

4. BÖLÜM

DERİNLİKLERİN ÖLÇÜLMESİ (İSKANDİL)

Sualtı tabanının topografik durumunu belirlemek için su yüzeyine dik doğrultularda yani çekül doğrultusunda derinlik ölçmeleri yapılır. Bu ölçme işlemine hidrografide **iskandil**, derinlik ölçmesi yapılan noktaya da **iskandil noktası** denir.

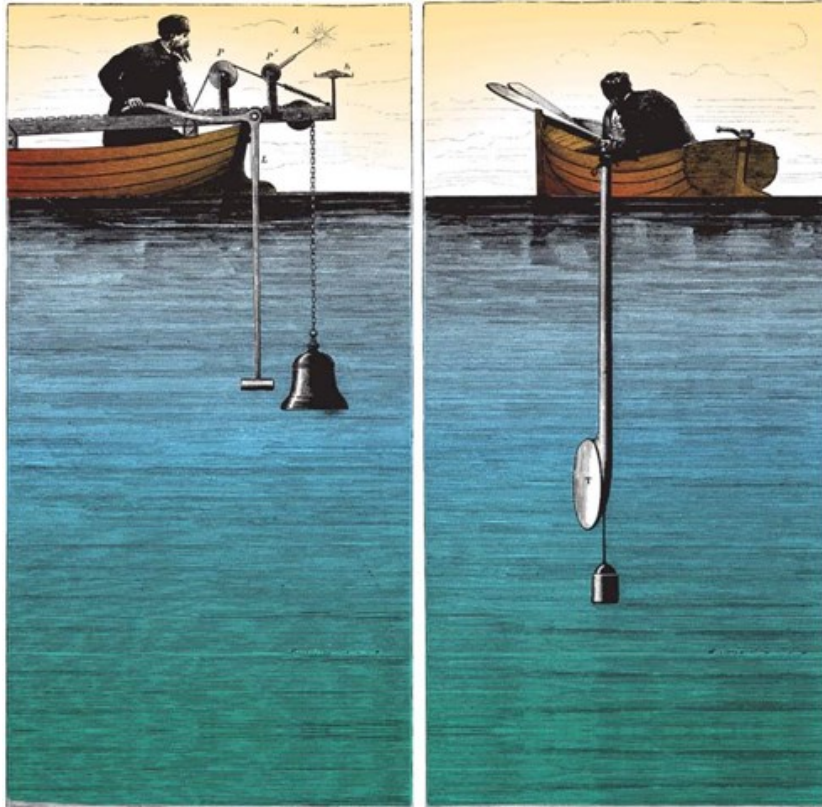
Derinlik ölçme işlemi, kara haritacılığındaki yüksekliklerin belirlenmesi işlemi olan nivelman ile eş anlamlıdır. Derinlik değerlerine haritaya işlenmeden önce ölçmede uygulanan yöntem, kullanılan alete ve su ortamına bağlı olarak düzeltmeler getirilir. Daha sonra ortak bir su seviyesine indirgenir. Derinlik ölçmesi, kullanılan alete göre ya bir operatör tarafından yapılır ya da bir alet tarafından otomatik olarak kaydedilir. Derinlik ölçme yöntemleri genel olarak kullanılan alete göre adlandırılır. İskandilde kullanılan alete göre derinlik değerleri ya doğrudan okunur ya da dolaylı olarak belirlenir.

