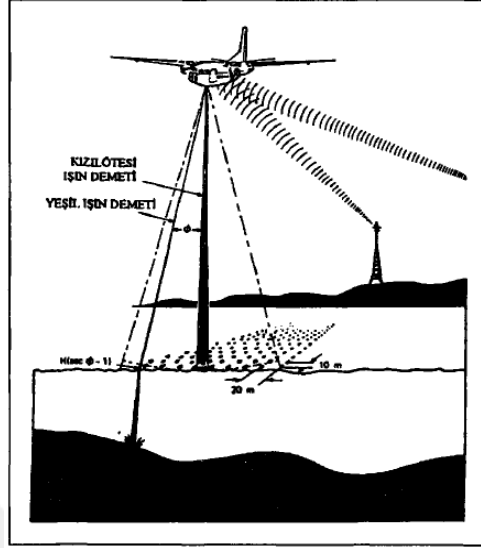
İlk olarak 1969 yılında uygulanan bu yöntem uçak yardımıyla Ontario gölünde yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Fakat uçaktan yapılan bu ölçmelerde, ışık ışınlarının su yüzeyinden olumsuz yönde etkilendiği görüldüğünden dolayı, ölçmelerin bot yardımıyla yapılması gerekli olmuştur.

Lazer (Lidar) iskandilinin hassasiyetini, ilk olarak ışığın seyir süresinin hassas bir şekilde belirlenmesi ve ışığın su içindeki yayılma hızı etkilemektedir. Bunların dışında sualtı tabanından dönen ışık ve alıcının çözümüleme yeteneği de hassasiyeti etkileyen bir diğer faktördür.

3.4.1.1.1. Airborne lazer iskandil yöntemi

Temel ilkesi lazer (lidar) iskandili ile aynı olmakla birlikte, sadece uygulama yapılan taşıtta değişiklik söz konusudur. Airborne lazer iskandil yönteminde helikopter veya uçaktan gönderilen, dalga boyları 0.48-0.55 μm arasında olan kırmızı ve yeşil lazer ışınlarından yararlanılmaktadır. Gönderilen kırmızı lazer ışını su yüzeyinden, yeşil lazer

işını ise sualtı tabanından yansımaktadır (Şekil 3.3). Bu iki yansıma zamanı arasındaki zaman farkı ölçülerek de yeşil ışının su yüzeyinden tabana ulaştığı ve döndüğü zamanla karşılaştırılmaktadır (Aykut, 2009).



Şekil 3.3. Airborne lazer iskandil yöntemi ile derinlik ölçümü (Alkan, 1998)

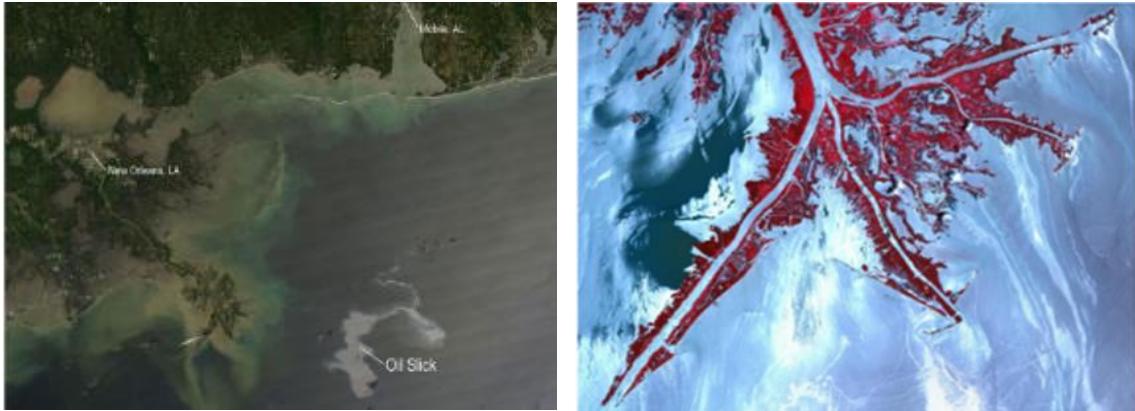
Bu yöntem, suyun netliğine göre sığ sulara (40-50 metreye kadar olan), kıyı kesimlerde ve temiz sulara uygulanmakta olup lazer ışınları kullanıldığından dolayı da uygulanabildiği alanlarda hızlı ve detaylı ölçmeler yapılabilmesine imkan sağlamaktadır. Airborne lazer ile ölçme yönteminde, Lazer tarayıcı (LIDAR), inersiyal konum belirleme sistemi (INS) ve global konum belirleme sistemi (GPS) olmak üzere üç farklı sistem bütünleşik olarak kullanılmaktadır. Küçük bir uçak veya helikoptere monte edilen bu sistemler yardımıyla, uçuş yolunun altında kalan alanın sayısal topografik haritasının hızla üretilmesi mümkün olmaktadır.

Airborne lazer iskandil yönteminde uçuş şartları elverişliyse yirmi dört saat ölçüm yapmak mümkün olup bu yöntem uygulanarak da 1 m veya daha sık aralıklarla üç boyutlu sayısal arazi modeli (SAM) oluşturmak, bir saatlik ölçme sonunda 10,000,000'dan fazla geometrik olarak referanslandırılmış, yüksekliği ve konumu bilinen nokta elde etmek veya kıyı çizgisi gibi 500 km'lik bir koridoru, çalışma sabahında ölçüp ertesi gün ölçme sonuçlarını almak mümkündür (Kalkan ve Alkan, 2005). Bu yöntemle yapılan ölçmelerin doğruluğunu ve verimini ise rüzgâr, bulut ve denizin dalga durumu etkilemektedir. Ortalama 20-30 m arasında derinliğe sahip olan bölgelerde uygulama alanı bulan bu yöntemle ulaşılan doğruluk da ± 20 cm civarındadır.

3.4.1.2. Uzaktan algılama ile iskandil yöntemi

Yeryüzündeki cisimlerin elektromanyetik spektrumunun farklı bölgelerde yansıtıkları veya yaydıkları ışınım farklılık göstermektedir. Bu farklılıklardan yararlanarak da yeryüzündeki cisimler ve su ortamları (sıcaklık, su kalitesi, derinlik) hakkında bilgiler edinilmektedir. Bu amaçlar için de Fransızların SPOT ve Amerikalıların LANDSAT uydularından yararlanılmaktadır (Alkan, 1998).

Su yüzeyinden olan yansıma karakteristikleri yardımıyla sadece su yüzeyi derinliği değil, suyun belirli derinliklerdeki özellikleri hakkında da bilgiler edinilmektedir. Ayrıca kaçak kanalizasyonların varlığı, deniz yüzey sıcaklığı, okyanusların dalga yüksekliğine bağlı olarak ortaya çıkan global çevre etkileri, denizlerdeki petrol kirlenmesi vb. olaylar da uzaktan algılama yöntemiyle tespit edilmektedir. Örneğin; Meksika körfezindeki bir petrol rafinesinde 20 Nisan 2010 yılında yaşanan patlama, dünya üzerinde görülmüş en büyük çevre felaketlerinden birine neden olmuş ve yaşanan felaket sonucunda yaklaşık 5 milyon varil petrol körfeze yayılmıştır. Yaşanan felaketin boyutları uzaktan algılama uyduları sayesinde gözlemlenmiştir (Şekil 3.4) (Kavzaoğlu ve Çölkesen, 2011).



Şekil 3.4. Meksika körfezinde yaşanan petrol sızıntısı felaketi (Kavzaoğlu ve Çölkesen, 2011)

Uzaktan algılama ile derinlik ölçmeleri, su tabanının yansımaya ve su moleküllerinin inceliğine bağlı olarak ancak sığ sular için söz konusudur. Genellikle 0.510-0.565 mikrometre dalga boyları arasında ve 20 m'ye kadar olan derinliklerde algılayıcılar tarafından belirli bir enerji kaydedilebilmektedir. Uzaktan algılama uydularından elde edilen verilerde, atmosferik, geometrik ve radyometrik distorsiyon

vardır. Bu nedenle bu veriler ancak bir dizi işlemde geçirilip modellenerek kullanılabilir. Bu yöntem uygulanarak ulaşılan doğruluk da ± 2 m'dir.

Uzaktan algılama ile iskandil yönteminin diğer modern derinlik ölçme yöntemlerine göre bazı avantajları bulunmaktadır. Bu avantajların en önemli olanı araştırmacıların kolayca girip çalışamayacakları, ölçüm yapamayacakları veyahut tehlikeli yerlerde uygulanabilir olmasıdır. Ayrıca ölçmelerin tek bir hat yerine geniş alanlarda yapılabilir olması da yöntemin olumlu yönlerindedir. Bunların yanı sıra bulanık sular ve su altındaki bitkilerde zaman zaman su derinliğinin doğru olarak belirlenmesini engellediğinden yöntemin olumsuz özellikleri arasında yerini almaktadır.

3.4.1.3. Fotogrametrik iskandil yöntemi

Fotogrametrik yöntemle derinliklerin ölçülebilmesi için hava taşıtımdan çekilen üç boyutlu hava fotoğraflarından yararlanılmaktadır. Gerekli derinlik bilgilerini elde edebilmek için kullanıma sunulan fotogrametrik yöntemler; sığ su dalga izleme hızı, iki farklı ışık dalgasına farklı geçirgenliği ve görsel fotoğraf yorumu olarak sıralanabilir (Erener, 2002).

Maksimum ölçülebilecek derinlik, ölçüm alanındaki suyun temizliğine ve kirliliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir. Bulanık sularda 3 m'ye kadar, temiz sularda ise 25 m'ye kadar olan bölgelerde derinlik belirleme işlemi yapılabilmektedir. Yöntemin doğruluğu ortalama olarak ± 0.40 m civarındadır (Alkan, 1998).

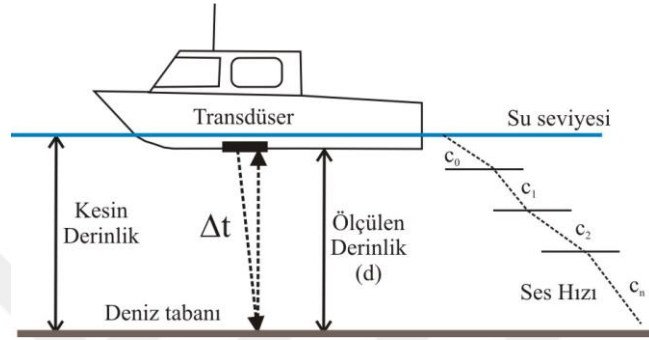
3.4.1.4. Akustik iskandil yöntemi

Yöntemin temel ilkesi, ses dalgalarının su içinde yayılma ve yansıma özelliklerinden yararlanarak derinliklerin ölçülmesidir. Işık ve elektromanyetik dalgalara oranla ses dalgaları su ortamında daha iyi yayılmaktadır. Akustik iskandil yönteminde uygulanan temel işlem, su içerisinde yer alan bir transdüserden (ses üreticiden) gönderilen ve düşey doğrultuda yönlendirilen ses impulslarının, dairesel dalgalar halinde yayılarak sualtı zeminine ulaşip, sualtı zemininden de yansıtılarak tekrar üretildiği kaynağa/alıcısına geri dönmesidir.

Ses dalgalarının su içindeki yayılma hızı "c" bilindiğinden, transdüser tarafından gönderilen ses impulsunun zamanı ile bunun sualtından yansıtılarak gelen ekosunun zamanı arasındaki fark yani Δt değeri de ölçülerek su derinliği;

$$d = \frac{1}{2} c \Delta t \quad (3.3)$$

bağıntısından bulunur (Aykut, 2009). Akustik iskandil yöntemiyle derinlik ölçümünde “d” su derinliği, transdüser ile sualtı zemini arasındaki düşey uzunluktur (Şekil 3.5). Gerçek derinlik değeri de transdüser ile sualtı zemini arasında ölçülen derinlik değerine birtakım düzeltmeler getirilip indirgemeler yapılarak elde edilir (Alkan, 1998).



Şekil 3.5. Akustik iskandil yöntemi ile derinlik ölçümünün temel prensibi (Aykut, 2009)

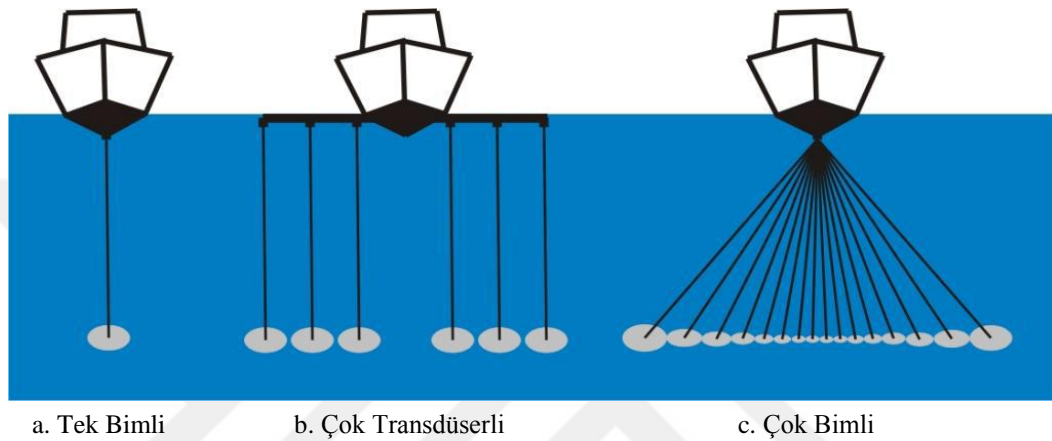
Su ortamlarında yapılan çalışmalarda en sık kullanılan yöntem olan akustik iskandil yönteminin avantajları ise;

- Derinlik ölçme işleminin sürekli ve otomatik olarak gerçekleştirilmesi,
- Ölçmelerin aynı zamanda grafik olarak bir kağıda çizilebilmesi,
- Çok yüksek hızda ve klasik derinlik ölçme yöntemlerinin uygulanmasının güç olduğu bölgelerde kullanılabilmesi,
- Akıntılı sularda ölçmenin akıntıdan etkilenmeden yapılabilmesi,
- Kişisel hataların en aza indirgenmesi,
- Yüksek verimlilik elde edilebilmesi,

olarak sıralanabilir.

Akustik enerji, deniz tabanına doğru düşey yönlendirilmiş bim şeklinde gönderilmektedir (IHO, 2005). Bu nedenle kullanılan bim yapısına göre akustik derinlik ölçme (iskandil) aletleri, tek bimli ve çok bimli iskandil aletleri olmak üzere iki kısımda sınıflandırılmaktadır (Şekil 3.6a, Şekil 3.6c). Bu aletlerin yanı sıra çok transdüserli sistemler de (çok sayıda tek bimli iskandil aletleriyle donatılan sistemler) hidrografik çalışmalarda kullanılmaktadır (Şekil 3.6b). Ses sinyali ile ölçüm yapan bu sistemleri açıklayacak olursak; “Tek bimli iskandil sistemi, her seferinde bir ölçüm yapan ve ölçüm teknesinin seyir doğrultusu boyunca derinlik verisi okuyan bir sistemdir. Bu sistem

kullanılarak yapılan ölçümlerin çözünürlüğü aletin okuma sıklığı ve teknenin takip ettiği hat aralıklarının genişliğine göre değişmektedir. Çok transdüserli iskandil sistemi ise, birden fazla tek bimli iskandilin aynı doğrultuda belirli aralıklarla dizilmesiyle ölçüm yapan bir sistemdir. Çok bimli iskandil sistemi de tek bir transdüserden gönderilen ses dalgasının, sualtı tabanından saçılarak dönen tüm ses sinyallerini okuyarak böylelikle bir kaplama alanı oluşturup ölçüm doğrultusu boyunca %100 alan kaplaması yapan bir sistemdir” (Zirek ve Sunar, 2016).

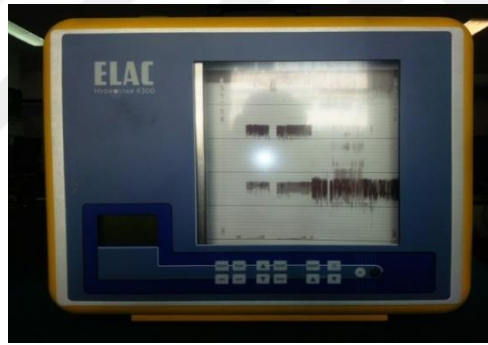


Şekil 3.6. Akustik derinlik ölçme (iskandil) aletleri (Aykut, 2009)

Akustik derinlik ölçme (iskandil) aletleri genellikle “gönderici-alıcı ünitesi (transdüser) ile kontrol-kayıt ünitesi (ekograf)” olmak üzere iki temel üniteden oluşmaktadır. Ölçme taşıtının hareketi sonucu su ortamından çıkmayacak şekilde bir transdüser içerisinde yan yana yer alan bir ünite olan gönderici-alıcı ünitesi, aynı özelliklere sahip fakat farklı görevleri olan iki adet ses üreticiden oluşmaktadır. Gönderici görevindeki ses üretici, suya belirli frekanslarla ses impulsları gönderirken alıcı görevindeki ses üretici de su içerisinde dalgalar halinde yayılarak sualtı tabanına çarpan ve oradan da yansıyor geri dönen impulsları saptamaktadır. Ölçme botunun içinde herhangi bir yerde bulunan kontrol-kayıt ünitesinin kontrol ünitesinde ise suya belirli frekanslarla gönderilen ses impulsları ile sualtı tabanından yansıyor belirli oranda kuvvetlendirilip geri dönen ses impulslarının karşılaştırılması yapılmaktadır. Bu karşılaştırma sonucunda transdüser tarafından gönderilen ses impulsunun zamanı ile bunun sualtından yansıyor gelen ekosunun zamanı arasındaki fark yani Δt değeri elektronik olarak saptanır. Kontrol ünitesi ses dalgalarının ortalama yayılma hızına göre ayarlanmış olduğundan, (3.3) eşitliğine uygun bir şekilde ya bir ışıklı göstergeye aktarılır

ya da mekanik enerjiye dönüştürülerek bir hat boyunca ilerleyen ölçme taşıtının altında kalan sualtı dip topografyasının derinliğini hesaplayarak kayıt ünitesinde bulunan çizici iğne yardımıyla kayıt kağıtlarına belirli bir ölçekte derinlikler işaretlenerek sualtı dip topografyasının sürekli bir profili (grafığı) elde edilir (Şekil 3.7).

Ses dalgaları su içerisinde büyük miktarlarda yutuldukları için enerjilerini önemli ölçüde kaybetmekte ve bu durumda transdüserler tarafından üretilen impulsların frekanslarının, elde edilecek derinlik değerlerinin doğruluğunu etkileyen önemli bir faktör olduğunu göstermektedir. Frekansı 16 Hz ile 16 KHz arasında olan seslerin dalga boyları büyük olduğu için enerjilerinin dar bir alanda demetlenmesi olanaksızken su içinde dağılması ve yutulması zor olduğundan derin sularda yapılan ölçmelerde kullanılmaktadır. Frekansı 16 KHz ile 10 GHz arasında olan seslerin ise dalga boyları küçük olduğundan dar bir alanda demetlenmesi ve yöneltmesi mümkün olmaktadır su içinde fazla miktarda yutuldukları için sığ sularda yapılan derinlik ölçmelerinde kullanılmaktadır (Erkaya, 1995a; Özgen ve Algül, 1977).



Şekil 3.7. ELAC Hydrostar 4300 derinlik ölçer (DSİ Harita Şube Müd., 2019)

Akustik iskandil yöntemiyle derinlik ölçümündeki temel bileşen, (3.3) eşitliğinden de görüleceği üzere ses dalgalarının su içindeki yayılma hızıdır. Su ortamı değişken bir yapıya sahip olduğundan ses hızının belirlenmesi de suyun yoğunluğuna diğer bir deyişle suyun derinliğine (basıncına), sıcaklığına ve tuzluluğuna bağlı olarak değişmektedir. Sesin su içindeki yayılma hızının ölçülebilmesi için de ampirik eşitlikler, derinlik termometresi, ses hızı ölçer (Şekil 3.8) ve bar kontrolü yöntemi olarak sıralanan birbirinden farklı yöntemler ve aletler kullanılabilir.



Şekil 3.8. Ses hızı ölçer (DSİ Harita Şube Müd., 2019; Kordil, 2019)

Ses dalgalarının su içindeki yayılma hızı;

$$c = \sqrt{\frac{1}{k \cdot \rho}} \quad (3.4)$$

bağıntısı yardımıyla belirlenmektedir. Bu eşitlikte; k suyun yoğunluğunu, ρ de suyun geçirgenliğini ifade etmektedir. Suyun yoğunluğunun en düşük ve en yüksek değerlerine göre de sesin su içindeki yayılma hızı 1390 m/s ile 1650 m/s arasında değişim göstermektedir.

Derinlere inildikçe k ve ρ değerleri değiştiğinden (3.4) eşitliği kullanılarak elde edilecek hız değeri, ortam koşullarına (bölgesel koşullara) uygun olmadığından normal koşullardaki (0 °C su sıcaklığı, %0.35 tuzluluk ve 760 mmHg basıncı) ses hızı değeri, ortamındaki koşullara uygun olarak düzeltilmektedir. Ses hızının bölgesel koşullarda uygulanacak genel bağıntısı da;

$$C_{t,s,p} = C_0 + \Delta C_t + \Delta C_s + \Delta C_p + \Delta C_{t,s,p} \quad (3.5)$$

formülü ile ifade edilmektedir. Bu bağıntıda, $C_{t,s,p}$: sıcaklığı t , tuzluluğu s ve basıncı p olan suda sesin yayılma hızını, C_0 : normal koşullardaki suda sesin yayılma hızını, ΔC_t , ΔC_s , ΔC_p : normal koşullar dışında C_0 değerine uygulanacak düzeltmeleri, $\Delta C_{t,s,p}$; her üç verinin (t , s , p) aynı anda değişmesi halinde uygulanacak ek düzeltmeyi ifade etmektedir.

(3.5) eşitliği kullanılarak bulunacak hız değerinin hassasiyeti ise ± 0.3 m/s civarındadır (Erkaya, 1995a).

3.4.1.4.1. Akustik yöntemle ölçülen derinliklerin düzeltilmesi ve indirgenmesi

Akustik iskandille derinlik belirleme yönteminde ölçüm sırasında karşılaşılan ve ölçülen derinlik değerlerine etki eden bazı hatalar bulunmaktadır. Bunlar; kişisel hatalar (derinlik okuma hatası, transdüser derinliğini ölçme hatası, aletin hatalı düzenlenmesi), su ortamından kaynaklanan hatalar (su seviyesindeki düzensiz değişimler, hız hatası) ve aletsel hatalar (ayar hatası, seyir süresi hatası) olarak ifade edilmektedir. Bu hata kaynaklarından su ortamından kaynaklanan hatalar ile aletsel hataları en düşük seviyede tutmak veya tamamen ölçülere olan etkilerini yok etmek için ölçülen derinlik değerlerine bazı düzeltmeler getirilmelidir.

Düzeltilmiş derinlik değerini H_d , inceliğini ise m_{H_d} olarak ifade edersek H_d ve m_{H_d} değerleri;

$$H_d = H' + a + dH_v + dH_e + dH_a \quad (3.6)$$

$$m_{H_d} = \pm \sqrt{m_{H'}^2 + m_a^2 + m_{H_v}^2 + m_{H_e}^2 + m_{H_a}^2} \quad (3.7)$$

eşitlikleri yardımıyla hesaplanır. (3.6) ve (3.7) eşitliklerinde, H' : ölçülen derinlik değerini, a : transdüser derinliğini, dH_v : hız düzeltmesini, dH_e : eğim düzeltmesini, dH_a : aletin ayar düzeltmesini, $m_{H'}$: derinlik çözümlene inceliğini, m_a : transdüser derinliğinin ölçülme inceliğini, m_{H_v} : hız düzeltmesi inceliğini, m_{H_e} : eğim düzeltmesi inceliğini ve m_{H_a} : aletin ayar düzeltmesi inceliğini ifade etmektedir.

Ölçülen derinlik değerlerine getirilen düzeltmelerin dışında, ölçme taşıtının farklı hareketleri sonucu ortaya çıkan bat-çık, boyuna salınım ve yalpa etkilerini yok etmek ya da azaltmak için de ölçülen derinlik değerlerine düzeltmeler getirilebilir.

Bu koşullarda yöntemin genel inceliği; Klasik aletlerle yapılacak ölçmeler için 100 metrede ± 1 m ($\pm \%1H$), Hassas aletlerle yapılacak ölçmeler içinse $\pm \%(0.1-2.25)$ H metre olarak kabul edilir (Erkaya, 1995a).

Bu düzeltmeleri açıklayacak olursak;

a. Transdüser derinliği düzeltmesi

Hidrografik ölçmelerde ölçümlere başlamadan önce transdüserler su yüzeyinden 0.75 m ile 1.50 m arasında bir derinliğe indirilerek düşey olarak yerleştirilmektedir. Bu nedenle hidrografik ölçmeler yapılırken daima transdüserin altında kalan derinlik değeri ölçüldüğünden su yüzeyine göre derinliği belirlemek için transdüser ile su yüzeyi arasındaki uzaklık tüm derinlik değerlerine eklenmelidir. Bunun yerine kayıt kağıdının sıfır frekansı, 'a' miktarı kadar kaydırılarak da bu düzeltme ortadan kaldırılabilir. Günümüzde ise modern ölçme donanımları ile yapılan çalışmalarda 'a' değeri ölçmelere başlamadan önce bilgisayara girilerek tüm derinlikleri otomatik olarak düzeltmek mümkün olmaktadır (Alkan, 1998).

b. Hız düzeltmesi

Akustik iskandilde kullanılan aletler genellikle belirli bir ses hızı değerine kalibre edilmektedir. Fakat sesin su içindeki yayılma hızı çalışma ortamının fiziksel parametrelerine ve derinliğe bağlı olarak değişim gösterdiğinden aletin kalibre edildiği ses hızı değeri ile çalışma ortamındaki gerçek ses hızı değeri birbirinden farklı olabilmektedir. Bu durumda aletin ses hızı ayarlanabiliyorsa, ses hızı bu değere ayarlanıp ölçümler yapılmalı veya yapılan ölçümlere ses hızı düzeltmesi getirilmelidir.

Ses hızı düzeltmesi;

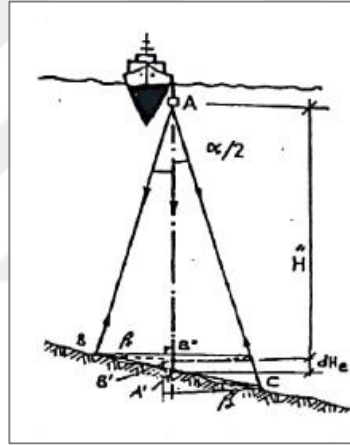
$$dH_v = H'_0 \left(\frac{V-V_0}{V_0} \right) \quad (3.8)$$

eşitliği yardımıyla bulunur. Bu eşitlikte, H'_0 : derinlik ölçerin ayarlanmış olduğu V_0 ses hızına göre ölçülmüş geçici derinliğini, V_0 : derinlik ölçerin kalibre edildiği ses hızı değerini ve V : çalışılan ortam için geçerli olan ortalama ses hızını ifade etmektedir.

Ölçülen derinliklere bu şekilde hız düzeltmesi getirmek yerine çalışma ortamı için ortalama bir ses hızı belirleyip, derinlik ölçerin ses hızını bu değere ayarlayarak ölçmeleri yapmak daha pratik bir yöntem olacağı için ses hızı ayarlanabilen aletler kullanmak daha tercih edilebilir bir yöntem olur.

c. Eğim düzeltmesi

Akustik iskandil aletinden yaklaşık olarak koni şeklinde gönderilen ses impulsları en kısa yolu kat etmek suretiyle zemine çarpıp geri dönerler. Gönderilen impulslardan önce gelenler (en kısa yolu kat edenler) kayıt kağıdı üzerinde derinlik çiziminin ilk verilerini oluştururken geç gelen impulslarda sualtı profilini oluşturan çizginin kalınlaşmasına neden olurlar. Böylece sualtı profili (grafiği) ince bir çizgi olmaz ve derinliklerde daima profilin üst kısmını oluşturan yani en kısa yolu kat eden impulsların oluşturduğu çizgi değerinden okunarak belirlenir. Bu nedenle eğim düzeltmesinde sualtı tabanının düz veya eğimli olması düzeltme getirilmiş derinlik değerinin belirlenmesinde önem teşkil etmekte ve özellikle eğimli sualtı tabanında yapılan ölçümleri olumsuz etkileyerek kayıt kağıdı üzerindeki profilin, ölçme taşıtının ölçüm hattı doğrultusundaki düşey profili gösterememesine neden olmaktadır.



Şekil 3.9. Eğim düzeltmesi (Özgen ve Algül, 1977)

Kullanılan transdüserin tepe açısı α , zeminin eğimi β ve ölçülen derinlik değeri H' olmak üzere (Şekil 3.9) eğim düzeltmesi;

$$dH_e = H' \sin \frac{\alpha}{2} \left(\tan \beta - \tan \frac{\alpha}{4} \right) \quad (3.9)$$

bağıntısından hesaplanır (Erkaya, 1995a).

Eğimli sualtı tabanlarında yaşanan sorunlardan dolayı ölçülen değerlere getirilen eğim düzeltmesini azaltmak ve ölçülere olan etkilerini önemszenmeyecek bir değere yaklaştırmak amacıyla ses konisinin tepe açısı 2^0 den küçük olan yüksek frekanslı aletler geliştirilmiştir. Ayrıca eğim düzeltmesi hesabını ortadan kaldırmak amacıyla iki değişik

frekansla ölçme yapan (aynı anda hem alçak frekanslı hem de yüksek frekanslı ses gönderen) çift transdüserli akustik aletler de geliştirilmiştir (Erkaya, 1995a). Sualtı zemininin eğimi $\leq \alpha/4$ ise eğimli sualtı tabanından kaynaklanan bu hatanın etkisini ihmal etmek mümkündür (Erener, 2002).

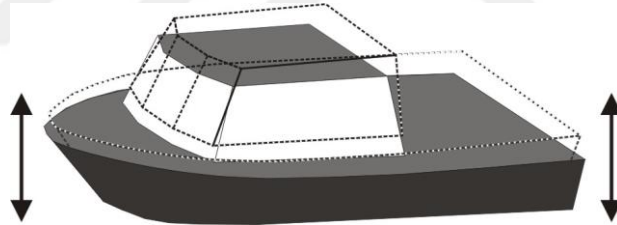
d. Aletin ayar düzeltilmesi

Akustik iskandil aletinin normal çalışma düzeninin bozulması veya yetersiz düzenlemeler sonucu ortaya çıkan hata ayar hatası olup bu hata miktarını belirleyebilmek için de genellikle havuz gibi derinliği ve su yoğunluğu bilinen bir yerde ölçmeler yapılır.

Kayıt kâğıdından okunan derinlik değeri ile gerekli olan düzeltmeler getirilerek elde edilen gerçek derinlik değeri arasında oluşan fark, derinlik okuma inceliğinden az ise alete veya ölçülen değerlere aletin ayar düzeltilmesi getirilmez.

e. Bat-çık (heave) düzeltilmesi

Denizdeki dalga gibi çalkantılardan dolayı ölçme taşıtının düşey yönde batıp çıkmasından kaynaklanan harekete “bat-çık hareketi” denir (Şekil 3.10).



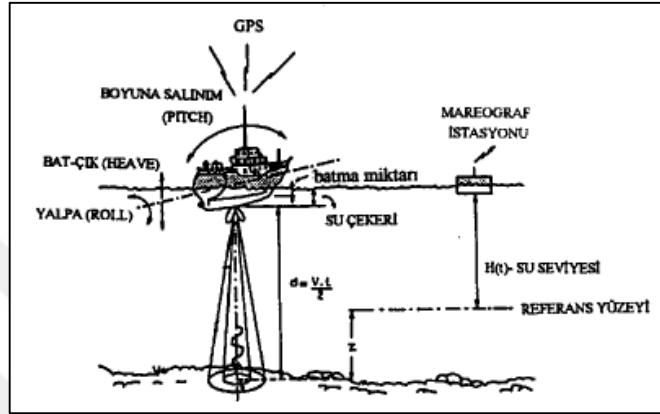
Şekil 3.10. Bat-çık hareketi (Aykut, 2009)

Hidrografik derinlik ölçme çalışmalarında oluşan önemli hata kaynaklarından biri olan bat-çık etkisi de, ölçme taşıtının düşey yöndeki hareketi sonucu derinlik ölçülerinde ortaya çıkan, özellikle dalgalı ortamlarda yapılan ölçmelerde anlamlı bir şekilde derinliklerin hatalı ölçülmesine neden olan bir etkidir (Alkan, 1998).

Bat-çık etkisi, transdüserler ile aynı düşey ekseninde olacak şekilde transdüserlerin üzerine yerleştirilen bat-çık kompensatörleri veya ölçme taşıtının ağırlık merkezine mümkün olduğu kadar yakın bir yere yerleştirilen inersiyal sistemler yardımıyla belirlenmektedir (IHO, 2005).

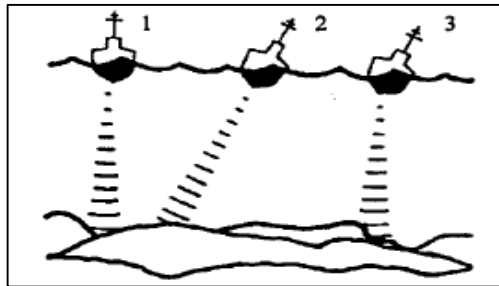
f. Boyuna salınım (pitch) ve yalpa (roll) düzeltmeleri

Ölçme taşıtının sağa ya da sola yatmasından kaynaklanan hareketine “yalpa (roll) hareketi”, baş-kıç doğrultusundaki hareketine de “boyuna salınım (pitch) hareketi” denir. Yalpa ve boyuna salınım hareketlerinin ölçülere olan etkilerinin belirlenip uzaklaştırılması için çok sayıda alet geliştirilmiştir. Bu aletler kullanılarak yalpa ve boyuna salınım değerlerinin açı biriminde büyüklükleri ölçülür. Bat-çık, boyuna salınım ve yalpa etkileri Şekil 3.11'de gösterilmiştir (Alkan, 1998).



Şekil 3.11. Bat-çık, boyuna salınım ve yalpa etkilerinin geometrik gösterimi (Alkan, 1998)

Pratikte yalpa ve boyuna salınım etkilerini azaltmak ya da yok etmek için transdüserin kardanic (çift eksenli) bir mafsalla taşıta yerleştirilerek sürekli olarak düşey konumda olması sağlanabilir. Aksi takdirde transdüser eğilerek, eğik derinliklerin ölçülmesine neden olacaktır (Şekil 3.12) (Özgen ve Algül, 1977). Ancak bu düzeneğin bat-çık etkisinin ortadan kaldırılmasına bir katkısı yoktur. Şekil 3.12'de 1 no'lu taşıt yalpa etkisi olmayan bir ortamda derinlik ölçme işlemini, 2 no'lu taşıt, yalpa etkisinin olduğu ancak kardanic mafsalin kullanılmaması durumunu ve buna bağlı olarak derinliklerin hatalı ölçülmesini, 3 no'lu taşıt ise yalpa etkisinin olduğu ve kardanic mafsalin kullanılması durumunda derinliklerin hatasız ölçümünü göstermektedir.

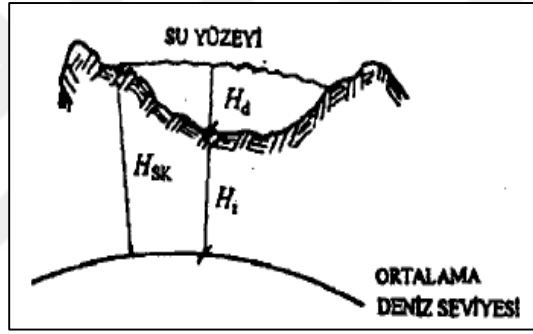


Şekil 3.12. Yalpa etkisinin kardanic mafsallı transdüser ile ortadan kaldırılması (Alkan, 1998)

Ölçülen derinlik değerleri, gerekli düzeltmeler getirildikten sonra ortak bir yüzeye (mareograf ölçmeleri ile belirlenen ortalama su seviyesinden geçen bir yüzeye) indirgenmelidir. Mareograflar kullanılarak derinlik ölçümleri boyunca su seviyesinde oluşan değişimler, mareograf ölçümlerinden yararlanılarak hesaplanır ve ortalama su seviyesinin kotu belirlenir. Buna göre bir derinlik ölçüsünün referans yüzeyine indirgenmesi;

$$H_i = H_{sk} - H_d \quad (3.10)$$

eşitliği yardımıyla hesaplanır. Bu eşitlikte, H_i : derinlik ölçmesi yapılmış herhangi bir noktanın referans yüzeyine göre kotunu, H_{sk} : mareograf yardımıyla belirlenen ortalama su seviyesinin kotunu ve H_d : düzeltilmiş derinlik değerini ifade etmektedir.



Şekil 3.13. Bir derinlik ölçüsünün referans yüzeyine indirgenmesi

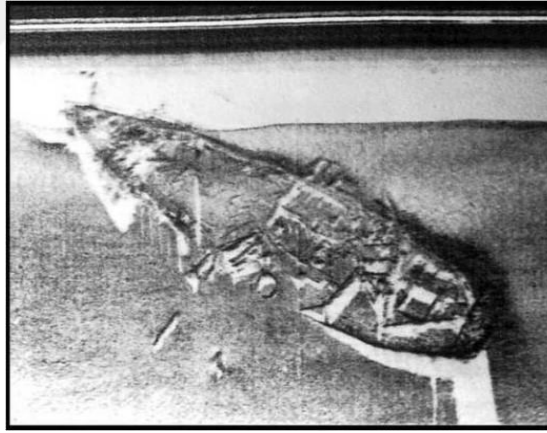
3.4.1.4.2. Diğer akustik ölçme yöntemleri

Hidrografik ölçmelerde kullanılan akustik iskandil aletleriyle ölçmeler yapılırken belirlenen hatlar boyunca deniz dibine ait bilgiler elde edilmeye çalışılır. Ancak bu durumda belirlenen hatlar arasında kalan kısımlar için sualtı tabanına ait bilgiler elde edilemez. Hat aralıklarının sıklaştırılması istendiğinde de (örneğin; 20-25 m aralıklarla) tek bir derinlik ölçer kullanılarak yapılan ölçümlerin yaratacağı zorluk ve neden olacağı maliyet yükü dikkati çeker. Bu sebeptendir ki günümüzde daha kısa sürede daha fazla alanın derinlik değerlerine ulaşılacak sistemler geliştirilmiştir. Bu sistemlerin ücreti (alet ve değerlendirme programları ile birlikte) tek bir akustik iskandil aletine göre yüksek gibi görünse de uzun vadede düşünüldüğünde gerçek anlamda daha ucuzdur. Bu

sistemlerin en önemli avantajı ise, kısa sürede daha fazla verinin toplanabilmesidir (Alkan, 1998).

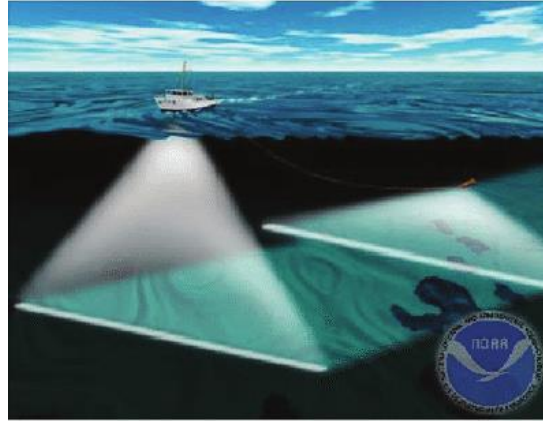
3.4.1.4.2.1. Side-scan sonar sistemleri

Side-scan sonar sistemleri en basit şekliyle, transdüseri eğik olarak yerleştirilmiş ve derinlik olarak eğik uzunlukların elde edildiği su üzeri çalışmalarında derinliklerin ölçülmesi amacıyla kullanılan aletlerdir. Ses dalgası kullanan bu sistemler, sualtı resimlendirmelerinde oldukça güzel ayrıntılar üreten ve dip topografyasına ait özelliklerin belirlenmesi için gerçeğe uygun görüntüler veren modern derinlik ölçme yöntemleridir. Günümüzde teknolojinin gelişmesiyle birlikte derinliklerin belirlenmesi amacıyla yapılan çalışmalarda, ölçüm profil aralıklarının sıklığını en faydalı olacak şekilde belirlemek ve araştırma yapan kişinin yorum yapmasına ihtiyaç kalmadan sadece enterpolasyon yöntemi yardımıyla derinlik eğrili haritaların üretilmesinde ihtiyaç duyulan ölçüm sürekliliğini en uygun seviyede sağlamak amacıyla yandan taramalı sonar görüntüleri kullanılmaktadır (Şekil 3.14).



Şekil 3.14. Gemi enkazına ait yandan tarama görüntüsü (NOAA, 2019)

Bilinen akustik derinlik belirleme yöntemlerinde düşey doğrultuda yayılan akustik dalga demeti kullanılırken side-scan sonar yönteminde ekseni yataydan hafifçe eğik olan akustik dalga demeti kullanılmaktadır (Şekil 3.15). Oluşturulan bu demet yatay düzlemde çok dar, düşey düzlemde de çok geniştir. Bu yöntem uygulanarak transdüserin sualtı topografyasındaki izdüşümündeki bir noktadan 500 metre ve daha fazla uzaklığa kadar yanındaki bölgelerden impuls almak mümkündür (Alkan, 1998).



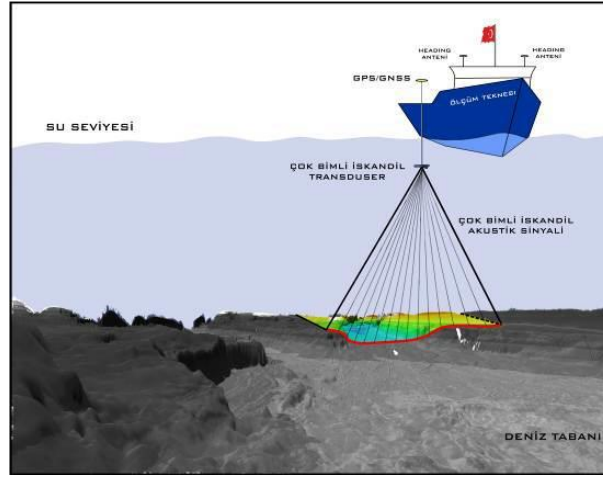
Şekil 3.15. Çok bimli (multibeam) sonar ve side-scan kullanan bir ölçüm gemisi (Erener, 2002)

Side-scan sonar sistemleri nicel derinlik bilgilerinden çok, birkaç yüz metre genişlikteki bandlar halinde ve ± 1 metreden daha küçük bir çözümüyle sualtı zeminine ait bilgileri gösteren yansıma görüntülerini vermektedir. Side-scan sonarlarla kaydedilen bu görüntülere de sonograf denilmektedir. Sonografları yüksekte devamlı çekilen hava fotoğrafları gibi düşünülebiliriz. Çalışma sonucunda elde edilen sonografların yorumlanması ve hidrografik bir altlığa dönüştürülmesi ise masraflı ve zaman alıcı çalışmaları gerektirmektedir. Sualtı dip topografyasının düzensiz ve engebeli olduğu alanlarda yapılan çalışmalarda sonardan alınan sonograflar çok fazla bozulmaya maruz kalan resimler verdiğinden dolayı bu sistemler, özellikle sualtı dip topografyasının homojen olduğu alanlar için kullanışlıdır (Erener, 2002).

3.4.1.4.2.2. Çok bimli iskandil sistemleri

Çok bimli iskandil sistemlerinin çalışma prensibi, ölçme taşıtının altında bulunan transdüserlerden (sonarlardan) değişik açılarla gönderilen birçok sinyalin seyir süresi ile açı değerlerinin ölçülüp derinliklerin hesaplanmasıdır (Şekil 3.16).

Tek bimli iskandil sistemleri kullanılarak sualtı dip topografyası hakkında ayrıntılı bilgiler elde edilemezken çok bimli iskandil sistemleri kullanılarak sualtı tabanında aynı anda birden fazla nokta ölçümü yapılarak yüksek çözünürlüklü daha fazla veri elde edilebilmektedir.



Şekil 3.16. Çok bimli (multibeam) iskandil ölçüm yöntemi (Zirek ve Sunar, 2016)

Çok bimli iskandil sistemleri, sağladığı tek seferde %100 alan kaplaması ile tabandaki ayrıntıların ölçümünü hassas bir şekilde gerçekleştirerek üç boyutlu model oluşturabilmekte ve bu özelliği sayesinde de tek bimli iskandillerin fazlasıyla önüne geçmektedir. Fakat tek bimli iskandillerden daha karmaşık bir yapıya sahip olması ve birçok ölçüm aletinin aynı anda senkronize olarak kullanılabilmesinden dolayı da sistem gereksinimleri açısından daha maliyetlidir (Zirek ve Sunar, 2016).

Çok bimli iskandil sistemleri aynı anda birden fazla ölçüm aletinin çalıştığı bir yapıya sahiptir. Bu sistemler, ölçme taşıtına yerleştirilmiş olan transdüser, konum belirleme sistemi, cayro pusula ya da çift istikamet (heading) anteni, bat-çık/yalpa/boyuna salınım kompensatörü, veri kayıt ve işlem için bilgisayar ve toplanan bu bilgilerin anlamlandırılmasını ve kaydını sağlamak için kullanılan bir ölçüm programından oluşmaktadır. Ayrıca yapılan ölçümlere getirilmesi gereken ses hızı profili için, CTD aleti veya ses hızı profili sensörü, ölçüm esnasındaki su seviyesi değişimlerini tespit edebilmek amacıyla da gel-git istasyonu gerekmektedir. Sudaki olası anlık değişimlerin ses hızına etkisi göz önünde bulundurularak gerçek zamanlı çalışan bir ses hızı sensörü de CTD sistemine ek olarak kullanılabilir (Zirek ve Sunar, 2016). Şekil 3.17’de çok bimli iskandil sistemi ve arayüzleri görülmektedir.



Şekil 3.17. Çok bimli (multibeam) iskandil sistemi ve arayüzleri (Aykut, 2009)

Çok bimli iskandil sistemlerinden Hydrosweep, 1986 yılında KRUPP Atlas Elektronik tarafından bu alanda geliştirilen ilk sistemdir (Edge ve ark., 1990). Bunun dışında çok bimli iskandil sistemlerine Simrad EM-3000, Reson 8125, Elac Seabeam 1180, Atlas Fansweep-20 gibi sistemler de örnek olarak verilebilir. Örneğin; Simrad EM-3000 sistemi ile 131 derecelik bir yelpazede 127 bim kullanılarak maksimum 150 metreye kadar ölçme yapılabilmektedir (Aykut ve Birkan, 2007).

Dünya çapında çok bimli iskandil sistemlerinin kullanımı ile ilgili Uluslararası Hidrografi Örgütünün 2010 yılında yayınladığı “Worldwide Seafloor Swath-Mapping Systems” adlı yazısı incelendiğinde çok bimli iskandil sistemlerinin en çok Amerika Birleşik Devletlerinde kullanıldığı görülmektedir. İngiltere ve Norveç gibi ülkeler de yapılan sıralamada başlarda yer alırken Türkiye ise kullanım oranı olarak oldukça geride yer almaktadır. Bu da bir deniz ülkesi olmamıza karşın Türkiye’de deniz araştırmalarına ayrılan kaynakların az olduğunu göstermektedir.

3.4.2. Konum belirleme yöntemleri

Hidrografik çalışmalarda derinliği ölçülen noktaların yatay düzlemdeki konumlarını belirlemek amacıyla yapılan konum ölçmeleri, uygulanacak yonteme bağlı olarak ya kıyıdaki jeodezik noktalardan ya da hidrografi taşıtımdan yapılmaktadır. Su üzerinde yapılan bu çalışmanın özellikleri nedeniyle klasik ölçümlere göre herhangi bir noktadaki ölçmeler tekrarlanamayacağı için konum ve derinlik ölçmeleri senkronize bir

şekilde yapılmalı ve çok kısa sürede tamamlanmalıdır. Bu nedenle hidrografik çalışmalarda ulaşılan konum doğrulukları kara ölçmelerinde ulaşılan konum doğruluklarından daha düşüktür. Yapılan ölçmelerin amacına, kullanılan alete ve yöntemine göre değişim gösteren konum doğrulukları için Çizelge 3.3'teki değerler verilmektedir.

Çizelge 3.3. Genel olarak hidrografik ölçmelerden beklenen konum doğrulukları (Algül, 1985)

Uygulama Alanı	Relatif	Mutlak
Kıta sahanlığı ve sınır belirleme	$\pm(1-2)$ m	± 10 m
Büyük ölçekli harita çalışmaları	$\pm(0.3-1)$ m	± 1 m
Oşinografik ve jeofiziksel çalışmalar	-	$\pm(50-100)$ m
Hidrografik kontrol ağ konumu (karada)	$\pm(1-10)$ cm	-
Uydu gözleme gemilerinin konumu	-	$\pm(5-10)$ m
Petrol, gaz ve maden araştırmaları	$\pm(30-50)$ m	-
Petrol ve gaz kuyularının konumu	$\pm(5-10)$ m	± 10 m
Sualtı boru ve kablo döşemeleri	$\pm(1-10)$ m	± 10 m
Denizaltı kontrol noktalarının konumu	$\pm(0.3-10)$ m	-

Günümüzün modern konum belirleme yöntemlerinin temelini geçmişte navigasyon için geliştirilen birtakım aletler ve yöntemler oluşturmaktadır. Bulunan yeri ve hedefe ulaşmak için gidilecek yönü saptama tekniği olan navigasyon, asıl başarısını açık deniz seferleri ve okyanus geçişlerinde gerçekleştirmiştir. Amerika kıtasının keşfi gibi büyük keşiflerde de sekstantın atası sayılabilecek usturlab ve bunun değişik türevleri kullanılmıştır. Pusulanın bulunmasıyla birlikte, denizcilikte yön bulmada büyük kolaylıklar sağlanmıştır. Ayrıca açılar yardımıyla geriden kestirme yöntemine dayanan sekstant aleti de denizciler için konum belirlemede büyük kolaylıklar sağlamıştır.

İnsanoğlunun daha hassas bir şekilde konum belirleme isteği ve teknolojideki gelişmelerle birlikte konum belirlemeye yönelik modern navigasyon teknikleri ortaya çıkmaya başlamıştır. LORAN ve DECCA gibi elektrometrik yöntemlerin kullanılmasıyla başlayan bu süreç 1980'li yıllarda GPS'in geliştirilmesiyle birlikte bugünkü durumuna gelmiştir. Günümüzde kıyı alanlarında yapılan hidrografik ölçmelerde GPS ile santimetre doğruluğunda üç boyutlu koordinat belirlemek mümkün olmaktadır (Aykut, 2009).

Hidrografik ölçmelerde geçmişten günümüze kadar birçok konum belirleme yöntemi kullanılmıştır. Bu yöntemler;

- Optik yöntemler (Klasik yöntemler)
- Elektrometrik yöntemler
- Akustik yöntemler
- Uydu bazlı yöntemler

olarak sınıflandırılabilir.

3.4.2.1. Optik yöntemler (Klasik yöntemler)

Optik olarak konum belirleme yöntemlerinde su üzerinde yapılan çalışmalar, kıyıda tesis edilen noktaların belirlediği sabit doğrultular üzerinde yapılmaktadır. Yöntemlerin uygulanabilmesi için karadaki kontrol noktası ile denizde konumu bulunacak noktaların birbirini görmesi gerekmektedir. Bu nedenle de kıyıya yakın deniz alanları ile göllerde ve akarsularda uygulanabilmektedir.

Optik olarak konum belirlemede kullanılan yöntemleri, “Önden ve geriden kestirme yöntemleri, Sabit doğrultu yöntemleri ve Takeometri yöntemi vb.” olarak sıralamak mümkündür.

Optik yöntemler kullanılarak kıyıdaki jeodezik noktalardan teodolitle veya ölçme teknesinden sekstant ile açılar ölçülerek kestirme yöntemleriyle iskandil noktalarının konumu belirlenmektedir. Günümüzde total stationlar yardımıyla bu işler hızlı ve kolayca yapılabilmektedir. Ancak uydular yardımıyla konum belirleme yönteminin kullanılmaya başlanmasıyla bazı ölçmeler dışında artık optik yöntemler kullanılmamaktadır.

3.4.2.2. Elektrometrik yöntemler

Elektrometrik yöntemler kullanılarak, kıyıdaki jeodezik noktalar ile hidrografi taşıtı arasındaki uzaklığın veya uzaklıklar farkının elektromanyetik dalgalarla ölçülmesi amaçlanmaktadır (Özgen ve Algül, 1977). Elektromanyetik yöntemlerle, zaman farkı ya da faz farkı ölçülerek dairesel ve hiperbolik konumlama çizgileri kullanılmak suretiyle konum belirlenmektedir (IHO, 2005).

Geometrik çözüm yönünden elektrometrik yöntemleri, “Doğrusal yöntem, Dairesel yöntem ve Hiperbolik yöntem” olarak sıralamak mümkündür. Bu yöntemlerden

çoğunlukla dairesel ve hiperbolik yöntemler kullanılmaktadır. Ancak uydularla konum belirlemenin çok büyük bir hızla uygulamaya girmesiyle bu yöntemler önemini yitirmiştir.