4.1. İskandil yöntemleri

Derinlik ölçümü, yüzyıllardır denizciler için bir uğraş alanı olmuştur. Gerçek anlamda ilk batimetrik (Derinlik ölçümü) etütleri **William Ellis** (1747-1810),

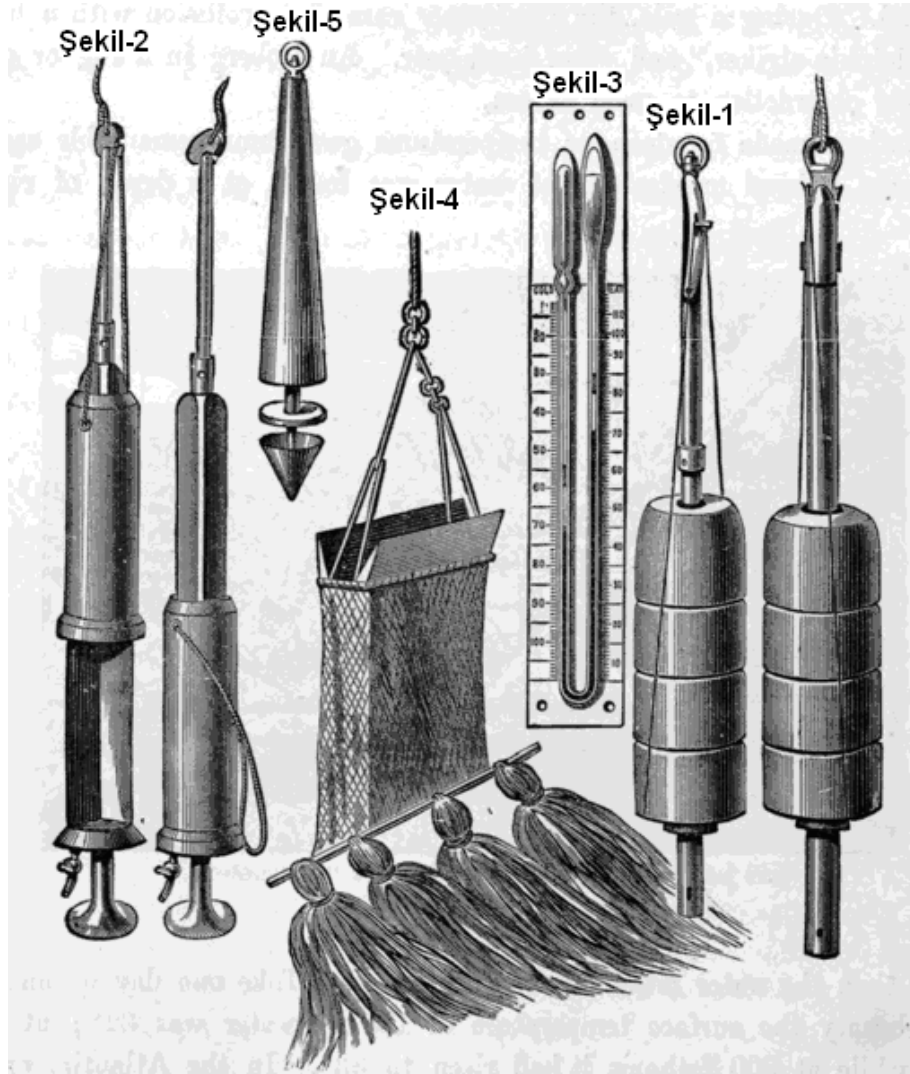
4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

İngiliz kaşif *Kaptan Constantine Phipps* (2. Baron Mulgrave, 1744-1792) ve İngiliz ölçmeci **William Scoresby** (1789-1857) tarafından başlatılmıştır. İlk kez su derinliğinin ses dalgaları ile ölçülebileceğini Fransız fizikçi **Francois Jean Dominique Arago** (1786-1853) öne sürmüştür. Günümüz standartlarına yakın ilk mekanik derinlik ölçmeleri ise İngiliz denizci ve kaşif *Sir John Ross* (1777-1856) tarafından gerçekleştirilmiştir. Ancak, sudaki ses hızını oldukça hassas bir şekilde ilk kez İsviçreli fizikçi **Jean-Daniel Colladon** (1802-1893) ve Fransız matematikçi **Jacques Charles-Francois Sturm** (1803-1855) 1826'da 10 mil uzaklıktan Genova Gölü'nde ölçmüştür, (Şekil-4.01). Kıtalararası ilk derinlik ölçümü ise önce İngiliz denizci, ölçmeci ve kaşif **Phillip Parker King** (1791-1856) daha sonra da *Baron Mulgrave* tarafından yapılmıştır. İlk ölçmelerden biri de *Sir James Clark Ross*'un (1800-1862) 1839-1843 yılları arasındaki Antartika seyahati sırasında yapıldı. Ancak bu ölçmeler başarılı değildi. 1840-1860 yılları arasında rasgele derinlik ölçmeleri yapılmıştır. Bu ölçmeler denizaltına sarkıtılan telin bükülmesi nedeniyle yanlış sonuçlar vermiştir.