3.4.2.3. Akustik yöntemler

Kıydan uzak açık denizlerde yapılan hidrografik çalışmalar (petrol arama, kanal açma, tüp geçit inşaatı vb.) için geliştirilmiş bir yöntem olan akustik yöntemlerde ses dalgalarının su içerisindeki yayılma ve yansıma özelliklerinden yararlanılır. Kıydan uzak açık denizlerdeki hidrografik çalışmalar için düşünülmesine rağmen kıyıya yakın bölgelerde ve sığ sularda da kullanılmıştır. Akustik yöntemler kullanılarak deniz tabanındaki akıllı şamandıralara ve uzaktan kumandalı denizaltılara olan uzunluklar ve yönler ölçülmektedir (IHO, 2005).

Okyanus ve denizlerde yapılan mühendislik uygulamalarında video kamera, sonar ve iskandil gibi aletlerin monte edildiği uzaktan kumandalı araçlar (ROV) ile bağımsız sualtı araçları (AUV) kullanılmaktadır (Abbott, 1996). Sualtındaki bu araçların ve akıllı şamandıraların konumlarının belirlenmesinde de akustik konumlandırmadan yararlanılmaktadır. Akustik yöntemler kullanılarak elde edilen doğruluk ise uygulanan tekniğe, mesafeye ve su ortamının şartlarına bağlı olarak cm ile m'ler arasında değişiklik göstermektedir (Abbott, 1996; IHO, 2005).

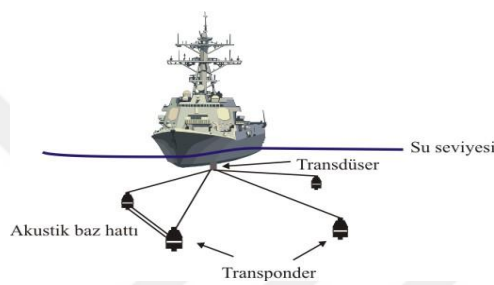
Konum belirleme amacıyla aletlerde kullanılan ses dalgalarının frekansı, çoğunlukla 30-100 KHz arasında değişmektedir. Akustik yöntemlerde kullanılan konumlandırma sistemlerinin kullanıldığı maksimum baz uzunlukları ve standart frekanslar ise Çizelge 3.4'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 3.4. Akustik yöntemler ile konumlandırmadaki standart frekanslar (IHO, 2005)

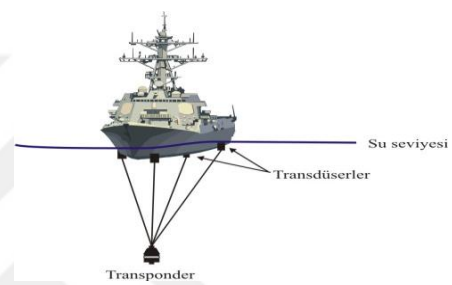
Kullanılan Frekans	Frekans	Maksimum uzunluk
Düşük Frekans (LF)	8 – 16 kHz	> 10 km
Orta Frekans (MF)	18 – 36 kHz	2-3.5 km
Yüksek Frekans (HF)	30 – 64 kHz	1500 m
Eksta Yüksek Frekans (EHF)	50 – 110 kHz	< 1000 m
Çok Yüksek Frekans (VHF)	200 – 300 kHz	< 100 m

Akustik konum belirleme yöntemleri genel olarak uzun, kısa ve çok kısa bazlı ya da üç yöntemin değişik kombinasyonları olmak üzere üç gruba ayrılmaktadır. Uzun bazlı

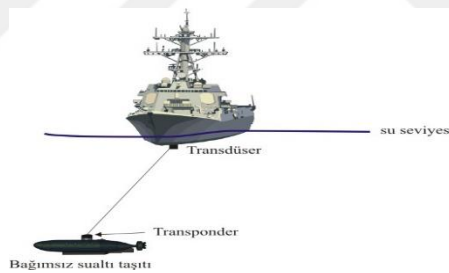
yöntemde koordinatları bilinen üç ya da daha fazla transponder, sualtı tabanına sabitlenip ölçme taşıtının tabanına yerleştirilen transdüser yardımıyla sorgulanır (Şekil 3.18a). Kısa bazlı yöntemde ise en az üç ya da dört adet transdüser, ölçme yapılan taşıtın ebatlarına göre aralarında 10-100 m olacak şekilde ölçme taşıtının tabanına yerleştirilir ve ölçme taşıtında bulunan akustik işlemciye bağlanır (Şekil 3.18b). Çok kısa bazlı yöntemde de ölçme taşıtının tabanına yerleştirilen tek bir transdüserden gönderilen ses dalgası, su altında hareket eden ve üzerine transponder monte edilen insansız veya uzaktan kumandalı denizaltılardan ya da herhangi bir objeden yansıtılarak tekrar ölçme taşıtına ulaşır ve bu işlem tamamlanana kadar geçen zamana göre de uzunluklar hesaplanır (Şekil 3.18c) (Aydın ve ark., 2005).



Şekil 3.18a. Uzun bazlı yöntem



Şekil 3.18b. Kısa bazlı yöntem



Şekil 3.18c. Çok kısa bazlı yöntem

Şekil 3.18. Uzun bazlı, Kısa bazlı ve Çok kısa bazlı yöntemler (Aydın ve ark., 2005)

3.4.2.4. Uydu bazlı yöntemler

1957 yılında ilk yapay uydu olan SPUTNIK-1'in uzaya fırlatılmasıyla uzay jeodezisi alanında yeni bir çığır açılmış ve bunu izleyen yıllarda da değişik amaçlar için farklı uydular uzaya fırlatılmıştır. Günümüzde iletişim, meteoroloji, jeodezik konum belirleme, uzaktan algılama, navigasyon, deniz seviyesi, dalga ve akıntı hareketlerinin izlenmesi amacıyla uzaya fırlatılmış binlerce yapay uydudan yararlanılmaktadır.

Yapay uydu yardımıyla konum belirleme sistemlerinden günümüzde konum, hız ve zaman belirleme amaçlı kullanılanlarını GPS, GLONASS, GALILEO,

BEIDOU/COMPASS, QZSS ve IRNSS/GAGAN olarak sıralamak mümkündür (Koca ve Ceylan, 2018). Bunların dışında DORIS, PRARE, TOPEX/POSEIDON gibi farklı amaçlarda kullanılan uydu sistemleri de mevcuttur. Ayrıca VLBI (Very Long Base Interferometry) ve SLR (Satellite Laser Ranging) sistemleri de özellikle bilimsel amaçlı çalışmalarda kullanılmaktadır.

Uydu bazlı konum belirleme sistemlerinden özellikle 1984 yılından beri kullanılan GPS (Global Positioning System), klasik jeodezik ölçme yöntemlerine göre daha hassas, daha hızlı ve daha ekonomik olması nedeniyle, jeodezide çok yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır. Hava şartlarından bağımsız olarak çalışması, noktaların birbirini görme zorunluluğunun olmaması, ekonomik ve hızlı olarak konum belirlemeye olanak vermesi gibi büyük avantajlara sahip olan bu yöntem, klasik yöntemlere ciddi bir rakip olmuştur.

GPS yönteminin daha fazla kullanılmaya başlanmasıyla birlikte, hidrografik ölçmeler de yeni bir anlam kazanmıştır. Çünkü uygulaması kolay ve ucuz olan bu yöntem, kullanıcılara her zaman konum belirleme imkanı sağlamakta ve hemen hemen bütün hidrografik çalışmalarda gereken doğruluklarda konum belirlemeyi mümkün kılmaktadır (Alkan, 1998).

3.4.2.4.1. GPS sistemi hakkında genel bilgiler

GPS, navigasyon sistemlerinin kısıtlı işlevselliklerini aşabilmek amacıyla 1960'lerde gelen bir dizi gizli mühendislik çalışması da dahil olmak üzere ilk denemelerde ortaya çıkan birkaç görüşün de birleşmesi ile 1973 yılında ABD Savunma Bakanlığı (DoD) tarafından geliştirilen bir sistemdir. Esas olarak 24 uydu ile çalışacak şekilde geliştirilen sistem, 1994 yılında tamamen çalışabilecek duruma gelmiştir (Koca ve Ceylan, 2018).

GPS sistemi, uydulardan oluşan “uzay bölümü”, tüm sistemi yöneten “kontrol bölümü” ve alıcıların bulunduğu “kullanıcı bölümü” olmak üzere üç temel bölüme sahiptir. GPS için genel olarak iki temel koordinat sistemi mevcut olup, bunlar uzay sabit ve yer sabit koordinat sistemleridir. GPS ile elde edilen koordinatlar, 1984 yılında U.S. Defence Mapping Agency (ABD Savunma Harita Ajansı) tarafından yapılan çalışmalarla tanımlanan, yer merkezli WGS-84 sistemindedir (Erener, 2002).

İlk yıllarda askeri amaçlı kullanılan bu sistem, bugün uygun bir GPS alıcısına sahip her kullanıcıya yeryüzünün herhangi bir yerinde ve herhangi bir zamanda, hemen

her türlü hava koşulunda, küresel bir koordinat sisteminde, yüksek duyarlıkta, en ekonomik şekilde, anında ve sürekli olarak konum, hız ve zaman belirleme imkanı sağlar.

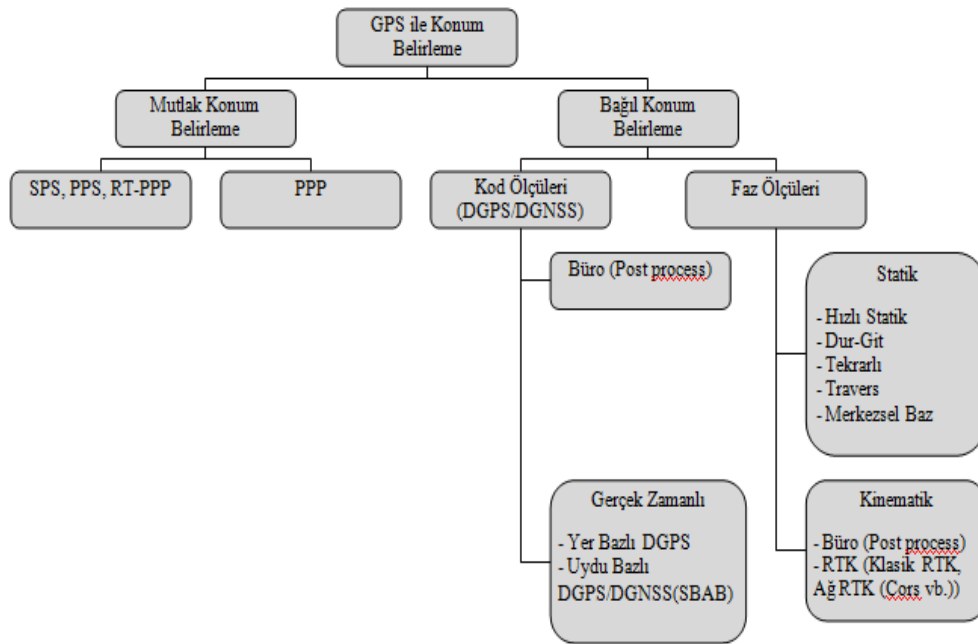
GPS sistemi bugüne kadar geliştirilmiş en yüksek doğruluklu global bir konum belirleme ve navigasyon sistemi olmasına karşın, diğer bütün sistemlerde olduğu gibi bazı zayıf tarafları da vardır. Diğer bir deyişle, GPS ölçülerinden elde edilen sonuçları etkileyen bazı raslantısal ve sistematik hatalar bulunmaktadır. Bu hata kaynakları, uydulardan kaynaklanan hatalar (uydu yörünge hatası, uydu saat hatası, seçimli doğruluk erişimi), elektromanyetik sinyallerin geçtiği ortamdan kaynaklanan hatalar (iyonosfer ve troposfer etkileri, sinyal yansımaları, faz sıçramaları) ve alıcılardan kaynaklanan hatalar (alıcı saat hatası, anten faz merkezinin kayıklığı, alıcılarda oluşan gürültü-noise) olmak üzere üç grupta sınıflandırılabilir. Bu hatalar GPS'in kullanıldığı navigasyon amaçlı uygulamalar gibi birçok alan için önemli bir etki oluşturmasa da yüksek doğruluklu konum belirleme ve yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi gibi özellikle bilimsel amaçlı çalışmalarda bu hataların davranışı ve büyüklüğü çok iyi modellendirilmeli ve kontrol altında tutulmalıdır.

GPS; kara, deniz ve hava araçlarının navigasyonu, arama ve kurtarma, hedef bulma, kadastral ölçmeler, araç takip sistemleri, yerel deformasyon ölçmeleri (baraj, yol, viyadük vb.), tarım, arkeoloji ve hidrografik ölçmeler vb. amaçlar için sivil ve askeri alanlarda kullanılmaktadır.

3.4.2.4.2. GPS ile konum belirleme yöntemleri

GPS ile konum belirleme uydu-alıcı uzaklıklarının hesabına dayanan bir uzayda geriden kestirme probleminin çözümüdür. Yani, GPS sinyali içerisinde azimut ve yükseklik bilgileri bulunmamaktadır. GPS alıcısının temel çalışma prensibi ise tüm yönlerden gelen uydu sinyallerinin kaydedilmesi ve kaydedilen verilerden yararlanarak da uydu-alıcı uzaklıklarının hesaplanmasıdır (Kahveci ve Yıldız, 2009).

GPS ile konum belirleme yöntemlerini genel olarak iki kısımda incelemek mümkündür. Bu yöntemlerden ilki, yüksek doğruluk beklenen (yer kabuğu hareketlerinin belirlenmesi, köprü, baraj ve gökdelenler gibi mühendislik yapılarındaki deformasyonların tespit edilmesi vb.) ölçme ve jeodezik uygulamalarıyken ikincisi ise navigasyon uygulamalarıdır (Aykut ve ark., 2005). GPS ile konum belirleme, Şekil 3.19'daki yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmektedir.

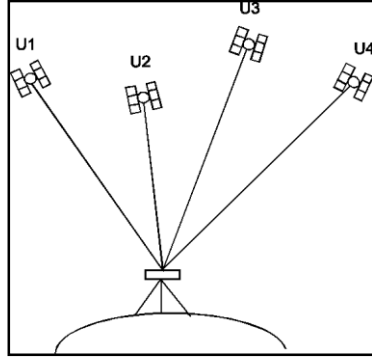


Şekil 3.19. GPS ile konum belirleme yöntemleri (Erol, 2019)

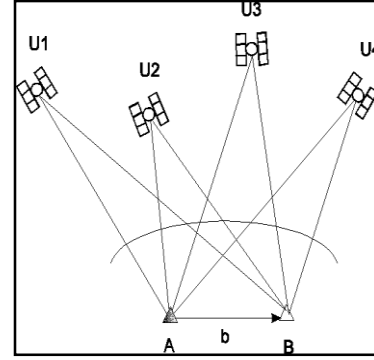
GPS ile iki temel konum belirleme yöntemi kullanılmakta olup, bunlar mutlak ve görel konum belirleme yöntemleridir. Bu yöntemlere ek olarak navigasyon uygulamalarında gereksinim duyulan diferansiyel konum belirleme yöntemi de vardır.

Mutlak konum belirlemede tek alıcı ile normal olarak dört ya da daha fazla uydudan kod gözlemleri yapılarak üzerinde alıcı kurulu noktanın koordinatları belirlenmektedir. Bu yöntem alıcının sabit olması durumunda statik, hareketli olması durumunda ise kinematik konum belirleme olarak tanımlanmaktadır (Şekil 3.20a).

Görel konum belirlemede ise koordinatları bilinen bir noktaya göre diğer nokta ya da noktaların koordinatlarının belirlenmesi söz konusudur. Başka bir deyişle, görel konum belirleme ile iki nokta arasındaki baz vektörü belirlenmektedir (Şekil 3.20b). Görel konum belirleme için iki ayrı noktada kurulmuş olan iki alıcı ile aynı uydulara eş zamanlı kod ya da faz gözlemleri yapılmaktadır. Görel konum belirleme ile elde edilen doğruluk mutlak konum belirlemeden çok daha iyi olup 0.001 ile 100 ppm arasında değişmektedir.



Şekil 3.20a. Mutlak konum belirleme



Şekil 3.20b. Görelî konum belirleme

Şekil 3.20. Mutlak ve görelî konum belirleme yöntemleri (Kahveci ve Yıldız, 2009)

Kod gözlemleri ile anında konum belirleme için yeterli doğruluk sağlanmaktayken mühendislik hizmetleri için çok daha duyarlı sonuçlara ihtiyaç olduğundan faz gözlemleri kullanılmaktadır. Faz gözlemleri kullanılarak yapılan görelî konum belirleme ise genel olarak;

- Statik ölçü yöntemi
- Hızlı (rapid/fast) statik ölçü yöntemi
- Tekrarlı (reoccupation/pseudostatic) ölçü yöntemi
- Dur-git (stop and go) ölçü yöntemi
- Kinematik ölçü yöntemi

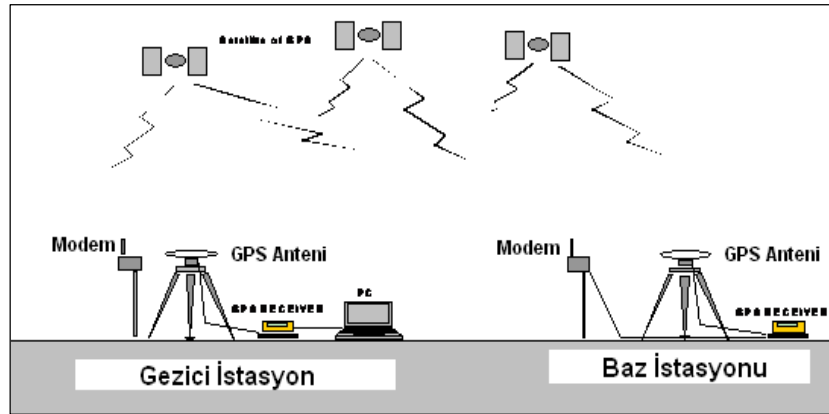
olmak üzere beş farklı yöntemden oluşmaktadır. Bu ölçü yöntemleriyle elde edilebilecek doğruluklar da Çizelge 3.5'te verildiği gibidir.

Çizelge 3.5. Ölçü yöntemlerinde elde edilebilecek doğruluklar (Kahveci ve Yıldız, 2009)

Ölçü Yöntemi	Baz Ölçüm Doğruluğu	Oransal Doğruluk Sınırları
Statik	5 mm + 1 ppm	1/100000 - 1/5000000
Hızlı Statik	5-10 mm + 1 ppm	1/100000 - 1/1000000
Dur – Git	1-2 cm + 1 ppm	1/100000 - 1/1000000
Tekrarlı	5-10 mm + 1 ppm	1/50000 - 1/500000
Kinematik	1-2 cm + 1 ppm	1/100000 - 1/1000000

Diferansiyel konum belirleme yöntemi ise navigasyon uygulamalarında gereksinim duyulan daha yüksek doğruluğa erişmek için kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntem kullanılarak biri koordinatı bilinen referans noktasında, diğeri koordinatı

bulunacak yeni noktada olmak üzere iki alıcı en az dört uyduya pseudo uzunluk ölçümleri yaparak anlık konum belirlenmektedir (Şekil 3.21) (Çelikkıran, 2009).



Şekil 3.21. Diferansiyel konum belirleme yöntemi (Çelikkıran, 2009)

Hidrografik ölçmeler gibi günümüzde uygulanan pek çok mühendislik çalışmasında, GPS ile konum belirleme yöntemlerinden kinematik (gerçek zamanlı kinematik RTK) ve statik ölçü yöntemleri, diğer yöntemlere oranla daha çok kullanılmaktadır.

Statik ölçü yönteminde iki ya da daha fazla GPS alıcısı ile en az bir saatlik eş zamanlı ölçüm yapılmakta ve noktalar arasında kapalı geometrik ağlar oluşturulmaktadır. Böylelikle baz vektörleri belirlenmekte ve belirlenen baz vektörleri yardımıyla da konumu bilinen bir noktaya dayanarak, istenilen noktanın koordinatları hesaplanmaktadır. Statik ölçü yöntemine örnek olarak jeodezik kontrol noktalarının üç boyutlu konumlandırılması verilebilir.

Kinematik ölçü yönteminde ise bir alıcı koordinatı bilinen bir noktada sürekli sabit kalarak ölçüm yaparken diğer bir alıcı ise hareketlidir ve koordinatı bilinen bir noktadan başlayarak yeni noktalara kurulmaktadır. Bu yöntem uygulanırken başlangıç tamsayı bilinmeyeninin çözümü için bir süre statik ölçü yapılmalıdır. Ayrıca uydu sayısının dördün altına düşmemesine dikkat edilmelidir. Aksi takdirde tamsayı bilinmeyeninin tekrar belirlenmesi gerekmektedir. Kinematik ölçü yöntemi uygulanarak deniz aracı veya hava taşıtı gibi hareket halindeki objelerin üç boyutlu konum bilgileri elde edilebilir.

Uçak, gemi ve benzeri taşıtların navigasyonu amacıyla ya da aplikasyon vb. gibi jeodezik amaçlı çalışmalarda çalışmanın yapıldığı an, hemen orada koordinat değerlerinin elde edilmesi durumunda ise anlık (real-time) ölçmelerden söz edilmektedir. Real Time Kinematik (RTK) GPS ölçü yönteminin temel prensibi, DGPS'e (Diferansiyel GPS)

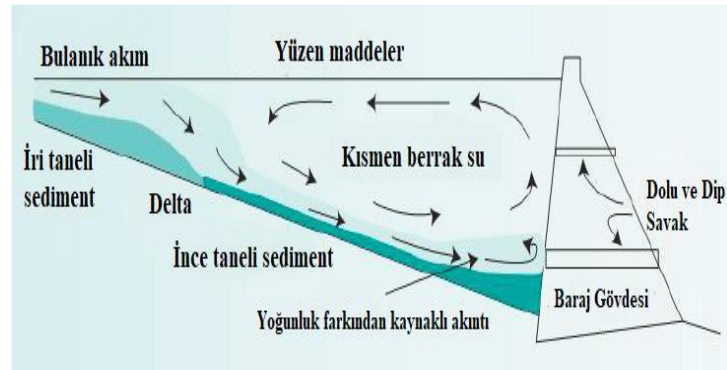
benzemekte fakat taşıyıcı faz gözlemleri kullanılarak ölçmeler yapılmaktadır. Bu yöntemle arazinin koordinatlarını $\pm 2-3$ cm doğrulukla belirlemek mümkün olmaktadır. Bu yöntemde sabit istasyonda hesaplanan düzeltmeleri yayınlayan bir radyo vericisi ve radyo sinyallerini alan bir radyo alıcısı kullanılmaktadır. Ayrıca RTK ile ilgili yazılımları kullanarak, sistem ayarlarını yapan bir veri kontrol ünitesi de mevcuttur. Bu kontrol ünitesi yardımıyla da arazide anlık konum bilgilerine ulaşılmaktadır. Böylece aplikasyon işlemleri gibi uygulamalar iyi bir duyarlılıkta kısa sürede elde edilmektedir (Kahveci ve Yıldız, 2009).



4. BARAJ SEDİMENTASYONU

Küresel iklim değişikliği ile birlikte hem dünyada hem de ülkemizde hissedilen kuraklık nedeniyle yağışlarda gözlemlenen azalma ve yaşanan su sıkıntısı ile birlikte dünya nüfusunun da günden güne artmasıyla mevcut su kaynaklarımızın etkili yönetilmesi ve doğru yönde kullanılarak sürdürülebilir bir kaynak haline getirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle mevcut su kaynaklarımızı planlı bir şekilde kullanmamız, kontrol altına almamız, boşa akıp giden sularımızı baraj, göl, gölet vb. ortamlarda depolamamız, kıyılarımızı korumamız ve su ortamlarında yaşanan kirliliği önlememiz gibi pek çok konuya daha dikkatli yaklaşmamız gerekmektedir.

Kontrolsüz su taşkınlarıyla veya akarsular tarafından taşınan katı maddeler, baraj, göl, gölet gibi sularla kaplı alanların verimli işletilmesini olumsuz yönde etkilemekte ve önemli ölçüde zarar görmelerine neden olmaktadır. Oluştugu yerden çökeldiği yere kadar su tarafından taşınan katı maddelere (suda asılı halde veya sualtı tabanında sürüntü malzemesi olarak taşınan alüvyon malzemelerine) “sediment” denilirken suda asılı halde bulunan katı maddelerin yerçekimi etkisiyle çöküp birikmesine de “sedimentasyon” denilmektedir. (Şekil 4.1) (DSİ Hidroloji Sözlüğü, 2019). Bir barajda sedimentasyon miktarı artarsa baraj depolama hacmi azalır. Baraj depolama hacminin azalmasıyla da su alma yapıları olumsuz yönde etkilenir. Örneğin; hidroelektrik santrallerde türbinler arızalanarak zarar görür ya da su alması olanaksız hale gelir (Hydrocoop, 2019).

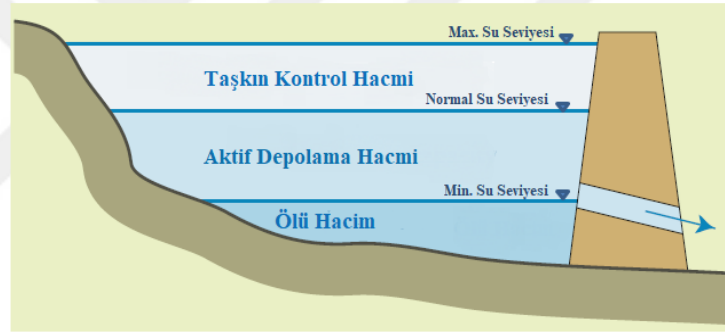


Şekil 4.1. Baraj rezervuarında meydana gelen sedimentasyon süreci (Palmieri ve ark., 2003)

Barajlar; sel ve taşkınların kontrolü, içme ve kullanma suyu temini, enerji üretimi, tarımsal sulama, balıkçılık ve su sporları gibi konularda sosyal, kültürel ve ekonomik olarak pek çok fayda sağlamak ve 50-100 yıl gibi uzun süreler yararlanılmak için inşa edilen yapılar olup hizmet süreleri barajların inşaatının yapıldığı arazi durumuna ve yağış

havzasına göre değişkenlik göstermektedir. Barajların ekonomik ömürleri baraj havzasından gelen sediment yüküne göre belirlenmekte olup baraj ömrünü sonlandıran en önemli faktörde, akarsular tarafından taşınan katı maddelerin baraj rezervuarlarının ölü hacmini doldurmasıdır (Selek ve Pınarlık, 2019).

Baraj hacminin bir kısmı suyu depolamak için kullanılırken diğer bir kısmı da baraj havzasından gelmesi beklenen sedimentin depolanması için ayrılmaktadır. Baraj rezervuarlarının ekonomik ömrü boyunca sediment ile dolması beklenen hacmine “ölü hacim”, taşkın kontrolü dışında kalan ve suyu depolamak amacıyla kullanılan hacmine de “aktif hacim” denilmektedir (Şekil 4.2). Baraj havzalarındaki doğal dengeyi bozucu faaliyetler ve yanlış arazi kullanımı sonucunda baraja normalden fazla sediment gelmektedir. Bu nedenle ölü hacim hızla dolmakta, aktif hacim de kapasitesini kaybetmeye başlamaktadır. Aktif hacmi azalan barajlarında ekonomik ömürleri kısalmaktadır (Çelik ve ark., 2012).



Şekil 4.2. Baraj rezervuarındaki suyun hacimsel dağılımı (Selek ve Pınarlık, 2019)

Dünya üzerindeki barajlar, akarsular tarafından taşınan katı maddelerin baraj rezervuarlarında birikmesi sonucu her yıl yaklaşık %1 oranında depolama kapasitelerinde bir kayıp yaşamaktadırlar (Mahmood, 1987). Baraj sedimentasyonu konusunun araştırılması ve değerlendirilmesi amacıyla geçmiş yıllarda yapılan çalışmalar incelendiğinde de, sediment birikiminden dolayı baraj depolama kapasitelerinin giderek azaldığı görülmektedir. Bu konuda ülkemizde yapılan araştırmalardan; Gediz nehri üzerinde inşa edilen Demirköprü Barajında yapılan baraj sedimentasyonunun değerlendirilmesi çalışmasında, sediment gözlem istasyonu ölçümleri ve hidrografik haritalar kullanılmış ve çalışma sonucunda sediment birikimi nedeniyle baraj depolama hacminde %33 oranında bir kayıp olduğu görülmüştür (Kokpınar ve ark., 2010). Meram çayı üzerinde inşa edilen Altınapa Barajında da 1984 ve 2009 yıllarına ait hidrografik haritalar kullanılarak ArcGIS yazılımı yardımıyla baraj rezervuarına ait farklı su

seviyelerindeki yüzey alanları ve hacimleri hesaplanmış ve yapılan hesaplamalar sonucunda geçen 25 yıllık sürede, sediment birikimi nedeniyle baraj depolama kapasitesinin 4,280,400 m³'e düştüğü ve %12.7 oranında azaldığı tespit edilmiştir (Ekizoğlu, 2011). Ayrıca Altınapa barajındaki sediment birikimi nedeniyle baraj tabanındaki değişimin belirlenebilmesi için beş farklı kesit alınmış ve ortalama sediment kalınlığının 0.82 m olduğu görülmüştür (Ceylan ve Ekizoglu, 2014). Çoruh nehri üzerinde inşa edilen Muratlı Barajında yapılan baraj sedimentasyonunun değerlendirilmesi çalışmasında da hidrografik haritalar kullanılmış ve sonuç olarak işletmeye alındığı 2005 yılı ile 2017 yılı arasında geçen 12 yıllık sürede sediment birikiminden dolayı baraj depolama hacminin %44.91'inin kaybedildiği görülmüştür (DSİ Harita Şube Müd., 2019). Dünyada yapılan araştırmalarda ise; Hindistan'da bulunan Hirakud Barajında yapılan sedimentasyonun değerlendirilmesi çalışmasında uzaktan algılama teknikleri kullanılmış ve sonuç olarak 1957 ve 1989 yılları arasında geçen sürede, baraj depolama kapasite kaybının %24.10 olarak tespit edildiği görülmüştür (Mukherjee ve ark., 2007). Kuzeybatı Etiyopya'da bulunan Angereb Barajında da işletmeye alındığı 1997 yılı ile 2005 ve 2007 yıllarında yapılan çalışmalar sonucunda elde edilen batimetrik veriler kullanılarak baraj sedimentasyonu değerlendirilmiş ve sedimentasyonun neden olduğu yıllık toplam kapasite kaybı 1997-2005, 2005-2007 ve 1997-2007 yılları için sırasıyla %4.02, %3.03 ve %3.16 oranlarında hesaplanmıştır (Haregeweyn ve ark., 2012). Batı Himalayaların eteklerinde bulunan Satluj nehri üzerindeki Bhakra Barajında da uzaktan algılama teknikleri kullanılarak sediment birikimi araştırılmış ve çalışma sonucunda 1965 ve 1997 yılları arasında geçen 32 yıllık sürede ortalama sedimentasyon oranı 25.23 Mm³yıl⁻¹ olarak bulunmuştur (Jain ve ark., 2002). Yapılan çalışmalardan da görüldüğü üzere sediment birikimi nedeniyle barajların depolama kapasitelerinde bir kayıp oluşmaktadır. Oluşan bu kayıpta içme ve kullanma suyu temini, tarımsal sulama, enerji üretimi ve rekreasyon gibi işlevleri olumsuz etkilemekte ve barajların ekonomik ömürlerinin azalmasına yol açmaktadır (Hotchkiss ve Huang, 1995).

Sediment birikimi nedeniyle ekonomik ömürleri azalan barajlar, yeni barajların inşa edilmesini düşündürse de çevresel etkiler, baraj inşaatlarının yüksek harcamalar gerektirmesi ve akarsular üzerinde inşa edilecek barajlar için uygun alanların kısıtlı olması gibi faktörler nedeniyle yeni barajlar inşa etmek yerine mevcut barajların depolama kapasitelerini korumak günümüzde daha çok tercih edilmektedir (Wen Shen ve Lai, 1996). Baraj depolama kapasitelerini korumak amacıyla da rezervuar sediment girişini azaltmak, heyelanları önlemek ve nehir yatağı havzasındaki erozyonu kontrol

altına almak gerekmektedir (Boroujeni, 2012). Baraj havzasında oluşabilecek toprak, rüzgar ve yağmur erozyonunu önlemek içinde ağaçlandırma yapılması uygun olacaktır (Goldsmith ve Hildyard, 1984). Rezervuara giren ve biriken sedimentin uzaklaştırılması için de hidrolik ve mekanik taşıma yöntemleri kullanılabilir (Odabaşı, 2011). Ayrıca sediment birikimi için ayrılacak olan ölü hacmin de güvenilir olarak belirlenmesi zorunludur (Pekmezci ve Buttanrı, 2011). Bunların dışında baraj emniyeti açısından baraj gövdesinde, yeraltı tektonik hareketlerinden dolayı meydana gelen deformasyonlar da izlenmelidir. Bu deformasyonların baraj güvenliğini tehdit edip etmediğini belirlemek için de analizlerinin yapılması uygun olacaktır (Ceylan ve Ekizoglu, 2012).

4.1. Baraj Rezervuarına Taşınan Sediment Miktarının Belirlenmesi

Bir havzadan veya belirli bir yerden belirli bir zaman süresinde geçen toplam sediment akımına sediment verimi denilmektedir. Ayrıca sediment verimi, birim zamanda geçen ağırlık olarak da ifade edilebilmektedir (DSİ Hidroloji Sözlüğü, 2019).

Yağışın şiddeti ve miktarı, zeminin jeolojik yapısı ve bitki örtüsü, arazinin kullanım şekli, sediment özellikleri ve topografya gibi pek çok özellik ile bu özelliklerin birbirleriyle olan etkileşimleri, bir akarsu havzasının sediment verimini etkileyen faktörler arasındadır.

Havzalardan aşınarak baraj rezervuarına taşınan sediment miktarı da;

- Debi süreklilik eğrisi yöntemi-Sediment anahtar eğrisi yöntemi
- Sediment yığılmalarını ölçme yöntemi
- Sediment verimi yöntemi
- Sediment formülleri
- Baraj yeri için tahmin

yöntemleri kullanılarak belirlenmektedir (Odabaşı, 2011).

Bu yöntemlerden Türkiye’de en çok kullanılan ise sediment verimi yöntemidir. Bu yöntemde, sediment getiren net yağış alanı sabit bir değer olan belirtme katsayısı ile çarpılarak uzun yıllık ortalama sediment miktarı (havzadan bir yılda gelen ortalama sediment miktarı) bulunur. Bu miktar (ton/yıl), süspanse yani yüzer haldeki sediment miktarıdır. Süspanse sediment miktarı ile yatak yükü sediment miktarının toplanarak havza ortalama sediment hacim ağırlığına (ton/m³) bölünmesiyle de hacimsel olarak baraj yeri için gelebilecek toplam sediment miktarı (m³/yıl) elde edilir. Elde edilen toplam

sediment miktarının yağış alanına bölünmesiyle de baraj yeri için gelebilecek toplam sediment verimi ($m^3/yıl/km^2$) hesaplanmış olur. Tez çalışmasının uygulama projesi olan Sarımsaklı Barajının baraj yeri için gelebilecek toplam sediment verimi de $179 m^3/yıl/km^2$ olarak hesaplanmıştır.

4.2. Baraj Rezervuarında Biriken Sediment Miktarının Belirlenmesi

Barajlarda birikecek olan sediment miktarının belirlenmesi, baraj yapımının planlama aşamasında yapılan çalışmalar sırasında hesaplanan ölü hacmin belirlenmesi ile doğrudan ilişkilidir. Baraj rezervuarının toplam hacminin bir kısmını oluşturan ölü hacim; barajın inşa edildiği akarsuyun sediment taşıma kapasitesine bağlı olarak baraj ömrü boyunca akarsuyun, taşıyacağı düşünülen sediment hacmi şeklinde ifade edilmektedir. Sediment hacmini ise;

- Ampirik yaklaşımlar
- Sediment bağıntıları
- Yerinde yapılan ölçümler
- Stokastik yaklaşımlar
- Uzaktan algılama yöntemleri

yardımıyla belirlemek mümkündür (Yıldız ve Kaş, 2007).

Bu yöntemlerden tez çalışmasının uygulama projesinde de kullanılan yerinde yapılan ölçümler yönteminde, belirli zaman aralıklarında yerinde yapılacak ölçümlerle baraj rezervuarında biriken sediment miktarı belirlenmektedir. Ayrıca bu yöntem baraj inşa edilip işletmeye alındıktan sonra da barajdaki sediment birikme hızının belirlenmesinde kullanılmaktadır. Farklı yıllarda yapılan ölçümler sonucunda üretilen hidrografik haritalar karşılaştırılarak da biriken sediment miktarı bulunmaktadır.

Barajlarda biriken sediment miktarını hesaplayarak sediment dağılımını incelemek amacıyla üretilen hidrografik haritalar, baraj planlama çalışmalarında baraja gelen sediment miktarının hesaplanması amacıyla sediment gözlem istasyonlarından alınan ölçümlerin yatak yükünü kapsamaması ve bu nedenle yatak yükünün ayrıca tahminini gerektirmesinden dolayı barajlardaki sediment miktarının belirlenmesi için en güvenilir yöntem olarak kabul edilmektedir (Güvel ve ark., 2017).

4.3. Baraj Rezervuarlarının Depolama Kapasitelerini Koruma Yöntemleri

Baraj rezervuarlarının depolama kapasitelerini koruma yöntemleri ile ilgili çalışmalar uzun zaman öncesinde başlamış ve bu konuda uygulanan teknikler ilk olarak 16. yüzyılda, İspanya'da kullanılmıştır (Brown, 1943). Bu konuda araştırmalarda bulunan kişilerden biri olan Brown'ın, bu yöntemlerle ilgili pek çok kişi tarafından kabul görmüş sınıflandırması ise;

- Kontrolsüz su taşkınlarıyla veya akarsular tarafından taşınan katı maddelerin (sedimentin) rezervuara girişini azaltmak için uygulanan yöntemler
- Rezervuara giren fakat tamamen çökmemiş olan sedimentin birikmesini azaltmak için, rezervuarda birikecek olan sedimentin taşınmasını sağlayacak şartları açıklayan veya akımın hidrolik karakteristiklerinden yararlanılan yöntemler
- Rezervuara giren ve tamamen çökelen sedimentin rezervuardan taşınması için uygulanan mekanik ve hidrolik yöntemler

olarak ifade edilebilir.

Baraj rezervuarlarının depolama kapasitelerini koruma yöntemleri konusunda çalışan pek çok araştırmacı; baraj havzasında yer alan akarsular tarafından taşınarak rezervuara giren sedimenti azaltmak amacıyla uygulanan yöntemlerin, bu konuda uygulanabilecek en faydalı yöntem olduğunu ileri sürmüştür (Brabben, 1988).

Sediment birikimini en aza indirmek için rezervuar bölgesinin dikkatli bir şekilde seçilmesi de önemli bir faktördür. Ayrıca sürüntü malzeme taşınımının yoğun olduğu akarsular üzerinde yapılan barajların projelendirilmesinden önce baraj rezervuarlarının depolama kapasitelerini koruma yöntemleri detaylı bir şekilde inceleyerek bu yöntemler arasında yer alan “çökelen malzemenin taşınması” veya “herhangi bir işlem yapılmaması” alternatifleri, projenin özelliklerine göre fayda-maliyet analizi yapılarak değerlendirilmelidir (Ardıç, 2015).

4.3.1. Rezervuara sediment girişini azaltma yöntemleri

Barajların planlanan ekonomik ömrünün tamamlanabilmesi için sedimentin rezervuar sahasına gitmesini engelleyecek yöntemler arasında havza erozyon ve heyelan önleme çalışmaları, yan derelerden gelen sedimentin engellenmesi, bitki örtüsü

yardımıyla sedimentin tuzaklanması, kontrol barajları ve çevirme kanalları veya tünelleri çalışmaları yer almaktadır.

Havza erozyon ve heyelan önleme çalışmaları:

Bitki örtüsünün yetersiz olduğu baraj ve gölet havzalarında, sediment taşınmasının daha hızlı ve yoğun olmasından dolayı barajlar ve göller hızla dolmaktadır. Bu nedenle büyük emek ve paralar harcanarak tesis edilen baraj ve göllere toprağın taşınmasını önlemek, baraj ve göllerin ömürlerini arttırmak ve su havzalarının korunmasını sağlamak amacıyla baraj havzalarında ağaçlandırma yapma, heyelanları önleme ve akarsu yatağı havzasındaki erozyonu kontrol altına alma çalışmalarının yapılması gerekmektedir. Bu çalışmalar, özellikle büyük havzalarda yüksek maliyet gerektirmekte ve sonuçlarına da belli bir zaman geçtikten sonra ulaşılabilir. Ülkemizde de kamu kurumları işbirliği ile baraj ve yan dere havzalarında erozyon ve rusubat kontrolü amacıyla ağaçlandırma çalışmaları yapılmakta ve başarılı sonuçlar elde edilmektedir (Şekil 4.3).



Kırklareli Barajı (2003)



Kırklareli Barajı (2008)

Şekil 4.3. Kırklareli Baraj havzasında yapılan ağaçlandırma çalışmaları (DSİ Erozyon ve Rusubat Kontrol Şube Müd., 2019)

Yan derelerden gelen sedimentin engellenmesi:

Baraj rezervuarlarına yan derelerden taşınan katı maddelerin (sedimentin) girişinin engellenmesi için alınacak önlemler;

- Sedimentin mekanik veya hidrolik yöntemlerle rezervuardan taşınması
- Sediment yoğunluklu akımın çevrilmesiyle (bypass) veya akarsular üzerindeki kapalı biriktirme havzaları yardımıyla rezervuara sediment girişinin önlenmesi
- Bitki örtüleri, kum kapanları ya da dinlendirme havuzları yardımıyla sedimentin durdurulması

olarak ifade edilebilir (Brabben, 1988).

Bu yöntemlerden kum kapanları, dinlendirme havuzları ve çevirme kanalları/tünelleri ile elde edilebilecek kazanımlar bazı araştırmacılar tarafından şüpheyile karşılanmış ve işletmede yeni problemlerin ortaya çıkabileceği ileri sürülmüştür (Odabaşı, 2011).

Ülkemizde de Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından yan dere mecralarındaki oyulmalar, yamaç göçmeleri, heyelanlar ve kayalık alanlardaki fiziki ayrışmadan kaynaklanan erozyon ve rusubatı önlemek, kontrol etmek ve depolayarak baraj ve gölet rezervuarlarına ve mansaba ulaşmasını engellemek amacıyla yapısal önlemler alınmakta ve bu doğrultuda ıslah edici ve depolayıcı yapılar olan ıslah sekileri, tersip bentleri (Şekil 4.4) ve taban kuşakları inşa edilmektedir (Dinçsoy, 2013).



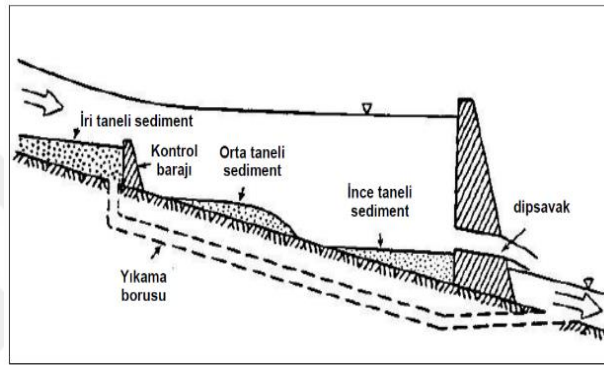
Şekil 4.4. Heyelandan kaynaklanan rusubatı depolamak ve kontrol etmek için inşa edilen tersip bendi, Çamlığöze Barajı Havzası, Uludere, Suşehri/Sivas (Dinçsoy, 2013)

Bitki örtüsü yardımıyla sedimentin tuzaklanması:

Baraj rezervuarlarına akarsular tarafından taşınan katı maddelerin engellenmesi amacıyla yöresel bitkilerle kaplı alanlardan yararlanarak sedimentle yüklü akımı dağıtmak ve böylece yayılmasını sağlayarak hızını azaltmak amaçlanmaktadır (Odabaşı, 2011). Bu işlemin yapılabilmesi için sonrasında bataklıkların oluşacağı uygun bölgeler gerekmektedir. Bazı çalışmacılar (Brabben (1988) gibi) bu yöntemin çökelen sedimentin neden olduğu problemleri arttırdığını düşünmekte ve bu durumun engellenmesi içinde akarsu havzasının yukarı kısımlarında iri taneli sedimentin tutulması için toplanma havuzlarının inşa edilebileceğini önermektedirler.

Kontrol barajları:

Kontrol barajları, taşkınlar ile gelen sedimentin tutulmasını sağlamak ve düşük akım değerlerinde de bu sedimenti uzaklaştırmak amacıyla inşa edilmektedir (Şekil 4.5) (Odabaşı, 2011). Kontrol barajlarının gövde boyutları normal ölçülerdeki barajların gövde boyutlarından küçük olup inşa edilen kontrol barajları yardımıyla sualtı tabanında sürüntü malzemesi olarak taşınan alüvyon malzemeleri ile iri taneli sediment başarılı bir şekilde tutulmaktadır. Kontrol barajlarının yüksek maliyetlerle inşa edilmesi ve ömürlerinin uzun olmaması nedeniyle baraj depolama kapasitesini arttırmak genellikle daha ekonomik olmaktadır.



Şekil 4.5. Rezervuarlara sediment girişini azaltmak için inşa edilen kontrol barajlarının şematik gösterimi (Durgunoglu ve Singh, 1993)

Çevirme (bypass) kanalları veya tünelleri:

Çevirme (bypass) kanalları veya tünelleri kullanılarak taşkınlarla birlikte gelen sediment bakımından yoğun akımın baraj rezervuarına girmeden doğrudan mansaba aktarılması (çevrilerek tekrar yatağa verilmesi) amaçlanmaktadır. Bu yapılardan yararlanan barajlara Amsteg ve Palagnedra Barajları (İsviçre), Gmünd Barajı (Avusturya) ve Nagle Barajı (Güney Afrika) (Şekil 4.6) gibi örnekler verilebilir. Bu yöntemin uygulanıp uygulanamayacağına karar verilmesinde baraj rezervuarının yer aldığı arazinin topografyası, taşınması düşünülen sedimentin tipi ve biriken sedimentin miktarı etkili olmaktadır. Bu yöntem, özellikle rezervuarları küçük olan barajlar için uygundur (Odabaşı, 2011).



Şekil 4.6. 1950 yılında Nagle Baraj rezervuarında yapılan çevirme kanalı (ICOLD, 2009)

4.3.2. Rezervuara giren veya biriken/çökelen sedimentin uzaklaştırılması

Rezervuara giren veya rezervuarda biriken/çökelen sedimentin uzaklaştırılması amacıyla pek çok mekanik ve hidrolik yöntem geliştirilmiştir.

Bu yöntemlerden boşaltma (sluicing) yöntemi, daha çok ince taneli sedimentin yıkanmasında etkili olup taşkınlarla birlikte gelen sediment bakımından yoğun akımın baraj rezervuarında çökmeden mansaba aktarılması ve böylece baraj rezervuarının temiz bir akımla doldurulması şeklinde ifade edilmektedir (Odabaşı, 2011). Boşaltma yöntemlerinden en etkili olanı da yoğunluk akımlarının boşaltılması yöntemidir. Ayrıca yıkama yöntemlerinden biri olan ve özellikle depolama amaçlı rezervuarlarda uygulanan yoğunluk akımlarının yıkanması yöntemi de boşaltma yönteminde uygulanan tekniğe örnek olarak verilebilir.

Rezervuara giren sediment birikmiş/çökelmiş ise uygulanacak yöntemlerden en çok kullanılan ve amacına ulaşanı da yıkama yöntemi (flushing)'dir (Şekil 4.7). Bu yöntem, daha çok iri taneli sedimentin yıkanmasında etkili olup baraj rezervuarındaki akım hızının artırılması ile sedimenti yıkayarak taşınımın sağlanması şeklinde ifade edilmektedir. Yıkama yöntemi genel olarak dipsavaklar yardımıyla uygulanmaktadır. Bu yöntemin uygulanması için farklı teknikler geliştirilmiş olup bunlar, basınçlı yıkama yöntemi, rezervuar su seviyesini alçaltarak yıkama yöntemi, boşaltma ve yıkama yöntemi ve yoğunluk akımlarının yıkanması yöntemi olmak üzere dört gruba ayrılmaktadır.



Şekil 4.7. Sanmenxia Barajında biriken sedimentin yıkama yöntemiyle uzaklaştırılması (ICOLD, 2009)

Yıkama ve boşaltma yöntemleri, geçmişten günümüze kadar dünyada birçok rezervuarda uygulanmış ve birbirinden farklı sonuçlar elde edilerek ancak belli koşullar altında uygulandıkları rezervuarlarda fayda sağlamışlardır. Rezervuara giren veya biriken/çökelen sedimentin uzaklaştırılması amacıyla uygulanan yıkama ve boşaltma yöntemleri, olayın fiziksel oluşumunun anlaşılmasından daha çok uygulama ile elde edilen deneyimlerden faydalanılarak geliştirilmiştir. Yıkama ve boşaltma yöntemleri için planlama aşamasında oluşan en büyük problem, her rezervuarın topografik yapısı ve baraj tipi gibi özelliklerinin farklı olmasından dolayı boşaltma ya da yıkama zamanı ile süresinin belirlenmesidir (Odabaşı, 2011). Bu yöntemler genellikle taşkın zamanında yapılan yıkamalar ile sediment birikimin önlenemediği rezervuarlarda uygulanmaktadır (Pekmezci ve Buttanrı, 2011).

Rezervuarlarda biriken/çökelen sedimentin uzaklaştırılması amacıyla uygulanan hidrolik ve mekanik taşıma yöntemleri de mevcuttur. Bu yöntemler ekonomik açıdan maliyetli olması nedeniyle genellikle büyük rezervuarların lokal bölgelerinde veya küçük rezervuarlarda uygulanabilmektedir. Ayrıca hidrolik veya mekanik tarama ve sifonlama yöntemleriyle de rezervuarda birikmiş olan sediment uzaklaştırılabilmektedir.

5. UYGULAMA

5.1. Çalışma Alanı

Baraj sedimentasyonunun değerlendirilmesi amacıyla çalışma alanı olarak ele alınan Sarımsaklı Barajı, Kayseri ili Sarımsaklı mevkiinde bulunmakta olup DSİ 12. Bölge Müdürlüğü (Kayseri) sınırları içerisinde yer almaktadır.

Baraj, 1/25000 ölçekli K35-a2 ve K35-b1 paftalarında bulunmakta olup coğrafi konum olarak da $38^{\circ}.885$ enlemi ve $35^{\circ}.748$ boylamında yer almaktadır (Şekil 5.1).



Şekil 5.1. Sarımsaklı Barajı ve barajın konumu (Google earth, 2019)

Çizelge 5.1. Sarımsaklı Barajı teknik özellikleri (DSİ Harita Şube Müd., 2019)

Adı	SARIMSAKLI
İli	Kayseri
Bölgesi	DSİ 12. Bölge Müdürlüğü
Havzası	Kızılırmak
Akarsuyun Adı	Sarımsaklı Çayı
Amacı	Sulama ve Taşkın Kontrolü
İnşaatın Başlama-Bitiş Yılı	1962 - 1968
Tipi	Kil Çekirdekli Zonlu Toprak Dolgu
Kret Uzunluğu	578 m
Gövde Hacmi	1582 dam ³
Yükseklik (Temelden)	42 m
Yükseklik (Talvegden)	40 m
Maksimum Su Kotunda Göl Hacmi	34.83 hm ³
Maksimum Su Kotunda Göl Alanı	2.44 km ²
Yağış Alanı	420 km ²
Sulama Alanı (Brüt)	6400 ha
Sulama Alanı (Net)	5000 ha

Yapımına 1962 yılında başlanan Sarımsaklı Barajı, sulama ve taşkın kontrolü amacıyla Kızılırmak Havzası Sarımsaklı Çayı üzerine inşa edilmiş olup 1968 yılında da işletmeye alınmıştır. Barajın karakteristik özellikleri de Çizelge 5.1’de verilmiştir.

Sarımsaklı Barajının kuzeybatı yönünde baraj bendi ve bağlantı yolları, baraj çevresinde de piknik alanı, bağlantı yolları, tarlalar ve fidanlıklar bulunmaktadır.