Şekil-4.01 Genova Gölünde sudaki ses hızının ölçümü (1826)

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)



Ş1-İskandil ağırlığı, **Ş2-**Kayan su şişeleri, **Ş3-**Derin-su termometresi, **Ş4-**Tarama düzeneği, **Ş5-**İskandil örnek kabı

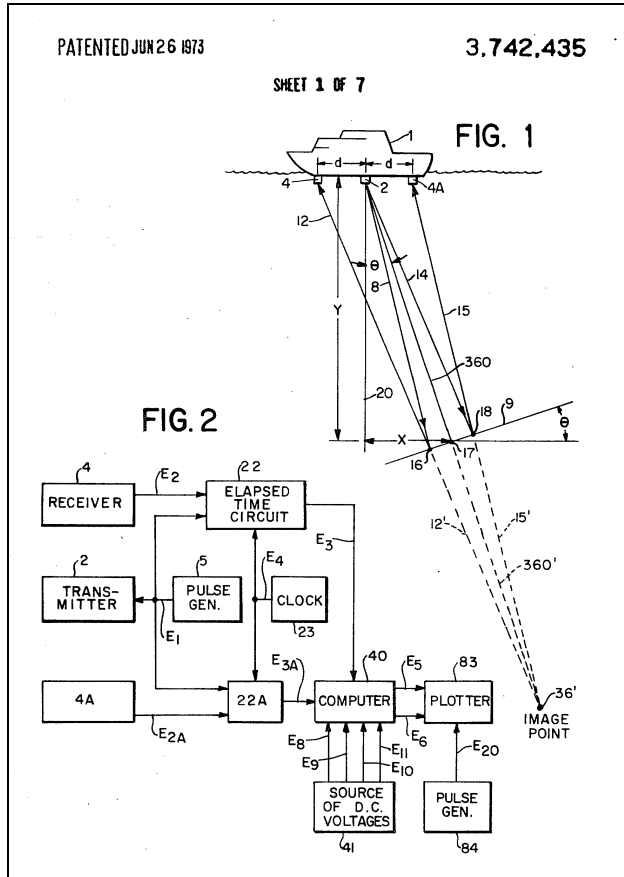
Şekil-4.02 İngiliz Donanmasından Challenger gemisinin Güney Atlantik (Antartika) seferinde kullandığı derinlik ölçme ve tarama donanımı

Telefon kablolarının okyanus altından geçirilmesi düşüncesi derinlik ölçümünde ilk ileri tekniklerden birinin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Atlantik Okyanusu'nun ilk batimetrik haritası ABD'li denizci **Matthew Fontaine Maury**'in (1806-1873) 1855 yılında "The Physical Geography of the Sea" adlı kitabında yayınlanmıştır. Hidrografik ölçmeler için İngilizler tarafından 1872-1876 yılları arasında düzenlenen *HMS Challenger* gemisinin Dünya ölçekli seferinde yeni yöntem ve aletler geliştirilmiştir, (Şekil-4.02). Bu araştırmalarda derinlik ölçümüne

Hidrografik Ölçmeler

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

gereken önem verilmiştir. 1923'de ABD'de *Coast and Geodetic Survey* 'den mühendis, kaşif ve fizikçi **Herbert Grove Dorsey** (1876-1961) sürekli ölçüm yapan ilk analog aleti geliştirmiş ve 1925'te *Submarine Signal Company of Boston* tarafından **fathometer** adıyla anılan akustik iskandil aleti geliştirilmiştir, (Şekil-4.03). İkinci Dünya Savaşı'ndan sonra Rus bilim adamlarınca da büyük ölçekli batimetrik haritalar yapılmıştır.



Şekil-4.03 Fathometer'in patenti'nin ilk sayfası ve modern bir örneği

Günümüzde deniz haritalarına olan gereksinim her geçen gün artmakta ve derinliklerin daha hassas ve çabuk ölçülmesi zorunlu olmaktadır. Derinlik ölçme işlemi sonunda elde edilen değerlere göre iskandil yöntemleri iki grupta incelenebilir. Bunlar;

1- Doğrudan sonuç veren yöntemler: Adlandırılmasından da anlaşılacağı gibi, derinliğin ölçme anında doğrudan okunduğu yöntemlerdir. Bu yöntemleri,

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

- 1a-** Lata iskandil,
- 1b-** İp iskandil,
- 1c-** Tel (Mekanik) iskandil

olarak sıralayabiliriz.

2- Dolaylı sonuç veren yöntemler: Bu yöntemler uygulanan fiziksel kurallara göre adlandırılır. Bu gruba giren yöntemler ise:

- 2a-** Hidrostatik iskandil,
- 2b-** Termometrik iskandil,
- 2c-** Akustik İskandil,
- 2d-** Yandan taramalı sonarlar,
- 2e-** Lidar iskandildir.

Her iki grubu oluşturan bu yöntemleri tarihi gelişimleri ve alet konstrüksiyonları yönünden ele alacak olursak; akustik iskandil, yandan taramalı sonarlar ve lidar iskandili "Güncel teknolojiler", diğerlerini ise "Klasik teknolojiler" olarak sınıflandırabiliriz.

4.1.1. Doğrudan sonuç veren yöntemler

4.1.1.1. Lata iskandil

İskandil lataları: Ahşap veya metalden yapılmış, 4-6 m uzunluğundaki bir lata ile derinliklerin ölçülmesi yöntemin temelini oluşturur. Latanın üzeri metre ve desimetre bölümlerine ayrılmış olup okumayı kolaylaştırmak üzere renklendirilmiştir. Latanın suya kolay dalmasını sağlamak, ancak yumuşak sualtı zeminlerinde ise batmasını önlemek üzere ucuna metal bir başlık takılmıştır. Sualtından örnek alınması gerektiğinde bu başlıktan yararlanılır. Sığ sularda uzun lata boyunun neden olduğu kullanım güçlüklerini azaltmak için birbirine eklenen latalar yapılmıştır.

Yöntemin temeli ve uygulanışı: Ölçme sırasında operatör latayı hidrografi taşıtının (botunun) uygun bir yerinden suya indirir, (Şekil-4.04). Ucu tabana dokunmasından ve latayı yaklaşık olarak düşey doğrultuya getirmesinden sonra, o andaki su seviyesine göre lata üzerindeki bölümlerden derinlik okuması yapılır. Lata iskandili hareket halindeki bir bot üzerinden de yapılabilir.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Bu durumda operatör hidrografi taşıtının ön tarafında durarak botun 2-3 m önünden latayı suya daldırır. Latanın sualtı zeminine değmesine kadar geçen sürede bot dolayısıyla operatör latanın suya girdiği iskandil noktasına ulaşır. Bu anda derinlik okuması yapılır.



Şekil-4.04 Küçük bottan lata iskandil ile derinlik ölçümü (Jacksonville Bölgesi/NOAA)

Ölçme sırasında şu hususlara dikkat edilmelidir.