5.2. Sediment Miktarının Belirlenmesinde Kullanılan Hidrografik Haritalara ait Bilgiler

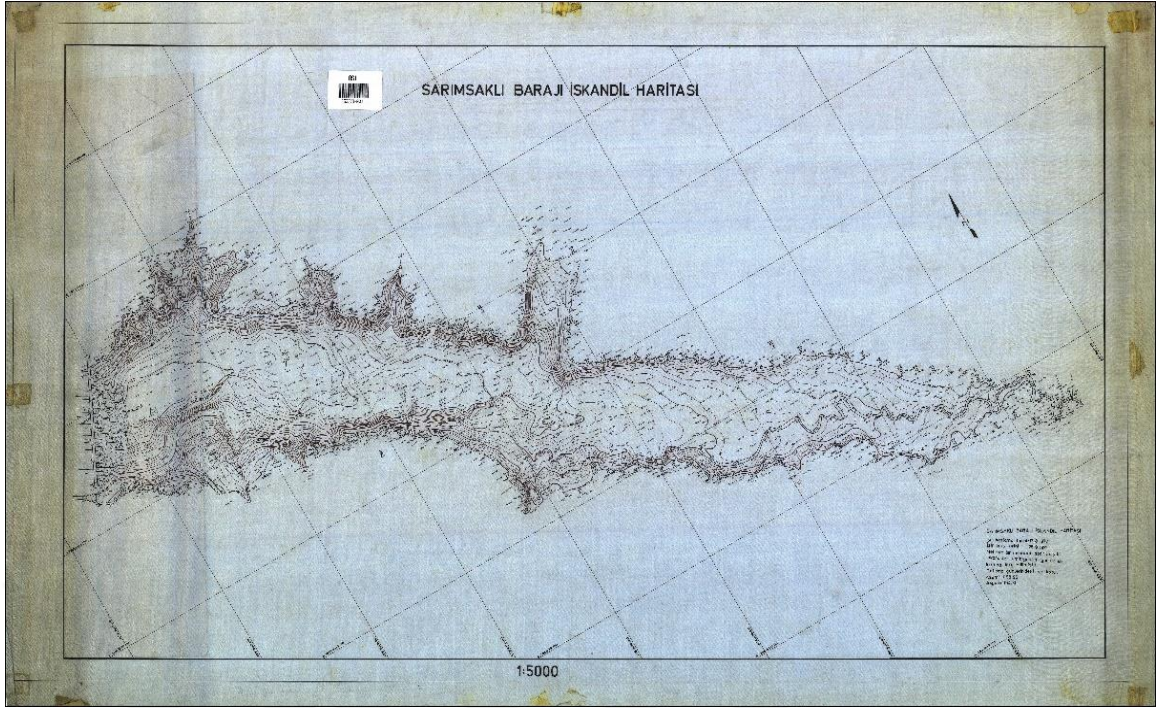
Sarımsaklı barajında biriken sediment miktarının hesaplanması amacıyla barajın 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait 1/5000 ölçekli hidrografik haritaları kullanılmıştır. Söz konusu hidrografik haritalar farklı ölçme yöntemleri ve farklı ölçme aletleri kullanılarak üretilmiştir.

1968 yılında baraj proje çalışmalarında altlık olarak kullanılan 1/5000 ölçekli harita, 1957 yılında Harita Genel Müdürlüğü’nün analog kameralarla çekmiş olduğu ve 1/16 000 ölçekli hava fotoğraflarından ürettiği haritadır.

1972 ve 1982 yıllarında üretilen 1/5000 ölçekli hidrografik haritalarda ise yatay konumlar, takeometre ve teodolitlerle ileriden kestirme yöntemiyle belirlenirken, derinliklerde Fruno marka echosounder (Şekil 5.2) kullanılarak özel kayıt kağıdı üzerine çizilen profilden, özel bir cetvelle ölçülerek belirlenmiştir (Fakıoğlu, 2005). Karada ve suda ölçülen bütün verilerde harita teknik ressamı tarafından elle kağıda aktararak haritalar çizilmiştir (Şekil 5.3, Şekil 5.4 ve Şekil 5.5). Bu sebeple 1972 ve 1982 yıllarına ait hidrografik haritaların sayısal ortamda çizimi bulunmamaktadır.



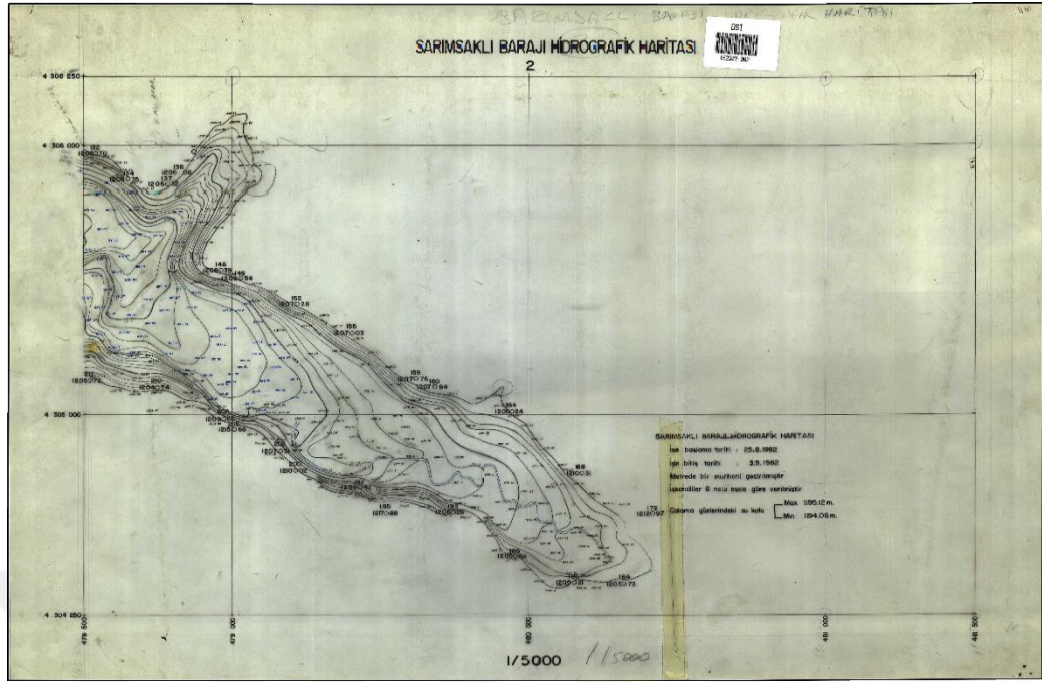
Şekil 5.2. Fruno marka echosounder (DSİ Harita Şube Müd., 2019)



Şekil 5.3. Sarımsaklı Barajı 1972 yılına ait hidrografik harita (DSİ Harita Şube Müd., 2019)



Şekil 5.4. Sarımsaklı Barajı 1982 yılına ait hidrografik harita pafta:1 (DSİ Harita Şube Müd., 2019)



Şekil 5.5. Sarımsaklı Barajı 1982 yılına ait hidrografik harita pafta:2 (DSİ Harita Şube Müd., 2019)

2013 yılında üretilen 1/5000 ölçekli hidrografik haritada da 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 (Fakioğlu, 2014).

Otomatik veri toplama sistemi genel olarak hidrografik donanım ve hidrografik yazılım olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Sistemde yer alan başlıca donanımlar;

- Konum ölçmelerinde kullanılan GPS, GLONASS gibi uydu sistem alıcıları,
- Ölçme taşıtının yönlendirilmesi için Gyro, özel pusula vb.,
- Ölçmelerdeki ses hızı, bat-çık (heave), boyuna salınım (pitch) ve yalpa (roll) gibi etkileri gidermek/azaltmak için kullanılan sensörler,
- Derinlik ölçmelerinde kullanılan sayısal ve grafik çıkışlı çift frekanslı derinlik ölçer,
- Konum ve derinlik bilgilerinin bir yazılım desteğinde depolanacağı bir PC veya Notebook bilgisayardan

oluşurken hidrografik yazılımın esas görevi de eş zamanlı konum ve derinlik bilgilerini ve diğer sensör ya da sistemlerden gelen verileri birleştirerek depolamasıdır (Kalkan ve Alkan, 2005).

Otomatik veri toplama sistemi kullanılarak yapılan ölçmeler, noktaların homojenliği, ölçme hatlarının düzgünlüğü, çok yüksek ölçme hızı ve doğruluğu sağlanması, konum ve derinlik ölçmelerinin eş zamanlı yapılması ve gerektiğinde tek bir kişiyle de ölçmelerin yapılabilmesi gibi konularda klasik hidrografik ölçmelere göre daha üstündür (Fakıoğlu, 2014).

2013 yılında üretilen 1/5000 ölçekli hidrografik haritada arazinin kara (barajın ölçüm günündeki su kotu ile kret kotu arasında kalan kısmı) kısmında yapılan detay alımı da yersel yöntemle ölçülmüş ve sayısal ortamda elde edilen detay verilerinden de harita çizilmiştir. Harita yapımında kullanılan ekipmanlar ve teknik özellikleri de Çizelge 5.2.'de verilmiştir.

Çizelge 5.2. 2013 yılında harita yapımında kullanılan ekipmanlar ve teknik özellikleri (Fakıoğlu, 2014)

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+0.5ppm, L1 için H:5mm+0.5ppm RTK (OTF) Hassasiyeti: L1 +L2 için: 10mm+1.0ppm, L1 için H:15mm+1.0ppm 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.

5.3. Sarımsaklı Barajının Planlama Aşamasında Yapılan Elli Yılda Baraja Gelebilecek Sediment Miktarının Hesabı

Barajları besleyen akarsuların taşıdığı katı maddelerin baraj rezervuarlarında birikmesi sonucu barajların depolama kapasitelerinde zaman içerisinde kayıpların olduğu gözlemlenmiştir. Bu yüzden barajların planlama aşamalarında elli yılda baraja gelebilecek sediment miktarı ve sediment hacmi hesaplanmaktadır.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Sarımsaklı Barajının planlama aşamasında elli yılda baraja gelebilecek sediment miktarının hesabında, Sarımsaklı Baraj yerine gelebilecek sediment miktarı tahmininde kullanılabilir sediment gözlem istasyonunun olmaması nedeniyle 15 no'lu Kızılırmak havzasında ölçülmüş tüm sediment gözlem istasyonlarının değerlerinden yararlanılmıştır. Elde edilen değerlerin ortalaması alınarak da Kızılırmak Havzasının ortalama **Süspanse sediment verimi: 160 ton/yıl/km²** ve **Sediment hacim ağırlığı: 1.32 ton/m³** olarak bulunmuştur. **Yatak yükü** olarak ise; süspanse sedimentin % 25'i kabul edilmiştir.

Havzanın genel denklemi, “ $Q_s = 189.5 \cdot A$ ve $R^2 = 0.82$ ” olmak üzere denklemde geçen terimler;

Q_s : Uzun yıllık ortalama sediment miktarını (ton/yıl)

A : Net yağış alanını (km²)

R^2 : Belirtme katsayısını

ifade etmektedir (Yalçın ve Uludağ, 2013).

Sarımsaklı Barajının yağış alanı 420 km²'dir. Havza genel denkleminde net yağış alanı 420 km² alınarak süspanse sediment miktarı (yanlızca yüzer haldeki sediment miktarı) 79.590 ton/yıl hesaplanmıştır. Hesaplanan süspanse sediment miktarına, süspanse sedimentin %25 kadarı yatak yükü (yuvarlanan/sürüklenen sediment) olarak ilave edilmiş ve bulunan toplam değer Kızılırmak Havzasının ortalama sediment hacim ağırlığına bölünerek baraja gelebilecek toplam sediment miktarı 75.369 m³/yıl bulunmuştur. Elde edilen toplam sediment miktarının yağış alanına bölünmesiyle de baraja gelebilecek toplam sediment verimi (yatak+süspanse) 179 m³/yıl/km² olarak, toplam sediment miktarının 50 yıl ile çarpılmasıyla da baraja gelebilecek sediment miktarı 3.77 hm³/50 yıl olarak hesaplanmıştır (Yalçın ve Uludağ, 2013).

5.4. Sediment Miktarının Belirlenmesinde Kullanılan Yazılımlar

NetCad, coğrafi bilgi sistemleri kullanıcıları ve mühendislik alanında çalışanlar için tasarlanmış uluslararası standartları destekleyen bir yazılımdır. Kullanım amaçlarına göre birbirinden farklı modüllere sahip olup yapılan çalışma kapsamında da Anamodül uygulamaları ve NetSurf modülü kullanılmıştır. Anamodül uygulamaları proje oluşturma süreçlerinde gerekli olan tüm aşamaları kapsamaktadır. Bu aşamalar, temel harita ve projeksiyon bilgisi, proje parametrelerinin oluşturulması, coğrafi referanslama, veri üretimi, görüntüleme, düzenleme ve sorgu işlemleri, mevzuatlara uygun harita ve proje üretimi, paftalama ve çıktı işlemleri gerçekleştirilmesi süreçlerini içermektedir. NetSurf modülü ise halihazır harita üretimini tüm aşamaları ile gerçekleştiren, arazi verilerinden sayısal arazi modeli oluşturan üzerinde hesaplamalar ve kot değerlerine bağlı çok çeşitli analiz işlemlerini gerçekleştiren, eş potansiyel eğrilerini, enkesit ve boykesitleri oluşturabilen, kübaj hesaplamalarını yapabilen bir NetCad modülüdür (NetCad Portal, 2019).

Global Mapper ise coğrafi bilgi sistemleri sektörüne hem yeni başlayanlar için hem de tecrübeli kullanıcılar için dünya üzerinde bulunan birçok vektör ve raster dosya formatını destekleyen bir görüntüleyicinin yanında bu verilerin birçok formata dönüştürebilmesine, düzenlenmesine ve çıktı alınabilmesine ayrıca GPS ile takip yapılabilmesine olanak sağlayan bir yazılımdır. Global Mapper, iki boyutlu veya üç boyutlu, bulut üzerinde veya yerel, raster veya vektör, dosya tabanlı veya uzamsal veritabanı olsun, neredeyse her türlü jeo uzamsal veriyi görüntüleme, dönüştürme ve analiz etme yeteneğine sahiptir. Global Mapper yazılımı yardımıyla mesafe ve alan hesaplamaları, raster birleştirme, yumuşatma, spektral analiz, yükseklik sorgulama, görüş hattı hesaplamaları, kes-dolgu hacim hesaplamaları yanı sıra görüntü geometrik düzeltme, yüzey verisinden kontur üretimi, görünüm analizi, havza sınırlarının çizilmesi, 3B nokta verisinin üçgenlenmesi ve gridlenmesi, deniz seviyesi yükselme modellemesi gibi uygulamalar yapılabilmektedir. Yapılan çalışma kapsamında da baraaja ait hidrografik haritalardan oluşturulan sayısal arazi modelleri kullanılarak Global Mapper yazılımı yardımıyla alan-hacim hesaplamaları yapılmış ve üç farklı yıla ait hidrografik haritaların boykesit ve enkesitleri oluşturulmuştur (NİK Sistem, 2019).

PDS yazılımı da Reson'un kendi bünyesinde geliştirdiği hidrografik araştırma ve tarama işlemleri için kullanılan bir yazılımdır. PDS yazılımı yardımıyla, bir veya daha fazla sensörden gelen verileri gerçek zamanlı olarak okumak, verilerle hesaplamalar

yapmak, yapılan hesaplamaların sonuçlarını görüntülemek, aynı anda verileri kaydetmek, hacim hesaplamaları yapmak, üç boyutlu görüntülemek ve grafik üretmek gibi uygulamalar yapılabilmektedir. PDS yazılımı, tehlikeli alanlar için deniz tabanını veya nehir yataklarını ölçmeyi, tarama işini, inşaat çalışmalarını ve güvenli navigasyonu içeren birçok uygulamada kullanılmaktadır. Yapılan çalışma kapsamında da baraja ait hidrografik haritalardan oluşturulan sayısal arazi modelleri kullanılarak PDS yazılımı yardımıyla alan-hacim hesaplamaları yapılmıştır (Teledyne PDS, 2019).

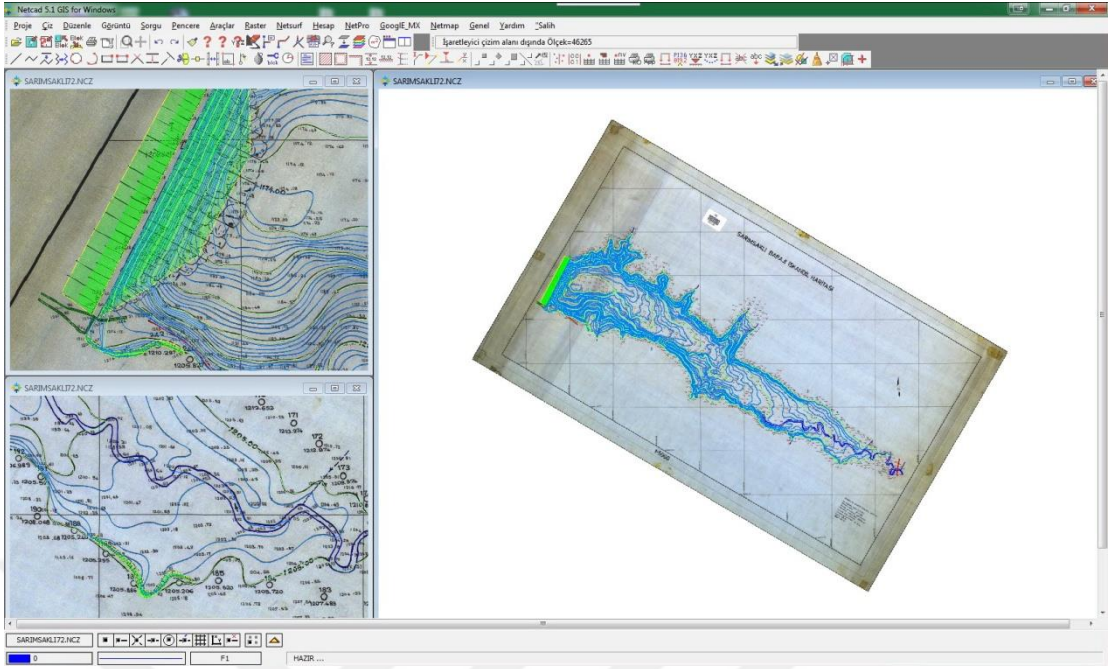


6. ARAŞTIRMA BULGULARI VE TARTIŞMA

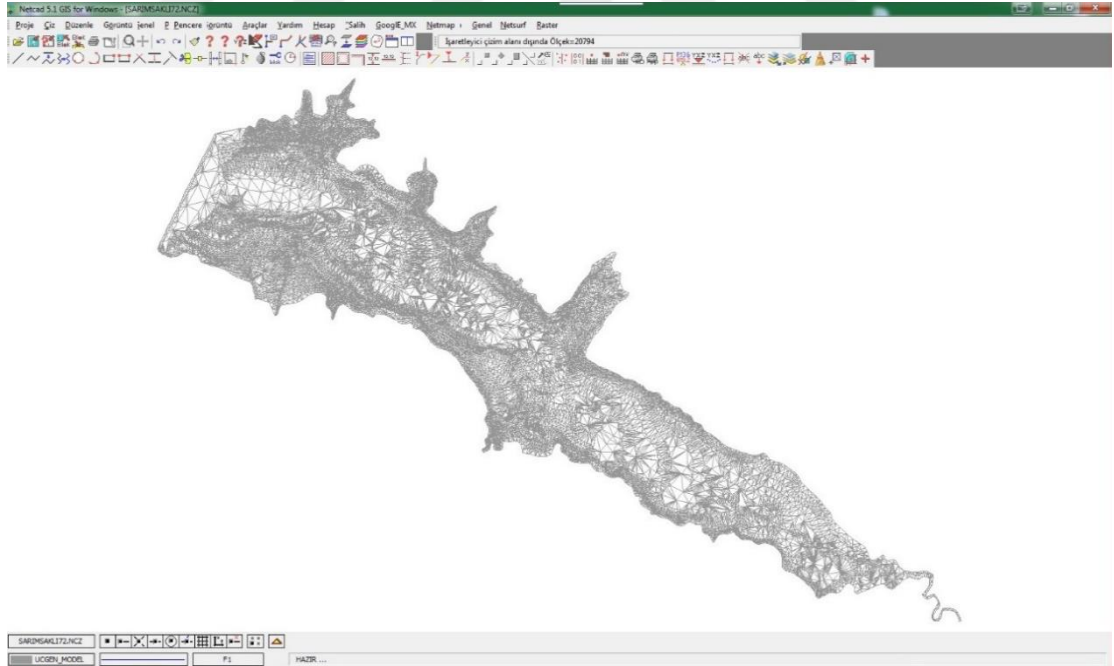
6.1. Sarımsaklı Barajına ait Hidrografik Haritaların Sayısallaştırılması ve Sayısal Arazi Modellerinin Oluşturulması

Sarımsaklı Barajının 1972, 1982 ve 2013 yıllarında üretilen hidrografik haritalarından yararlanarak baraj işletim süresi içerisinde barajda biriken sediment miktarını belirleyebilmek için öncelikle sayısal ortamda bulunmayan haritaların sayısal hale getirilmesi gerekmiştir. Bu amaç doğrultusunda ilk olarak Sarımsaklı Barajının 1972 ve 1982 yıllarında sayısal ortamda üretilmeyen hidrografik haritalarının NetCad5.1 yazılımı yardımıyla sayısallaştırma işlemleri gerçekleştirilmiştir. Sayısallaştırma işlemleri için öncelikle 1972 ve 1982 yıllarındaki hidrografik haritalara ait paftalar TIFF formatına dönüştürülmek için taranmıştır. Taranan paftaların koordinatlandırılabilmesi için paftalar NetCad5.1 yazılımına yüklenerek Afin dönüşümü yapılmıştır. Dönüşüm, grafik ekranda yüklü olan pafta üzerinde koordinatları bilinen dört nokta kullanılarak gerçekleştirilmiş ve dönüşüm hata oranının üst sınırı 1 m olmak üzere karesel ortalama hata değeri bu sınır içerisinde hesaplanarak dönüşümler başarıyla tamamlanmıştır. Böylece koordinatlandırılan paftalar yardımıyla 1972 ve 1982 yıllarına ait hidrografik haritaların sayısallaştırma işlemlerine başlanmıştır. Sayısallaştırma işlemlerinde eş yükseklik eğrileri başta olmak üzere iskandil noktaları, şevler, dereler, çaylar, yollar vb. tüm detaylar sayısallaştırılmıştır (Şekil 6.1). Sayısallaştırma işlemleri ile oluşturulan eş yükseklik eğrileri kotlandırıldıktan sonra önemli görülen detaylarda (dere, çay, yol gibi) sayısal arazi modelinde daha net belli olması için enterpolasyon yöntemiyle kotlandırılmıştır.

Sarımsaklı Barajının işletim süresi içerisinde barajda biriken sediment miktarının belirlenebilmesi amacıyla yapılacak olan, baraj rezervuarına ait farklı su seviyelerindeki yüzey alan ve hacim hesaplamaları için hidrografik haritaların sayısal arazi modellerine ihtiyacımız vardır. Bu nedenle sayısal hale getirilen 1972 ve 1982 yıllarındaki hidrografik haritaların NetCad5.1 yazılımının NetSurf modülü yardımıyla eş yükseklik eğrileri, iskandil noktaları ve karada ölçülen noktaları kullanılarak sayısal arazi modelleri oluşturulmuştur (Şekil 6.2).



Şekil 6.1. Sarımsaklı Barajı sayısallaştırma işlemine örnek
(1972 yılına ait hidrografik harita)



Şekil 6.2. Sarımsaklı Barajı sayısal arazi modeli oluşturma işlemine örnek
(1972 yılına ait hidrografik harita)

Sarımsaklı Baraj rezervuarına ait farklı su seviyelerindeki yüzey alan ve hacim hesaplamalarının aynı özellikteki hidrografik haritalar üzerinden yapılabilmesi için de

1972 ve 1982 yıllarında üretilen ED50 datumundaki hidrografik haritaların, 2013 yılında sayısal olarak üretilen ITRF96 datumundaki hidrografik harita ile uyum sağlaması için 1972 ve 1982 yıllarında üretilen hidrografik haritalar ITRF96 datumuna dönüştürülmüştür.

Dönüşüm için öncelikle üç adet TUTGA noktası (BOGZ, GEME ve KAYS), üç adet ana nivelman noktası (AN1, AN60 ve AN164) ve arazide tesis edilen P.1 poligon noktası ile N.1 ve N.2 nirengi noktalarından yararlanılarak NetCad5.1 yazılımı yardımıyla Helmert dönüşümü yapılmış ve bulunan parametre değerleri yardımıyla da ED50 datumundaki hidrografik haritalar ITRF96 datumuna dönüştürülmüştür (Çizelge 6.1).

Çizelge 6.1. Koordinatları bilinen noktalardan yararlanılarak yapılan Helmert Dönüşümü ve bulunan parametreler

DÖNÜŞÜM ORTAK NOKTALARI				
NOKTA NO	I.SİSTEM <KOORDİNATLAR>		II.SİSTEM	
	Y	X	Y	X
N.1	476900.918	4306882.884	476878.948	4306700.776
N.2	476890.237	4306094.221	476868.269	4305912.117
P.1	476973.254	4306641.276	476951.285	4306459.169
BOGZ	435669.636	4340444.574	435647.834	4340262.264
GEME	507007.160	4339242.124	506985.014	4339059.888
KAYS	458658.938	4286418.945	458637.076	4286236.919
AN1	475751.964	4307186.111	475730.000	4307004.000
AN60	475852.552	4305868.869	475830.588	4305686.765
AN164	479802.600	4304625.225	479780.618	4304443.131
ÖLÇEK KATSAYISI = 0.999995158				
DÖNÜKLÜK = -0.000060613				
ORTALAMA HATA = 0.000418958				

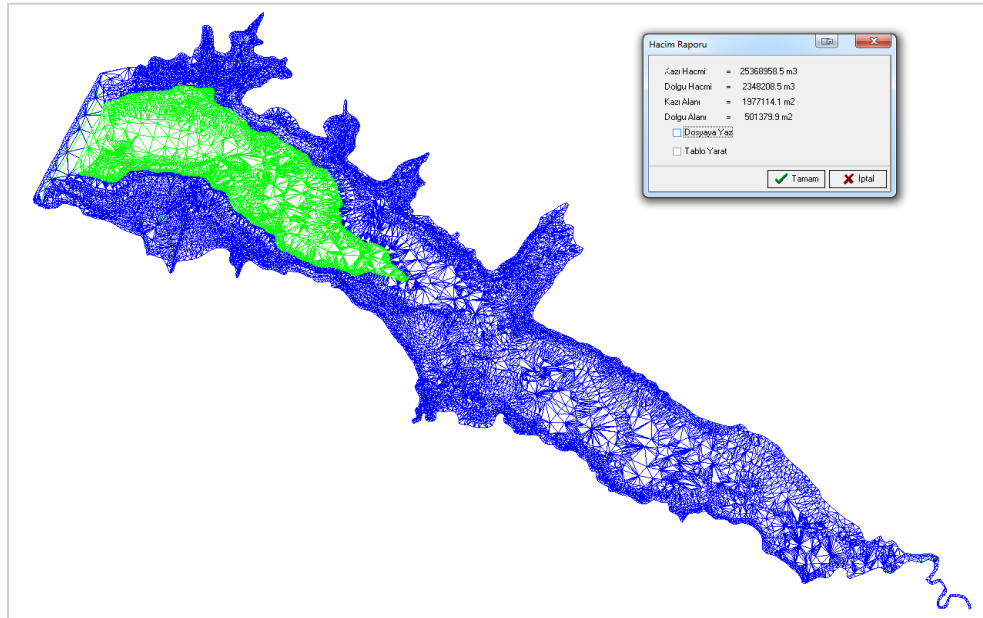
ORTAK NOKTALARIN DÖNÜŞÜM SONRASI KOORDİNATLARI				
NOKTA NO	II.SİSTEM <KOORDİNATLAR>		HATALAR	
	Y	X	Vy	Vx
N.1	476878.948	4306700.776	0.000	-0.000
N.2	476868.268	4305912.117	-0.001	-0.000
P.1	476951.284	4306459.169	-0.001	0.000
BOGZ	435647.834	4340262.264	0.000	0.000
GEME	506985.014	4339059.888	-0.000	-0.000
KAYS	458637.076	4286236.919	0.000	-0.000
AN1	475730.000	4307004.000	-0.000	0.000
AN60	475830.588	4305686.765	0.000	-0.000
AN164	479780.619	4304443.131	0.001	-0.000

DÖNÜŞÜM PARAMETRELERİ				
A=		C=		CY=
B=		D=		CX=
0.99999516		-0.00000095		-15.560
0.00000095		0.99999516		-161.707
NOKTA NO	DÖNÜŞÜM ÖNCESİ <KOORDİNATLAR>		DÖNÜŞÜM SONRASI	
	Y	X	Y	X
P.1	476973.254	4306641.276	476951.285	4306459.169
N.1	476900.918	4306882.884	476878.948	4306700.776
N.2	476890.237	4306094.221	476868.269	4305912.117
BOGZ	435669.636	4340444.574	435647.834	4340262.264
GEME	507007.160	4339242.124	506985.014	4339059.888
KAYS	458658.938	4286418.945	458637.076	4286236.919
AN1	475751.964	4307186.111	475730.000	4307004.000
AN60	475852.552	4305868.869	475830.588	4305686.765
AN164	479802.600	4304625.225	479780.618	4304443.131

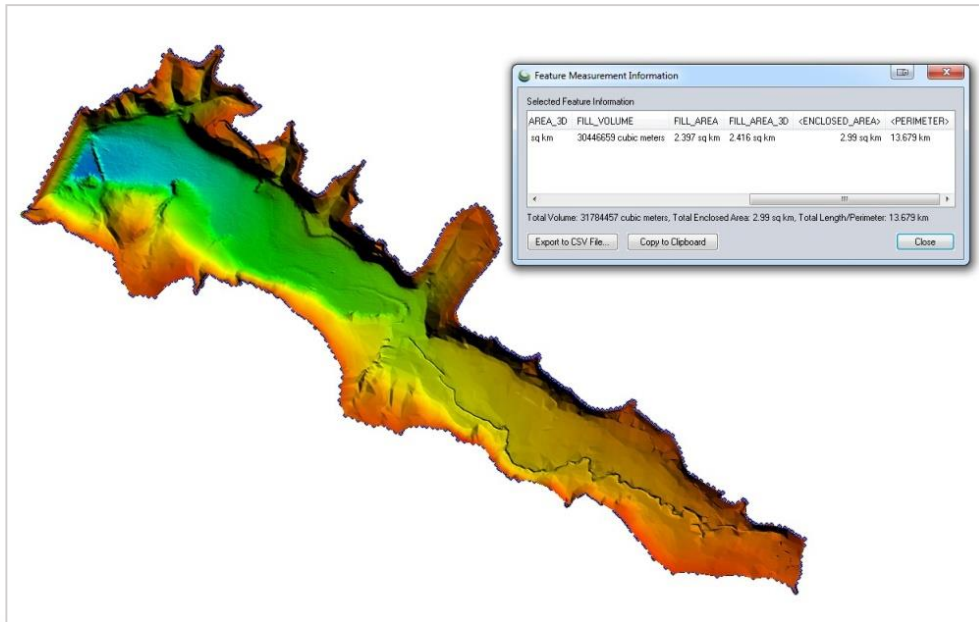
6.2. Sarımsaklı Barajına ait Sayısal Hidrografik Haritalardan Yararlanarak Baraj Rezervuarına ait Farklı Su Seviyelerindeki Alan-Hacim Hesaplamalarının Yapılması

Sarımsaklı Barajının 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait hidrografik haritalarının sayısal arazi modelleri oluşturulduktan sonra bu modellerden yararlanarak baraj rezervuarına ait farklı su seviyelerindeki yüzey alan ve hacim hesaplamaları yapılmıştır. 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait yapılan bu hesaplamalar, elde edilen baraj rezervuarına ait farklı su seviyelerindeki yüzey alan ve hacim değerlerinin kontrolünü sağlamak amacıyla bütün haritalarda, harita üzerinden belirlenen en düşük kot değerinden (1173 kotu) kret kotuna (1208 kotu) kadar metrede bir olacak şekilde NetCad, Global Mapper ve PDS2000 yazılımları yardımıyla ayrı ayrı hesaplanmış (Şekil 6.3, Şekil 6.4, Şekil 6.5) ve yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen baraj rezervuarına ait farklı su seviyelerindeki yüzey alan ve hacim değerlerinin karşılaştırılması için de çizelgeler ve grafikler oluşturulmuştur (Şekil 6.6, Şekil 6.7, Şekil 6.8, Şekil 6.9, Şekil 6.10, Şekil 6.11; Çizelge 6.2, Çizelge 6.3).

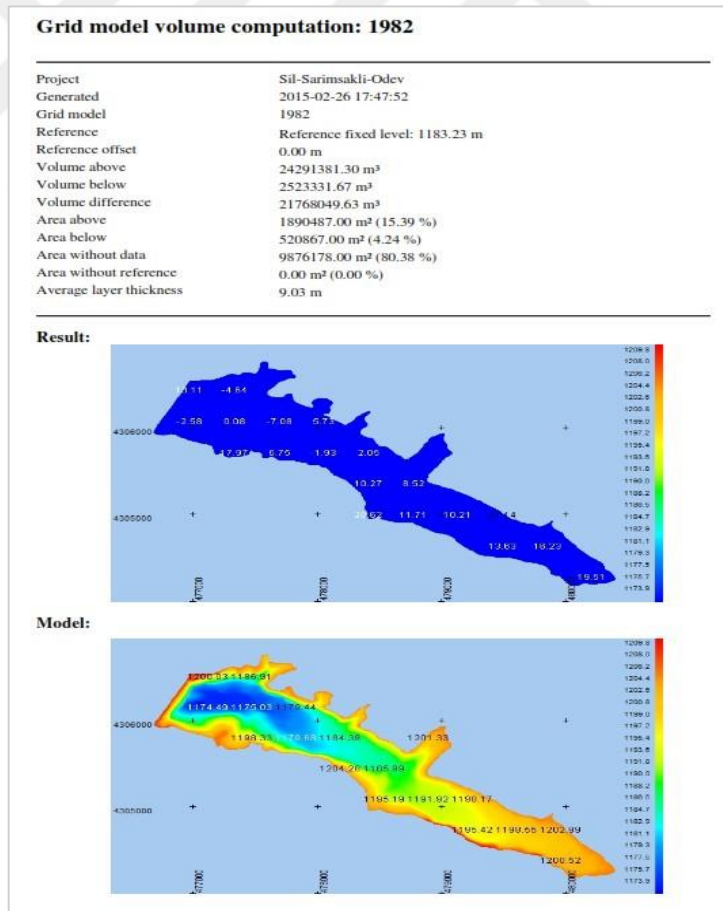
Çizelge 6.2 ve Çizelge 6.3'te 1183.23 kotu minimum su kotunu, 1205 kotu maksimum su kotunu ve 1208 kotu da kret kotunu göstermektedir.



Şekil 6.3. NETCAD yazılımı yardımıyla yapılan yüzey alanı ve hacim hesabına örnek (1972 yılı hidrografik haritası 1183.23 kotu)



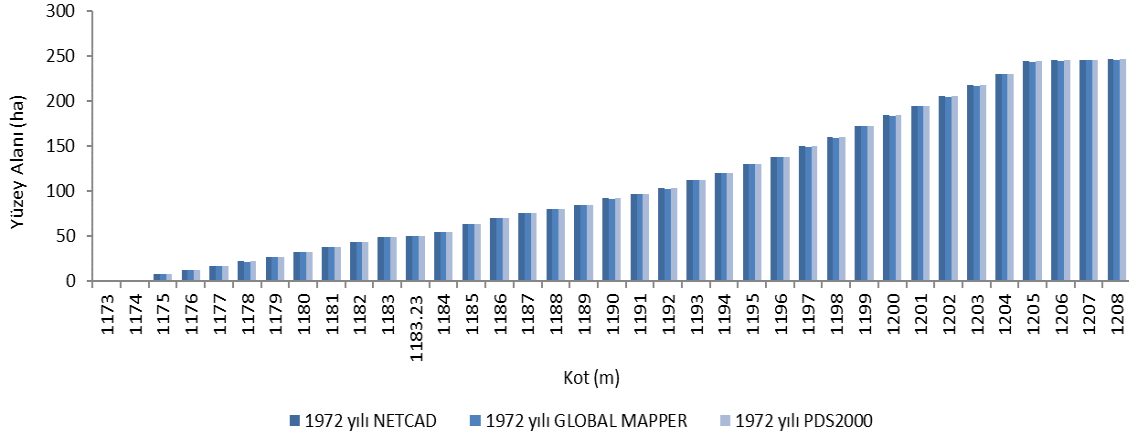
Şekil 6.4. GLOBAL MAPPER yazılımı yardımıyla yapılan yüzey alanı ve hacim hesabına örnek
(2013 yılı hidrografik haritası 1205 kotu)



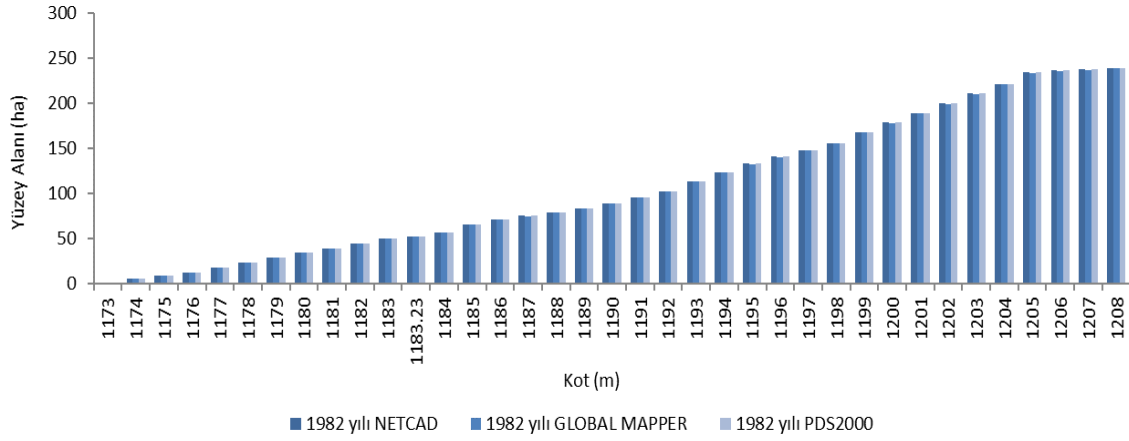
Şekil 6.5. PDS2000 yazılımı yardımıyla yapılan yüzey alanı ve hacim hesabına örnek
(1982 yılı hidrografik haritası 1183.23 kotu)

Çizelge 6.2. 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait farklı yazılımlarla hesaplanan yüzey alanları (ha)

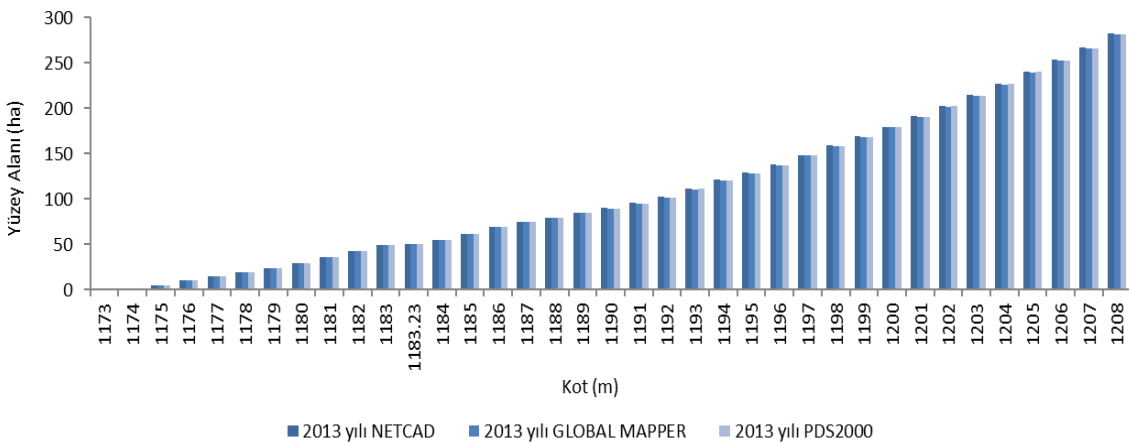
Sıra No	Kot (m)	1972 yılı			1982 yılı			2013 yılı		
		NETCAD	GLOBAL MAPPER	PDS2000	NETCAD	GLOBAL MAPPER	PDS2000	NETCAD	GLOBAL MAPPER	PDS2000
1	1173	0.000	0.000	0.000	0.210	0.209	0.210	0.000	0.000	0.000
2	1174	0.700	0.697	0.700	5.663	5.607	5.690	0.785	0.772	0.786
3	1175	7.719	7.683	7.725	9.278	9.242	9.280	4.941	4.929	4.940
4	1176	12.126	12.088	12.135	12.894	12.860	12.900	10.765	10.742	10.767
5	1177	16.917	16.867	16.921	18.284	18.244	18.286	15.038	15.014	15.038
6	1178	21.649	21.594	21.653	23.526	23.469	23.529	19.166	19.126	19.165
7	1179	26.937	26.895	26.940	28.977	28.927	28.982	23.997	23.954	23.999
8	1180	32.436	32.347	32.441	34.695	34.581	34.698	29.655	29.592	29.653
9	1181	37.860	37.781	37.865	39.510	39.413	39.512	35.820	35.747	35.823
10	1182	43.688	43.570	43.697	44.766	44.659	44.773	42.998	42.909	42.998
11	1183	48.851	48.769	48.857	50.559	50.452	50.567	49.120	49.016	49.121
12	1183.23	50.138	50.036	50.136	52.088	51.987	52.087	50.429	50.326	50.429
13	1184	54.754	54.658	54.760	57.162	57.037	57.170	55.068	54.964	55.066
14	1185	63.106	62.925	63.112	65.972	65.757	65.978	61.886	61.762	61.887
15	1186	69.963	69.801	69.964	71.740	71.553	71.747	69.438	69.299	69.437
16	1187	75.263	75.102	75.268	75.384	75.220	75.383	75.256	75.104	75.253
17	1188	80.089	79.912	80.094	78.984	78.820	78.983	79.272	79.116	79.273
18	1189	84.928	84.792	84.930	83.756	83.594	83.762	84.569	84.381	84.552
19	1190	91.761	91.516	91.763	89.388	89.217	89.392	90.052	89.571	89.731
20	1191	96.798	96.598	96.799	95.592	95.404	95.599	95.627	95.110	95.301
21	1192	102.810	102.624	102.814	102.699	102.496	102.703	102.425	101.890	102.109
22	1193	111.928	111.696	111.936	113.953	113.715	113.961	111.498	110.808	111.032
23	1194	119.792	119.584	119.795	123.476	123.247	123.483	121.169	120.466	120.698
24	1195	130.335	129.986	130.341	133.403	132.954	133.414	129.061	128.340	128.589
25	1196	138.047	137.757	138.056	140.937	140.609	140.943	138.091	137.338	137.619
26	1197	149.424	149.115	149.409	148.485	148.195	148.491	148.594	147.832	148.130
27	1198	159.616	159.318	159.626	156.187	155.898	156.186	159.124	158.335	158.658
28	1199	172.411	172.042	172.423	168.054	167.700	168.066	169.105	168.315	168.642
29	1200	184.265	183.786	184.279	178.706	178.377	178.708	179.840	179.045	179.401
30	1201	194.497	194.099	194.501	189.470	189.093	189.476	191.345	190.533	190.906
31	1202	205.046	204.655	205.047	199.797	199.395	199.800	202.786	201.960	202.336
32	1203	217.397	217.001	217.402	211.056	210.651	211.058	214.532	213.635	214.053
33	1204	229.908	229.511	229.917	221.559	221.202	221.560	227.238	226.313	226.758
34	1205	244.359	243.719	244.316	234.641	234.047	234.650	240.776	239.735	240.240
35	1206	245.373	244.722	245.455	236.891	236.212	236.914	253.551	252.535	253.047
36	1207	245.921	245.264	246.002	238.125	237.445	238.150	266.693	265.687	266.188
37	1208	246.835	246.074	246.733	239.651	238.879	239.501	282.132	281.097	281.681



Şekil 6.6. 1972 yılına ait farklı yazılımlarla hesaplanan yüzey alanları



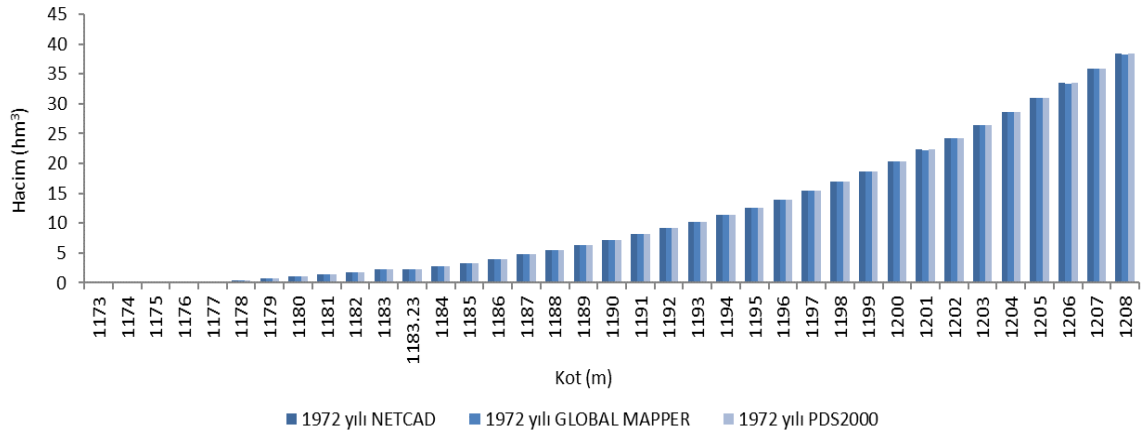
Şekil 6.7. 1982 yılına ait farklı yazılımlarla hesaplanan yüzey alanları



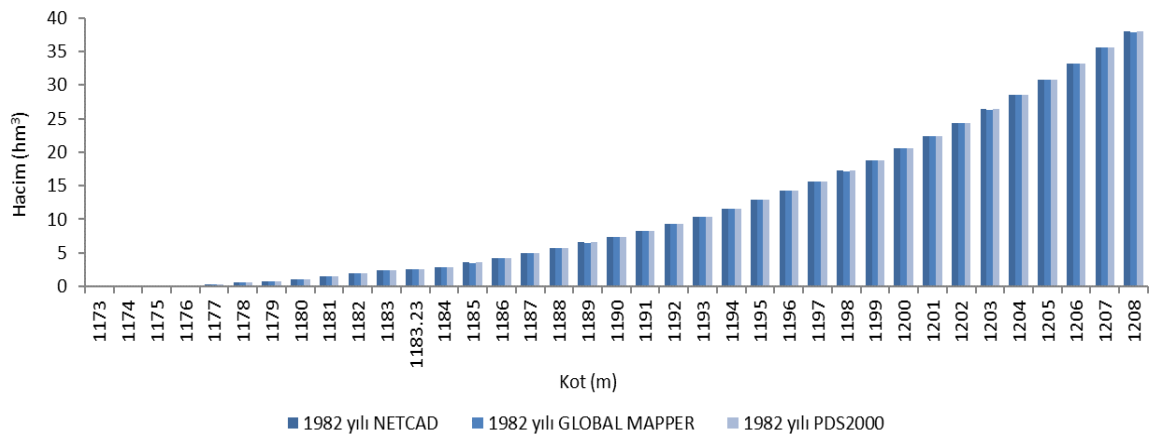
Şekil 6.8. 2013 yılına ait farklı yazılımlarla hesaplanan yüzey alanları

Çizelge 6.3. 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait farklı yazılımlarla hesaplanan hacimler (hm³)

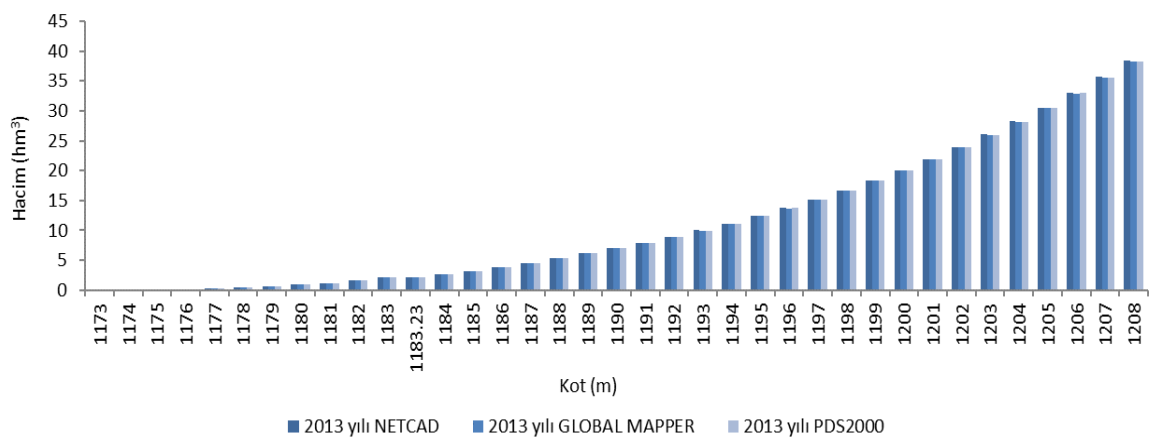
Sıra No	Kot (m)	1972 yılı			1982 yılı			2013 yılı		
		NETCAD	GLOBAL MAPPER	PDS2000	NETCAD	GLOBAL MAPPER	PDS2000	NETCAD	GLOBAL MAPPER	PDS2000
1	1173	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.000
2	1174	0.002	0.002	0.002	0.013	0.013	0.013	0.001	0.001	0.001
3	1175	0.049	0.049	0.049	0.087	0.087	0.087	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 6.9. 1972 yılına ait farklı yazılımlarla hesaplanan hacimler



Şekil 6.10. 1982 yılına ait farklı yazılımlarla hesaplanan hacimler



Şekil 6.11. 2013 yılına ait farklı yazılımlarla hesaplanan hacimler

6.3. Sarımsaklı Barajına ait Hidrografik Haritalardan Elde Edilen Veriler Yardımıyla Hesaplanan Sediment Miktarları, Yüzdesel Doluluk Oranları ve Yıllık Ortalama Sediment Miktarları

Sarımsaklı Barajının işletmeye alındığı 1968 yılındaki proje bilgileri esas alınıp 1972, 1982 ve 2013 yıllarındaki hidrografik haritalar kullanılarak NetCad, Global Mapper ve PDS2000 yazılımları yardımıyla yapılan baraj rezervuarına ait hacim hesaplamalarından maksimum su kotuna (1205 kotu) göre elde edilen baraj rezervuarına ait hacim değerleri kullanılarak 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait biriken sediment miktarları, yüzdesel doluluk oranları ve biriken yıllık ortalama sediment miktarları hesaplanmıştır (Çizelge 6.4, Çizelge 6.5, Çizelge 6.6).

Çizelge 6.4. NETCAD yazılımı kullanılarak yapılan hesaplamalar

Barajın Adı	Bölgesi	İşletmeye Alınma Yılı	İşletmeye Alınma Yılı ile Karşılaştırılan Yıl	İşletme Süresi (Yıl)	İşletmeye Alınma Yılında Belirlenen Alan (ha)	İşletmeye Alınma Yılında Belirlenen Toplam Hacim (hm ³)	Karşılaştırılan Yıla Ait Toplam Hacim (hm ³)	Toplam Hacimler Farkı (hm ³)	Toplam Hacime Göre Yüzdesel Doluluk Oranı	Toplam Hacimde Biriken Yıllık Ortalama Sediment Miktarı (hm ³)
Sarımsaklı	12	1968	1972	4	244	34.830	31.006	-3.824	-10.98%	-0.956
Sarımsaklı	12	1968	1982	14	244	34.830	30.847	-3.983	-11.43%	-0.284
Sarımsaklı	12	1968	2013	45	244	34.830	30.575	-4.255	-12.22%	-0.095

Çizelge 6.5. GLOBAL MAPPER yazılımı kullanılarak yapılan hesaplamalar

Barajın Adı	Bölgesi	İşletmeye Alınma Yılı	İşletmeye Alınma Yılı ile Karşılaştırılan Yıl	İşletme Süresi (Yıl)	İşletmeye Alınma Yılında Belirlenen Alan (ha)	İşletmeye Alınma Yılında Belirlenen Toplam Hacim (hm ³)	Karşılaştırılan Yıla Ait Toplam Hacim (hm ³)	Toplam Hacimler Farkı (hm ³)	Toplam Hacime Göre Yüzdesel Doluluk Oranı	Toplam Hacimde Biriken Yıllık Ortalama Sediment Miktarı (hm ³)
Sarımsaklı	12	1968	1972	4	244	34.830	30.946	-3.884	-11.15%	-0.971
Sarımsaklı	12	1968	1982	14	244	34.830	30.787	-4.043	-11.61%	-0.289
Sarımsaklı	12	1968	2013	45	244	34.830	30.447	-4.383	-12.58%	-0.097

Çizelge 6.6. PDS2000 yazılımı kullanılarak yapılan hesaplamalar

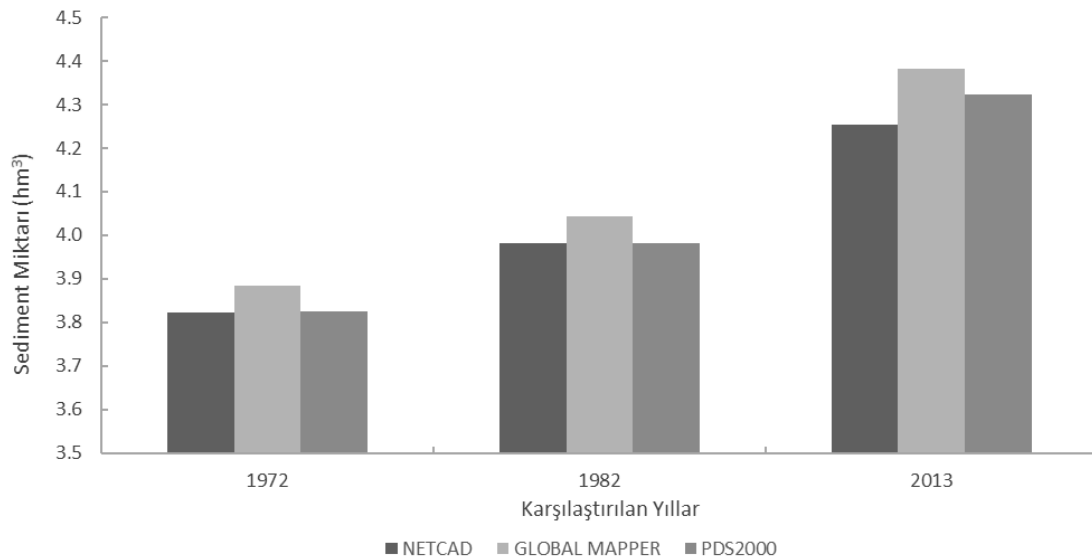
Barajın Adı	Bölgesi	İşletmeye Alınma Yılı	İşletmeye Alınma Yılı ile Karşılaştırılan Yıl	İşletme Süresi (Yıl)	İşletmeye Alınma Yılında Belirlenen Alan (ha)	İşletmeye Alınma Yılında Belirlenen Toplam Hacim (hm ³)	Karşılaştırılan Yıla Ait Toplam Hacim (hm ³)	Toplam Hacimler Farkı (hm ³)	Toplam Hacime Göre Yüzdesel Doluluk Oranı	Toplam Hacimde Biriken Yıllık Ortalama Sediment Miktarı (hm ³)
Sarımsaklı	12	1968	1972	4	244	34.830	31.006	-3.824	-10.98%	-0.956
Sarımsaklı	12	1968	1982	14	244	34.830	30.847	-3.983	-11.43%	-0.284
Sarımsaklı	12	1968	2013	45	244	34.830	30.507	-4.323	-12.41%	-0.096

Yapılan hesaplamalarda Sarımsaklı Barajının işletmeye alındığı 1968 yılında belirlenen 34.83 hm³'lük maksimum su kotundaki (1205 kotu) baraj rezervuarına ait hacim ile 1972, 1982 ve 2013 yıllarındaki hidrografik haritaların sayısal yükseklik modelleri kullanılarak üç farklı yazılım yardımıyla hesaplanan maksimum su kotundaki (1205 kotu) baraj rezervuarına ait hacim değerlerinin farkları alınarak sediment miktarları hesaplanmış ve hesaplanan değerler Çizelge 6.7'de ve Şekil 6.12'de birbirleriyle karşılaştırılmıştır.