- 1- Lata düşey doğrultuda olmadan okuma yapılmamalıdır,
- 2- Latanın ucu sualtı zeminine batırılmamalıdır,
- 3- Ölçmeler sürekli olarak hidrografi taşıtının aynı yerinden yapılmalıdır,
- 4- Hidrografi botunun hızı ölçme işlemini güçleştirmeyecek ve ölçme duyarlılığını olumsuz yönde etkilemeyecek bir hız (bot hızı $v < 1$ m/s) olmalıdır.

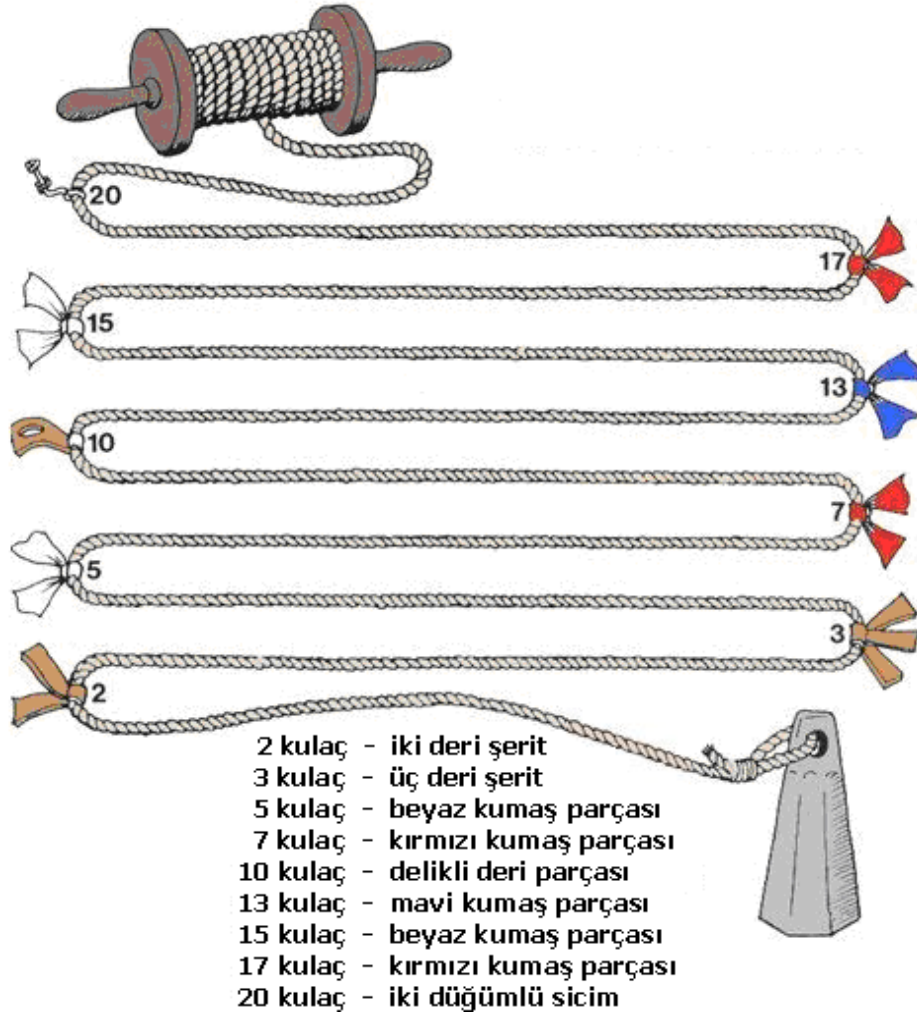
Yöntemin hata kaynakları ve duyarlılığı: Lata iskandilde en önemli hata kaynağı operatörün kişisel hatalarıdır. Aletsel hata olarak yalnız bölümlleme hatası vardır, ancak bu hata diğer hatalar yanında gözardı edilebilecek kadar küçüktür. Su ortamına ilişkin hatalar ise su yüzeyinin dalgalanması ve suiçi akıntılarının latanın konumuna etkisi olarak sayılabilir. Ayrıca bot hızının büyük olması ve sualtı bitki örtüsü ölçüleri etkileyen diğer faktörlerdir.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Lata bölümlerini okuma duyarlılığının ± 2 cm olmasına karşın, latanın düşey doğrultuda tam tutulamaması nedeniyle yöntemin doğruluğu $\pm 5-10$ cm'ye kadar düşer. Lata iskandil derinliği 5 m'yi geçmeyen sığ ve küçük su ortamlarında uygulanabilen verimliliği düşük bir yöntemdir.