Bulunan sediment miktarlarının 1968 yılında belirlenen 34.83 hm³'lük maksimum su kotundaki (1205 kotu) baraj rezervuarına ait hacim değerine bölünmesiyle de yüzdesel doluluk oranları bulunmuştur (Çizelge 6.7).

Çizelge 6.7. Farklı yazılımlar yardımıyla hesaplanan sediment miktarları ve yüzdesel doluluk oranları

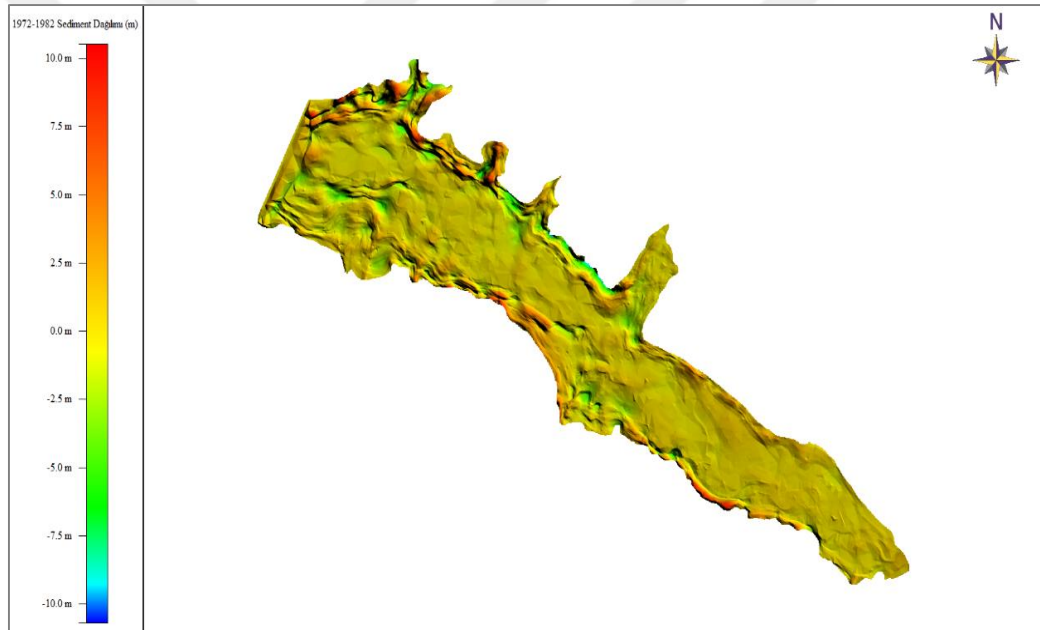
Karşılaştırılan Yıl	Hesaplanan Sediment Miktarları ve Yüzdeleri					
	NetCAD		Global Mapper		PDS2000	
	Sediment (hm ³)	%	Sediment (hm ³)	%	Sediment (hm ³)	%
1972	3.824	10.98%	3.884	11.15%	3.824	10.98%
1982	3.983	11.43%	4.043	11.61%	3.983	11.43%
2013	4.255	12.22%	4.383	12.58%	4.323	12.41%



Şekil 6.12. Farklı yazılımlar yardımıyla hesaplanan sediment miktarları

6.4. Sarımsaklı Barajına ait Sediment Dağılım Haritaları

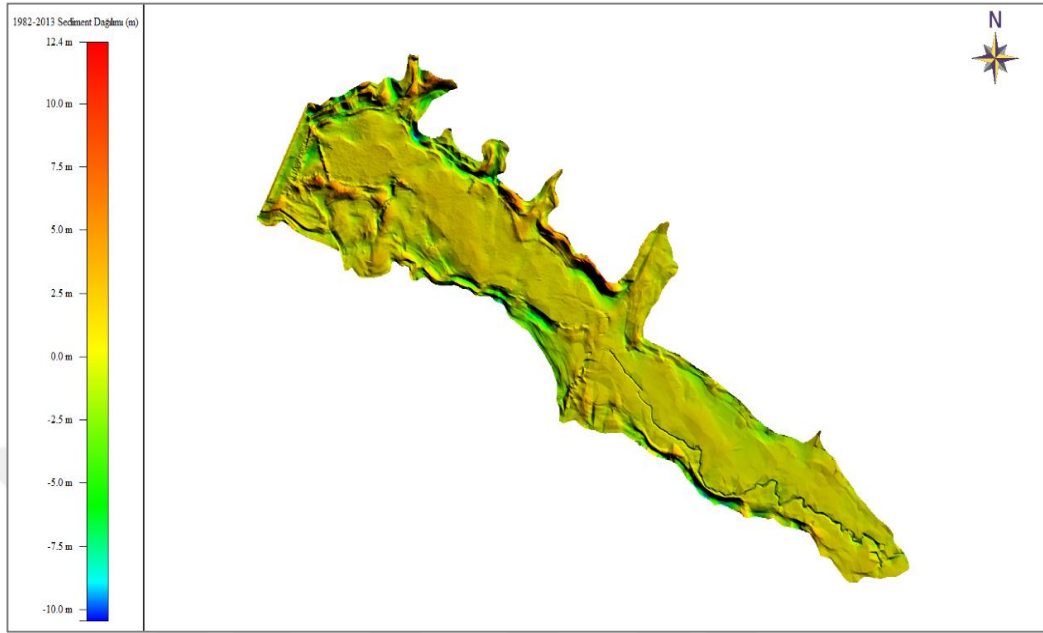
Global Mapper yazılımı kullanılarak Sarımsaklı Barajının 1972 ve 1982 yıllarına ait hidrografik haritalarının sayısal arazi modelleri üst üste çakıştırılarak 1972 ve 1982 yılları arasındaki kot farkları hesaplanıp iki yıl arasındaki sediment dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 6.13). Sediment dağılım haritası üzerindeki sarı ve yeşil renklerin olduğu bölgeler sediment birikiminin fazla olduğu yerleri, turuncu ve kırmızı renklerin olduğu bölgeler de sediment birikiminin az olduğu yerleri göstermektedir. Sediment dağılım haritası incelendiğinde örneğin; dolu savak ve su alma yapılarının olduğu bölgelerde sediment birikiminin fazla olduğu gözlemlenmiş ve geçen 10 yıllık sürede barajda biriken sediment miktarının en fazla 70 cm civarında olduğu görülmüştür.



Şekil 6.13. 1972-1982 yılları arasında oluşan sediment dağılımı

Global Mapper yazılımı kullanılarak Sarımsaklı Barajının 1982 ve 2013 yıllarına ait hidrografik haritalarının sayısal arazi modelleri üst üste çakıştırılarak 1982 ve 2013 yılları arasındaki kot farkları hesaplanıp iki yıl arasındaki sediment dağılım haritası oluşturulmuştur (Şekil 6.14). Sediment dağılım haritası üzerindeki sarı ve yeşil renklerin olduğu bölgeler sediment birikiminin fazla olduğu yerleri, turuncu ve kırmızı renklerin olduğu bölgeler de sediment birikiminin az olduğu yerleri göstermektedir. Sediment dağılım haritası incelendiğinde örneğin; dere yatağının geçtiği bölgelerde sediment

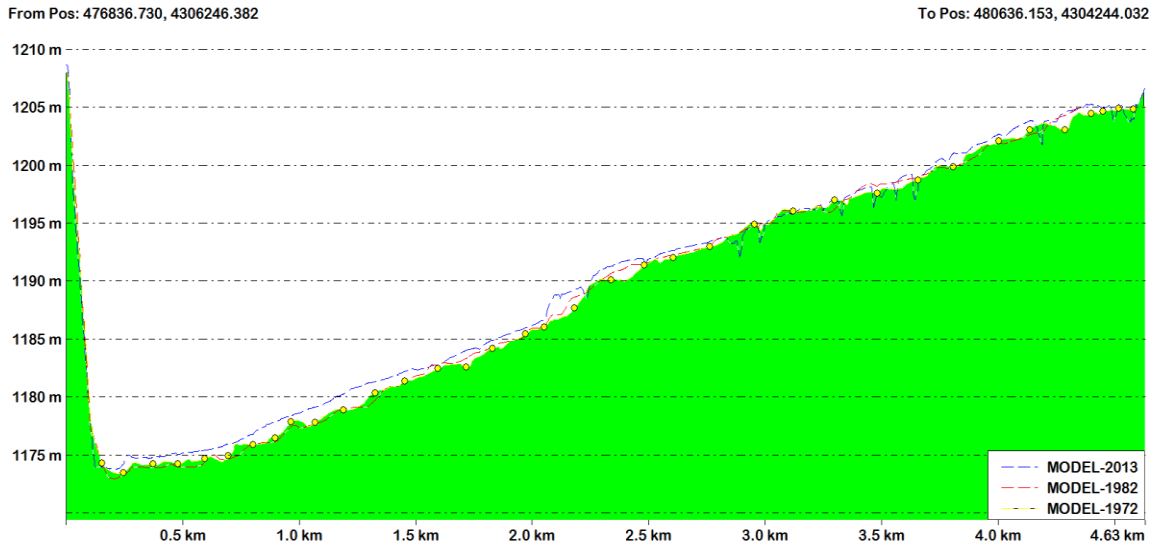
birikiminin fazla olduğu gözlemlenmiş ve geçen 31 yıllık sürede barajda biriken sediment miktarının en fazla 70 cm civarında olduğu görülmüştür.



Şekil 6.14. 1982-2013 yılları arasında oluşan sediment dağılımı

6.5. Sarımsaklı Barajına ait Boykesitler

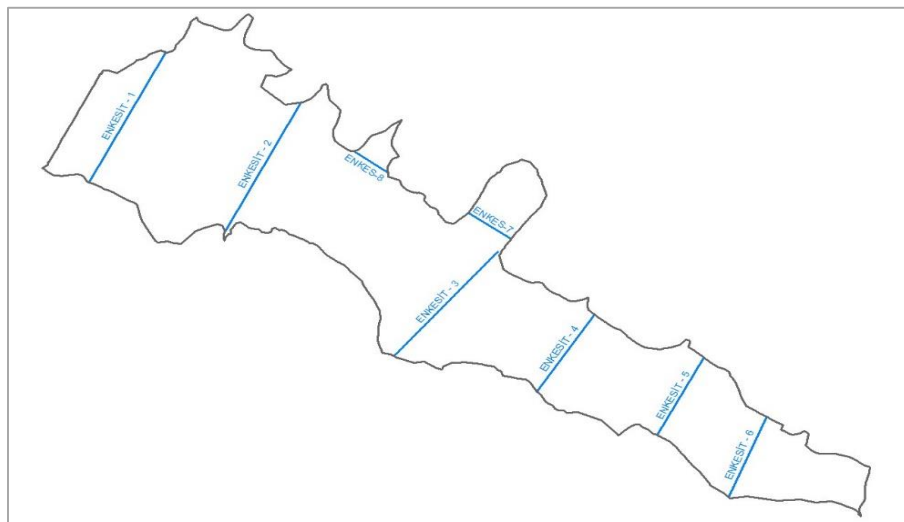
Global Mapper yazılımı kullanılarak Sarımsaklı Barajının 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait hidrografik haritalarının sayısal arazi modelleri üzerinden üç farklı yıla ait ayrı ayrı talvege yakın yerlerden boykesitleri alınmış ve üst üste çakıştırılmıştır (Şekil 6.15). 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait oluşturulan boykesitler incelendiğinde de 2013 yılına ait taban profilinin, 1972 ve 1982 yıllarına ait taban profillerinin yukarisından geçtiği görülmüştür. Bu da barajda sediment birikiminin olduğunu göstermektedir.



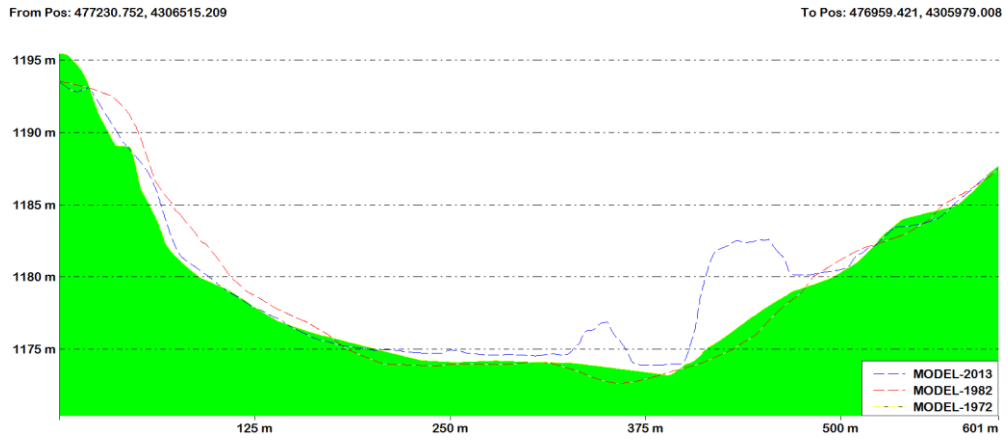
Şekil 6.15. Sarımsaklı Barajının 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait boykesitlerinin karşılaştırılması

6.6. Sarımsaklı Barajına ait Enkesitler

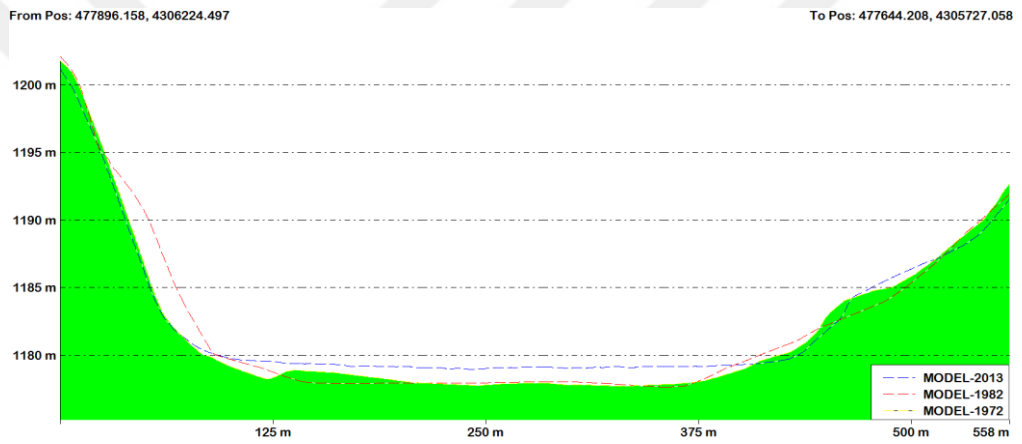
Global Mapper yazılımı kullanılarak Sarımsaklı Barajının 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait hidrografik haritalarının sayısal arazi modelleri birbiri ile karşılaştırılarak barajın farklı yerlerinden enkesitler alınmıştır (Şekil 6.16). 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait oluşturulan enkesitler incelendiğinde de 2013 yılına ait taban profilinin, 1972 ve 1982 yıllarına ait taban profillerinin yer yer üstünden yer yerde altından geçtiği görülmüştür. Bu da barajda sediment birikiminin ve sediment hareketliliğinin olduğunu göstermektedir.



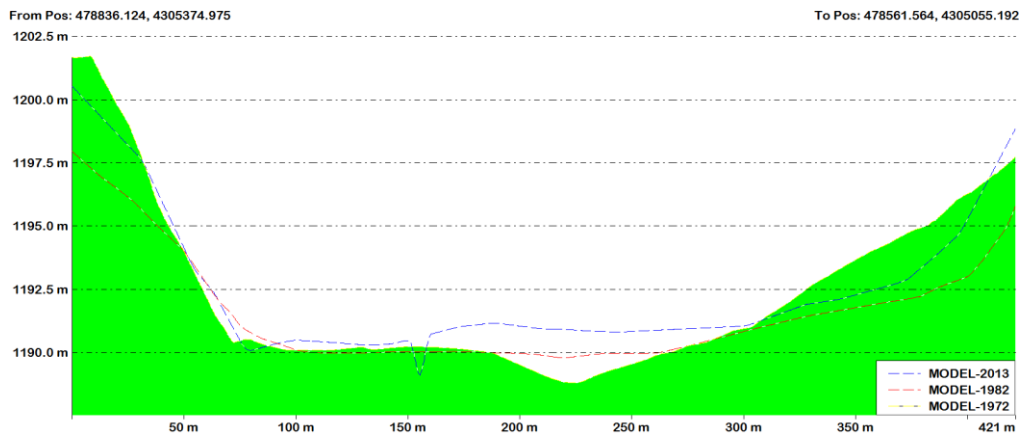
Şekil 6.16. Sarımsaklı Barajının enkesit dağılımı



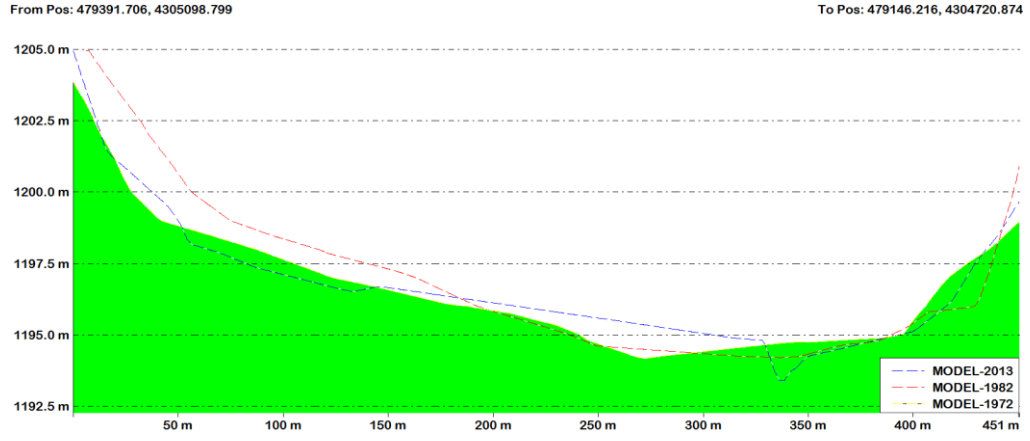
Şekil 6.17. Enkesit-1



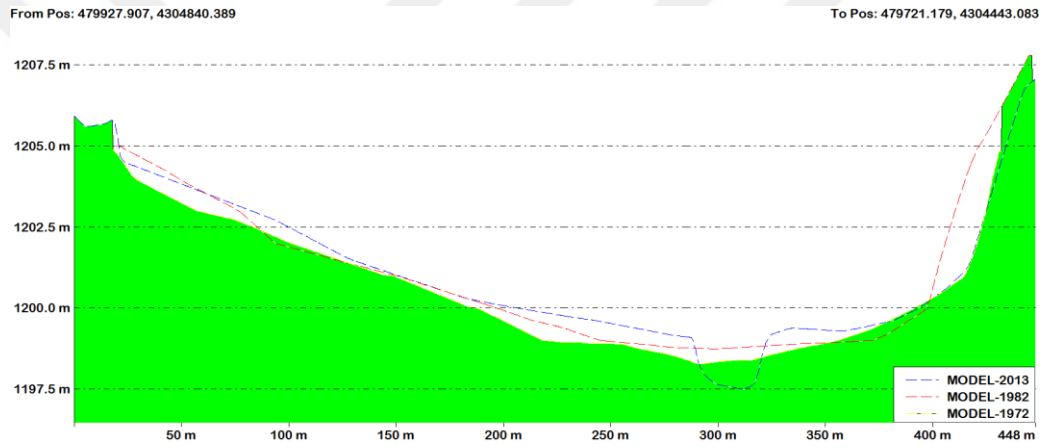
Şekil 6.18. Enkesit-2



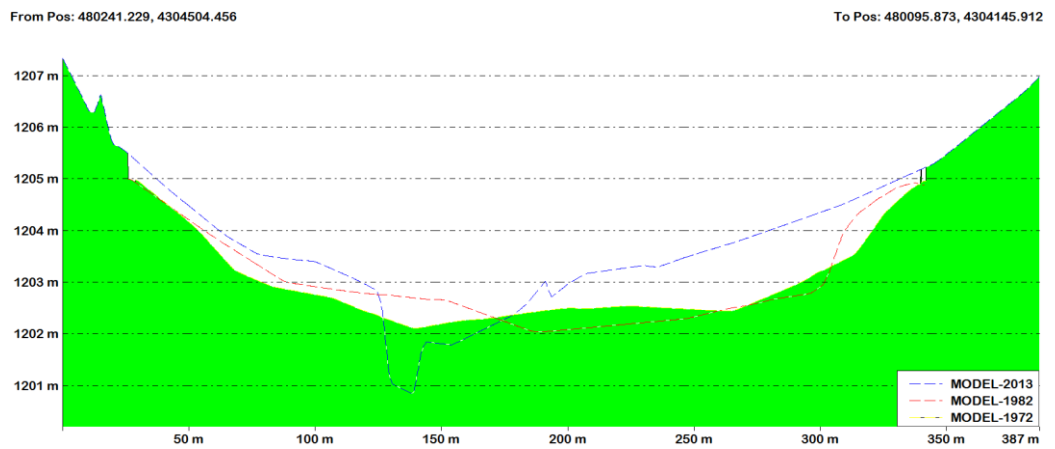
Şekil 6.19. Enkesit-3



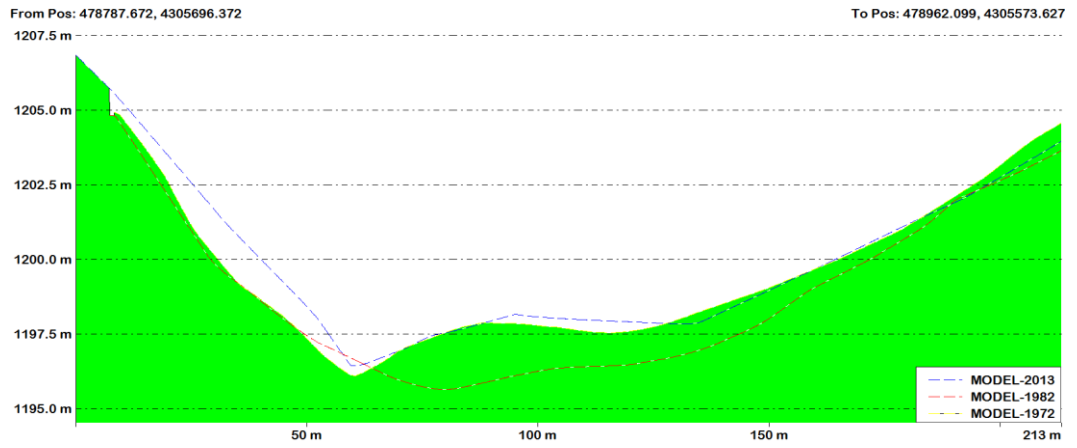
Şekil 6.20. Enkesit-4



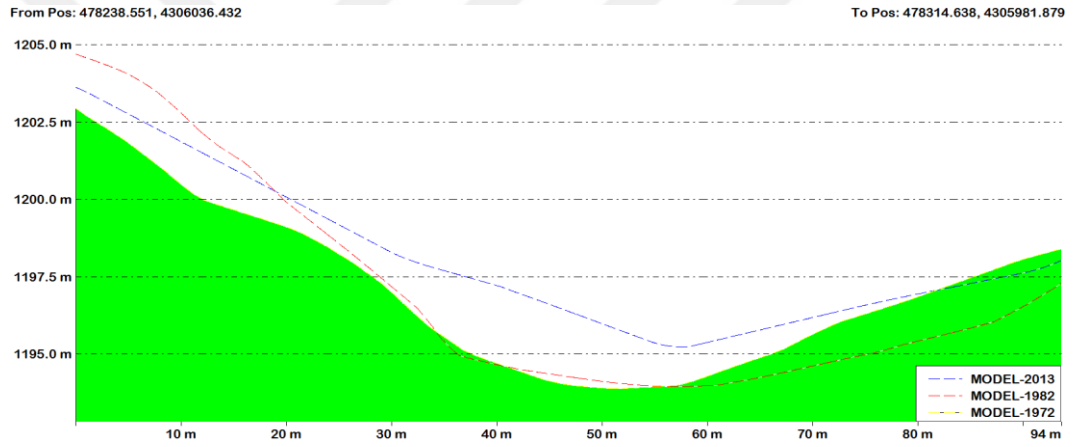
Şekil 6.21. Enkesit-5



Şekil 6.22. Enkesit-6



Şekil 6.23. Enkesit-7



Şekil 6.24. Enkesit-8

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Dünya yüzeyinin dörtte üçünün sularla kaplı olduğu ülkemizin de üç tarafının denizlerle çevrili olup bunun yanı sıra yüzlerce gölleri, göletleri ve barajları olduğu düşünülürse hidrografik ölçmelerin ne kadar önemli bir alan olduğu ve uğraşı alanının ne kadar büyük olduğu ortaya çıkmaktadır. Gerek bilimsel araştırmalar ve uygulamalarda gerek kıyı mühendisliği uygulamalarında gerekse her tür amaç için hidrografik harita yapımında hidrografik ölçmelere ihtiyaç duyulmaktadır.

Küresel iklim değişikliğiyle birlikte hem dünyada hem de ülkemizde hissedilen kuraklık nedeniyle mevcut su kaynaklarımızın etkili yönetilmesi ve doğru yönde kullanılarak sürdürülebilir bir kaynak haline getirilmesi zorunlu hale gelmiştir. Bu nedenle mevcut su kaynaklarımızı planlı bir şekilde kullanmamız, kontrol altına almamız, boşa akıp giden sularımızı baraj, göl, gölet vb. ortamlarda depolamamız, kıyılarımızı korumamız ve su ortamlarında yaşanan kirliliği önlememiz gibi pek çok konuya daha dikkatli yaklaşmamız gerekmektedir.

KontROLSÜZ su taşkınlarıyla veya akarsular tarafından taşınan katı maddeler (sediment/tortu/çamur/rusubat), baraj, göl, gölet gibi sularla kaplı alanların verimli işletilmesini olumsuz yönde etkilemekte ve önemli ölçüde zarar görmelerine neden olmaktadır. Oluşan bu zararların azaltılarak barajlarımızda daha fazla su depolanabilmesi, işletme ömürlerinin uzatılmasına yönelik tedbirlerin alınması ve depolanan suyun kullanım alanlarına göre doğru planlanması amacıyla mevcut suyun miktarının sağlıklı belirlenebilmesi için hidrografik ölçmelere konu olan bu alanların dip topografyasındaki değişiminin gerekli görülen periyotlarda belirlenmesi amacıyla hidrografik haritalarının yapılması barajlarımızın verimli işletilebilmesine önemli katkılar sağlamaktadır.

Bu doğrultuda yapılan tez çalışmasında, barajlarımızın verimli işletilebilmesi için önem teşkil eden ve hidrografik ölçmelere konu olan baraj sedimentasyonunun araştırılması amaçlanmıştır. Bu kapsamda, çalışma alanı olarak Kızılırmak Havzasında yer alan Sarımsaklı Barajı seçilmiş ve bu barajın 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait hidrografik haritalarından yararlanılarak barajda biriken sedimentasyonunun belirlenmesine çalışılmıştır.

Sarımsaklı Barajının 1972, 1982 ve 2013 yıllarında üretilen hidrografik haritalarından yararlanarak baraj işletim süresi içerisinde barajda biriken sediment miktarını belirleyebilmek için öncelikle sayısal ortamda bulunmayan 1972 ve 1982 yıllarına ait hidrografik haritalar NetCad5.1 yazılımı yardımıyla sayısal hale getirilmiştir.

Sarımsaklı Barajının farklı su seviyelerindeki baraj rezervuarına ait yüzey alanı ve hacim hesaplamalarının yapılabilmesi amacıyla da sayısal hale getirilen 1972 ve 1982 yıllarındaki hidrografik haritaların NetCad5.1 yazılımı yardımıyla sayısal arazi modelleri oluşturulmuştur.

Baraj rezervuarına ait yüzey alan ve hacim hesaplamalarının aynı özellikteki hidrografik haritalar üzerinden yapılabilmesi içinde 1972 ve 1982 yıllarında üretilen ED50 datumundaki hidrografik haritaların, 2013 yılında sayısal olarak üretilen ITRF96 datumundaki hidrografik harita ile uyum sağlaması için 1972 ve 1982 yıllarında üretilen hidrografik haritalar ITRF96 datumuna dönüştürülmüştür.

Sarımsaklı Barajının 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait hidrografik haritalarının sayısal arazi modelleri kullanılarak NetCad, Global Mapper ve PDS2000 yazılımları yardımıyla Sarımsaklı Baraj rezervuarına ait farklı su seviyelerindeki yüzey alan ve hacim hesaplamaları yapılmıştır. Yapılan bu hesaplamalar, elde edilen baraj rezervuarına ait farklı su seviyelerindeki yüzey alan ve hacim değerlerinin kontrolünü sağlamak amacıyla bütün haritalarda, harita üzerinden belirlenen en düşük kot değerinden (1173 kotu) kret kotuna (1208 kotu) kadar metrede bir olacak şekilde NetCad, Global Mapper ve PDS2000 yazılımları yardımıyla ayrı ayrı yapılmış ve yapılan hesaplamalar sonucunda elde edilen alan-hacim değerlerinin karşılaştırılması için de çizelgeler ve grafikler oluşturulmuştur. Oluşturulan grafikler ve çizelgeler incelendiğinde de farklı yazılımlar kullanılarak hesaplanan baraj rezervuarına ait farklı su seviyelerindeki yüzey alan ve hacim değerlerinin %97 oranında birbirine uyum sağladığı görülmüştür.

Barajın işletmeye alındığı 1968 yılındaki 244.000 ha'lık maksimum su kotundaki (1205 kotu) baraj rezervuarına ait yüzey alanı ile 1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait hidrografik haritaların sayısal arazi modellerinden yararlanarak farklı yazılımlar yardımıyla hesaplanan 239.609 ha'lık baraj rezervuarına ait ortalama yüzey alanının %98 oranında birbirine uyum sağladığı görülmüştür.

Barajın işletmeye alındığı 1968 yılındaki 34.83 hm³'lük maksimum su kotundaki (1205 kotu) baraj rezervuarına ait hacim ile 2013 yılına ait hidrografik haritanın sayısal yükseklik modelinden yararlanarak NetCad, Global Mapper ve PDS2000 yazılımları yardımıyla hesaplanan baraj rezervuarına ait hacim değerleri karşılaştırıldığında geçen 45 yıllık sürede, biriken sediment miktarının 4.255 hm³ ile 4.383 hm³ arasında ve yüzdesel doluluk oranının da %12.22 ile %12.58 arasında değiştiği görülmüştür.

2013 yılına ait hidrografik haritanın sayısal yükseklik modelinden yararlanarak NetCad, Global Mapper ve PDS2000 yazılımları yardımıyla hesaplanan sediment

miktarlarının ve yüzdesel doluluk oranlarının ortalamasını aldığımızda da geçen 45 yıllık sürede barajda biriken ortalama sediment miktarının 4.320 hm^3 ve ortalama yüzdesel doluluk oranının da %12.40 olduğu görülmüştür. Sonuç olarak geçen 45 yıllık sürede toplam hacimde ortalama %12.40 oranında bir kayıp görülmüştür.

1968-1972 yılları arasındaki ortalama sediment miktarı 3.844 hm^3 , 1968-1982 yılları arasındaki ortalama sediment miktarı 4.003 hm^3 ve 1968-2013 yılları arasındaki ortalama sediment miktarı da 4.320 hm^3 hesaplanmıştır. 1968-1972 ile 1968-1982 yılları arasında hesaplanan ortalama sediment miktarlarının farkı 0.159 hm^3 , 1968-1982 ile 1968-2013 yılları arasında hesaplanan ortalama sediment miktarlarının farkı ise 0.317 hm^3 bulunmuştur. Bunun nedeni, baraj inşaatı bittikten sonra, barajda su tutulmasıyla birlikte barajın her iki yamacında bulunan gevşek zeminlerin su ile teması nedeniyle yamaç erozyonu oluşturarak barajın işletmeye alındıktan sonraki ilk 3-4 yıl içerisinde baraj rezervuarında en fazla sediment birikiminin gerçekleşmesidir. Daha sonraki yıllarda, baraj rezervuarında olağanüstü taşkınlar olmadıkça stabil bir şekilde sediment birikimi oluşmaktadır.

Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından Sarımsaklı Barajının planlama aşamasında elli yılda baraja gelebilecek sediment miktarının hesabında, Sarımsaklı Barajına gelebilecek sediment miktarı tahmininde kullanılacak sediment gözlem istasyonunun olmaması nedeniyle 15 no'lu Kızılırmak Havzasında ölçülmüş tüm sediment gözlem istasyonlarının değerlerinden yararlanılarak baraja gelebilecek sediment miktarı 3.77 hm^3 olarak hesaplanmıştır. Bu verilere göre 45 yılda baraja gelebilecek sediment miktarı da 3.39 hm^3 olarak bulunmuştur. Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü tarafından baraj tamamlandıktan sonra 50 yılda baraja gelebilecek sediment miktarının 3.77 hm^3 olduğu dikkate alınırsa farklı yazılımların ortalaması ile yapılan karşılaştırmada %78'lik bir uyum olduğu görülmüştür.

2013 yılına ait hidrografik haritanın sayısal yükseklik modelinden yararlanarak NetCad, Global Mapper ve PDS2000 yazılımları yardımıyla hesaplanan ölü hacimdeki doluluğun 0.427 hm^3 ile 0.432 hm^3 arasında değiştiği görülmüş ve ölü hacimdeki ortalama doluluk miktarı da 0.429 hm^3 olarak hesaplanmıştır. Sonuç olarak geçen 45 yıllık sürede ölü hacim kapasitesinin ortalama %16.43 oranında azaldığı görülmüş ve hesaplanan değerlere göre barajın verimli çalışmasını olumsuz yönde etkileyecek bir durum görülmemiştir.

Yapılan hesaplamalar dışında baraj depolama kapasitesinde gözlemlenen kayıp, sediment dağılım haritaları, boykesitler ve enkesitler oluşturularak daha detaylı incelenmiştir.

Sediment dağılım haritaları, 1972 ile 1982 ve 1982 ile 2013 yılları arasında ayrı ayrı oluşturulmuştur. Oluşturulan sediment dağılım haritalarını incelediğimizde, 1972 ile 1982 ve 1982 ile 2013 yılları arasında biriken sediment miktarının en fazla 70 cm civarında olduğu görülmüştür. Örneğin; 1972 ile 1982 yılları arasında geçen sürede barajın dolu savak ve su alma yapılarının bulunduğu veya yan derelerin olduğu bölgelerde sediment birikiminin fazla olduğu, 1982 ile 2013 yılları arasında geçen sürede ise barajın dere yatağının olduğu bölgelerde sediment birikiminin fazla olduğu gözlemlenmiştir.

1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait ayrı ayrı oluşturulan boykesitler karşılaştırıldığında genel olarak 2013 yılına ait taban profilinin, 1972 ve 1982 yıllarına ait taban profillerinin yukarisından geçtiği gözlemlenmiştir. Bu da barajın işletmeye alındığı 1968 yılından 2013 yılına kadar geçen 45 yıllık sürede barajda sediment birikiminin olduğunu göstermiştir. Ayrıca 2013 yılına ait taban profilinin bazı yerlerde diğer yıllara ait taban profillerine oranla inişler yaptığı görülmektedir. Bu durumda 2013 yılındaki hidrografik haritanın diğer yıllarda üretilen hidrografik haritalara oranla daha sık alımlar yapılarak üretildiğini bu yüzden de 2013 yılına ait taban profilinin arazi gerçeğini daha yakın yansıtarak profile inişlerin olduğu bölgelerde dere yatağının daha net görüldüğünü söylemek mümkündür.

1972, 1982 ve 2013 yıllarına ait sayısal yükseklik modelleri üst üste çakıştırılarak barajın farklı yerlerinden alınan enkesitler de barajda sediment birikiminin olduğunu göstermiştir. Enkesitlerin alındığı bölgelerdeki taban profillerindeki iniş çıkışlarında barajda sediment hareketliliğinin olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tez çalışması kapsamında yapılan araştırmalardan da görüldüğü üzere sediment birikimi nedeniyle barajların depolama kapasitelerinde bir kayıp oluşmaktadır. Oluşan bu kayıpta taşkın önleme, enerji üretimi, sulama, içme suyu temini ve rekreasyon gibi işlevler üzerinde olumsuz etki yaratmakta ve barajların işletme ömürlerinin azalmasına yol açmaktadır.

Sediment birikimi nedeniyle işletme ömürleri azalan barajlar, yeni barajların inşa edilmesini düşündürse de çevresel etkiler, baraj inşaatlarının yüksek harcamalar gerektirmesi ve akarsular üzerinde inşa edilecek barajlar için uygun alanların kısıtlı olması gibi faktörler nedeniyle yeni barajlar inşa etmek yerine mevcut barajların depolama kapasitelerini korumak günümüzde daha çok tercih edilmektedir. Baraj

depolama kapasitelerini korumak amacıyla da sedimentin rezervuara daha az girişinin sağlanması veya rezervuarda biriken sedimentin uzaklaştırılması için önlemler alınması gerekmektedir. Bu amaçla barajın su toplama havzasının yukarı kısımlarında sediment tutucu yapılar (tersip bendi, ıslah sekisi, taban kuşağı vb.) inşa edilmelidir. Ayrıca baraj havzasında yer alan çıplak arazilerde, erozyon kontrolüne yönelik teraslama ve ağaçlandırma çalışmaları yapılmalıdır. Rezervuarda biriken sedimentin uzaklaştırılması için de yıkama, su altı kazısı gibi doğal ve mekanik yöntemler uygulanmalıdır.



KAYNAKLAR

- Abbott, V. J., 1996, Hydrography for the Surveyor and Engineer, Third Edition, The Blackwell Science.
- Algül, E., 1985, Hidrografide Konum Belirleme Yöntemlerine Genel Bakış, *Harita Dergisi*, 94, 68-82.
- Algül, E., 1987, Hidrografik Ölçmelerin Dünü ve Bugünü, *Harita Dergisi*, 98, 70-80.
- Alkan, R. M., 1998, Prezisyonlu Hidrografik Ölçmelerde Bat-Çık Etkisinin GPS Yöntemi ile Belirlenmesi, Doktora Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Ardıç, M., 2015, Baraj Göllerindeki Sediment Birikimlerinin Zamansal Değişimi ve CBS ile Görselleştirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, *Aksaray Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Aksaray.
- Aydın, Ö., Erkaya, H., Hoşbaş, R. G. ve Aykut, N. O., 2005, Hidrografik Ölçmelerde Standartların Önemi, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Aykut, N. O., 2009, Sığ Sulardaki Hidrografik Ölçmelerde Çok Bimli İskandillerin Kullanımı ve Hata Analizi, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Aykut, N. O. ve Alkan, R. M., 2016, Hidrografik Ölçme Standartlarına Genel Bakış: Türkiye için Bazı Öneriler, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, İstanbul.
- Aykut, N. O. ve Birkan, H., 2007, Hidrografik Ölçmelerde Çok Bimli İskandillerin Kullanılması, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 3. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, Konya.
- Aykut, N. O., Doğan, U., Ata, E. ve Arı, A., 2005, GPS ile Kıyı Çizgisinin Belirlenmesi Karaburun Örneği, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 2. Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, İstanbul.
- Boroujeni, H. S., 2012, Sediment Management in Hydropower Dam (Case Study-Dez Dam Project), *Hydropower-Practice and Application*, Dr. Hossein Samadi-Boroujeni (Ed.), *InTech*, Rijeka-Croatia, 115-142.
- Brabben, T. E., 1988, Reservoir Desilting Methods, *Hydraulics Research Wallingford, Tech. Note OD/TN 32, Oxfordshire*.
- Brown, C. B., 1943, The Control of Reservoir Silting, *U.S. Department of Agriculture, Miscellaneous Publication No.521, Washington*.

- Ceylan, A. ve Ekizoglu, I., 2012, A Study on The Assessment of Bathymetric Changes Via GIS: Altınapa Dam (Konya) Example, TS05F-Hydrographic Surveying, *FIG Working Week*, Roma-Italy.
- Ceylan, A. ve Ekizoglu, I., 2014, Assesment of Bathymetric Maps Via GIS for Water in Reservoir, *Boletim de Ciencias Geodesicas*, 20 (1), 142-158.
- Çelik, H. E., Şengönül, K., Akyüz, F., Altunel, O., Dağcı, M. ve Esin, A. İ., 2012, İstanbul'un İçme Suyu Barajlarının Sedimentasyon Problemi ve Çözüm Önerileri: Alibey Barajı Örneği, *Journal of the Faculty of Forestry*, 62 (2), 113-127.
- Çelikkıran, A., 2009, Marmaray Projesi Kapsamında Gerçekleştirilen Hidrografik Ölçmeler, Yüksek Lisans Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Dinçsoy, Y., 2013, Yan Derelerde Erozyon ve Rusubat Kontrolü, *DSİ Destek Hizmetleri Dairesi Başkanlığı-Basım ve Foto Film Şube Müdürlüğü*, Ankara.
- Doğan, E., 1987, Deniz Haritacılığı ve Günümüzdeki Önemi, *Prof. Burhan TANSUĞ Fotoğrametri ve Jeodezi Sempozyumu*, İstanbul.
- DSİ, <http://www.dsi.gov.tr/kurumsal-yapi/hakkimizda> [Ziyaret Tarihi: 05.03.2019].
- DSİ, Erozyon ve Rusubat Kontrol Şube Müdürlüğü, 2019.
- DSİ, Hidroloji Sözlüğü, <http://www.dsi.gov.tr/dsi-sozlukler> [Ziyaret Tarihi: 10.05.2019].
- DSİ, Harita Şube Müdürlüğü, 2019.
- Durgunoglu, A. ve Singh, K. P., 1993, The Economics of Using Sediment-Entrapment Reduction Measures in Lake and Reservoir Design, *UILU-WRC-93-216, Resources Center University of Illinois at Urbana-Champaign, Urbana*.
- Edge, D., Schenke, H. W. ve Seeber, G., 1990, Hydrographic GPS Applications in Germany, *FIG XIX International Congress*, Helsinki-Finland.
- 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., 1995a, Hidrografik Ölçmeler Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.
- Erkaya, H., 1995b, İleri Hidrografik Ölçmeler Ders Notları, Yıldız Teknik Üniversitesi Jeodezi ve Fotogrametri Mühendisliği Bölümü, İstanbul.

- Erol, T., 2019, Ticari Yazılımlar ile Üretilen Küresel Navigasyon Uydu Sistemleri Çözümlerinin Doğruluğu, Doktora Tezi, *Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.
- Fakıoğlu, M., 2005, Seyhan Barajı Hidrografik Harita Alımı Değerlendirilmesi ve Sonuçları, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 2. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, İstanbul.
- Fakıoğlu, M., 2014, Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü'nde Hidrografik Harita Çalışmaları, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 7. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, Çorum.
- Goldsmith, E. ve Hildyard, N., 1984, Sedimentation: The Way of All Dams, *The Social and Environmental Effects of Large Dams*, Wadebridge Ecological Centre, USA.
- Google earth, <https://www.google.com/earth/> [Ziyaret Tarihi: 10.05.2019].
- Güvel, Ş. P., Selek, B. ve Seçkin, G., 2017, Baraj Rezervuarlarına Sediment Etkisinin Araştırılması: Berdan Barajı Örneği, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 32 (1), 89-97.
- Haregeweyn, N., Melesse, B., Tsunekawa, A., Tsubo, M., Meshesha, D. ve Balana, B. B., 2012, Reservoir Sedimentation and its Mitigating Strategies: A Case Study of Angereb Reservoir (NW Ethiopia), *Journal of Soils and Sediments*, 12 (2), 291-305.
- Haskins, G. L., 1986, Standarts in Hydrography-Are They Applicable?, *Proceedings of the 5th Biennial International Symposium of the Hydrographic Society, Hydro '86*, 1-9.
- Hotchkiss, R. ve Huang, X., 1995, Hydrosuction Sediment-Removal Systems (HSRS): Principles and Field Test, *Journal of Hydraulic Research*, 479-489.
- Hydrocoop, <http://www.hydrocoop.org/dams-with-significant-siltation-problems/> [Ziyaret Tarihi: 10.05.2019].
- ICOLD, 2009, Sedimentation and Sustainable Use of Reservoirs and River Systems Draft Bulletin, 22-156, <https://www.icold-cigb.org/userfiles/files/CIRCULAR/CL1793Annex.pdf> [Ziyaret Tarihi: 19.05.2019].
- IHO, http://www.iho.int/srv1/index.php?option=com_content&view=article&id=298&Itemid=297&lang=en [Ziyaret Tarihi: 19.03.2019].
- IHO, 2005, Manual on Hydrography, 1st Edition, Publication M-13, *International Hydrographic Bureau*, Monaco.
- IHO, 2008, IHO Standards For Hydrographic Surveys, 5th Edition, Special Publication No.44, *International Hydrographic Bureau*, Monaco.

- İnal, C., Fakıoğlu, P. ve Bülbül, S., 2015, Hidrografik Ölçmeler ile Barajlardaki Sediment Miktarlarının Belirlenmesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3 (4), 1-12.
- Jain, S. K., Singh, P. ve Seth, S. M., 2002, Assessment of Sedimentation in Bhakra Reservoir in the Western Himalayan Region Using Remotely Sensed Data, *Hydrological Sciences Journal*, 47 (2), 203-212.
- Kahveci, M. ve Yıldız, F., 2009, GPS/GNSS Uydularla Konum Belirleme Sistemleri, *Nobel Yayınları*, Ankara.
- Kalkan, Y. ve Alkan, R. M., 2005, Sularla Kaplı Alanlarımız ve Hidrografik Ölçmeler, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 10. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı*, Ankara.
- Kavzoğlu, T. ve Çölkesen, İ., 2011, Uzaktan Algılama Teknolojileri ve Uygulama Alanları, *Türkiye'de Sürdürülebilir Arazi Yönetimi Çalıştayı*, İstanbul.
- Koca, B. ve Ceylan, A., 2018, Uydu Konum Belirleme Sistemlerindeki (GNSS) Güncel Durum ve Son Gelişmeler, *Geomatik Dergisi*, 3 (1), 63-73.
- Kokpınar, M. A., Kumcu, Ş. Y., Altan-Sakarya, A. B. ve Gogus, M., 2010, Reservoir Sedimentation in the Demirkopru Dam, Turkey, *International Conference on Fluvial Hydraulics: River Flow*, Braunschweig-Germany.
- Kordil, https://kordil.com.tr/application/files/1214/6195/7948/base_x_ses_hizi.pdf [Ziyaret Tarihi: 21.05.2019].
- Mahmood, K., 1987, Reservoir Sedimentation: Impact, Extent, Mitigation, *The World Bank, Technical Report No. 71, Washington, D.C.*
- MTA, <http://www.mta.gov.tr/v3.0/kurumsal/misyon-vizyon> [Ziyaret Tarihi: 18.06.2019].
- Mukherjee, S., Veer, V., Tyagi, S. K., & Sharma, V. (2007). Sedimentation Study of Hirakud Reservoir through Remote Sensing Techniques. *Journal of Spatial Hydrology*, 7 (1), 122-130.
- NetCad Portal, <http://portal.netcad.com.tr/> [Ziyaret Tarihi: 21.05.2019].
- NİK Sistem, <http://www.nik.com.tr/> [Ziyaret Tarihi: 21.05.2019].
- NOAA, <http://nauticalcharts.noaa.gov/learn/hydrographic-survey-equipment.html> [Ziyaret Tarihi: 25.04.2019].
- Odabaşı, B., 2011, Rezervuarlarda Sediment Birikiminin Önlenmesi ve Rezervuar Ekonomik Ömrünün Uzatılması, Yüksek Lisans Tezi, *İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, İstanbul.

- Oner-Germen, E., 2006, Near Shore Bathymetric and Topographic Surveys in Marmara Sea, Ms Thesis, *Boğaziçi University Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute*, İstanbul.
- Özgen, G. ve Algül, E., 1977, Mühendislik Ölçmeleri 1-Hidrografik Ölçmeler, *Teknik Üniversite Matbaası*, Gümüşsuyu-İstanbul.
- Palmieri, A., Shah, F., Annandale, G. W. ve Dinar, A., 2003, Reservoir Conservation: economic and engineering evaluation of alternative strategies for managing sedimentation in storage reservoirs: RESCON approach, Vol. 1, *The World Bank*, Washington, D.C.
- Pekmezci, S. ve Buttanrı, B., 2011, Baraj Göllerinde Sediment Birikimi ve Sediment Yıkama (Flushing) Methodu, *TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası 2. Su Yapıları Sempozyumu*, Diyarbakır.
- Selek, Z. ve Pınarlık, M., 2019, Yeşilirmak Havzası Çakmak Barajı Rezervuarındaki Sediment Birikiminin Araştırılması, *Gazi Üniversitesi Politeknik Dergisi*, <https://dergipark.org.tr/politeknik/issue/33364> [Ziyaret Tarihi: 15.05.2019].
- SHOD, http://www.shodb.gov.tr/shodb_esas/index.php/tr/genel/tarihce [Ziyaret Tarihi: 05.03.2019].
- Teledyne PDS, <https://www.teledyne-pds.com/product-category/hydrography/> [Ziyaret Tarihi: 21.05.2019].
- Wen Shen, H. ve Lai, J. S., 1996, Sustain Reservoir Useful Life by Flushing Sediment, *International Journal of Sediment Research*, IRTCES, 11 (3).
- Yalçın, E. ve Uludağ, S., 2013, Türkiye Akarsularında Süspanse Sediment Gözlemleri (2006-2012), *Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü*, Ankara.
- Yıldız, D. ve Kaş, İ., 2007, Rezervuarlarda Sediment Birikimi ve Uzaklaştırma Yöntemleri, *Ada Mühendislik Teknik Rapor*, Ankara.
- Zirek, E. ve Sunar, F., 2016, Çok Bimli İskandil Ölçümlerinde Kalibrasyonun Ölçüm Verilerine Etkileri, *TMMOB Harita ve Kadastro Mühendisleri Odası 8. Ulusal Mühendislik Ölçmeleri Sempozyumu*, İstanbul.

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Pelin FAKIOĞLU GÜLÇİÇEK
Uyruğu : T.C.
Doğum Yeri ve Tarihi : Altındağ/ANKARA – 10.06.1988
Telefon : 0507 269 14 88
Faks :
E-Posta : pfakioglu10.06@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Adı, İlçe, İl	Bitirme Yılı
Lise	Mehmetçik Süper Lisesi, Etimesgut, Ankara	2006
Üniversite	Selçuk Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Harita Mühendisliği Selçuklu, Konya	2012
Yüksek Lisans :	Konya Teknik Üniversitesi Harita Mühendisliği Anabilim Dalı, Selçuklu, Konya	

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görevi
2015-2017	Yağmur Harita Proje İnş. Taah. ve Tic. Ltd. Şti.	Mühendis
2017-	Devlet Su İşleri Genel Müdürlüğü (Özdemir İnş. Turz. Enerji San. A.Ş. – Su Bar Grup İnş. Tic. San. A.Ş. adına)	Mühendis

YABANCI DİLLER

İngilizce

YAYINLAR

İnal, C., Fakioğlu, P. ve Bülbül, S., 2015, Hidrografik Ölçmeler ile Barajlardaki Sediment Miktarlarının Belirlenmesi, *Selçuk Üniversitesi Mühendislik, Bilim ve Teknoloji Dergisi*, 3 (4), 1-12.