4.1.1.2. İp iskandil

İskandil aleti: İp iskandilinde ölçme aleti olarak iyi cins bir keten, kenevir veya sentetik liflerden örülmüş ipler kullanılır. İpin suya batmasını ve kısa sürede düşey doğrultuya girmesini sağlamak üzere ucuna metal bir ağırlık bağlanır. Bu ağırlık suyun derinliğine ve varsa akıntının hızına bağlı olarak 2.5-10 kg arasındadır, (Şekil-4.05).

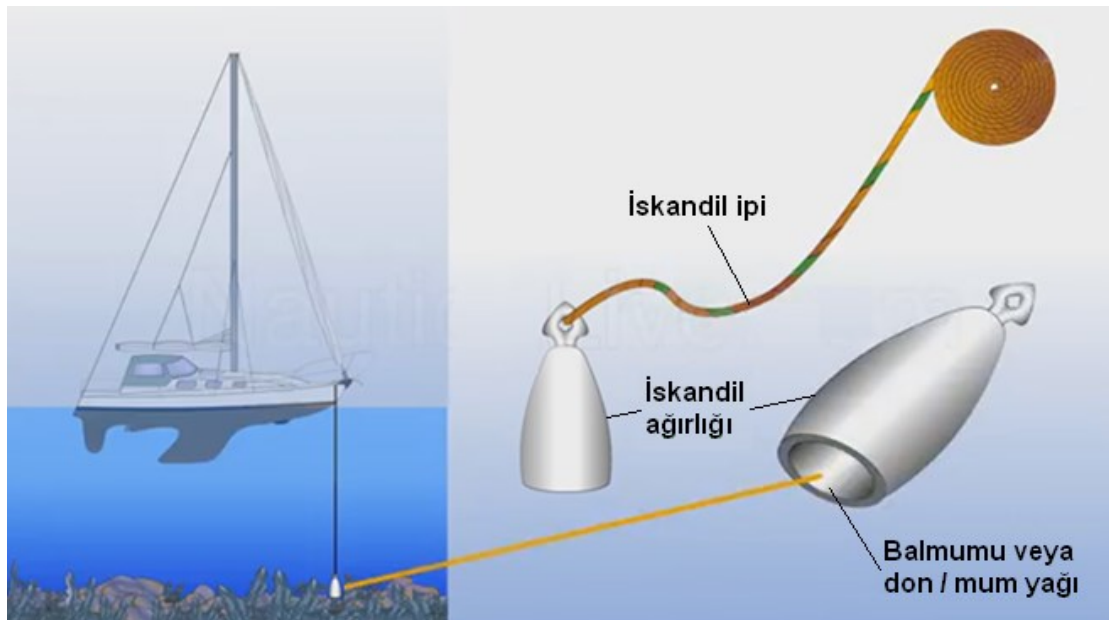


Şekil-4.05 İp iskandilde derinlik bölümlendirmeleri

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

İskandil ipinin zamanla uzunluğunun değişmesini azaltmak için bölümlendirme yapmadan önce bir gün kadar su içinde bırakılır ve sonra gerilerek kurutulur. Kurutma işleminden sonra ip üzerine belirli aralıklarla renkli kumaş ve deri parçaları (Şekil-4.06) veya piring plakalar bağlanarak derinlik bölümleri işaretlenir. Bölüm aralıkları genel olarak 20 cm’de bir işaretlenir. Bölümlendirme işlemi her ölçmeden önce ve sonra kontrol edilir.

Sualtı zemininden bitki örtüsü hakkında bilgi sahibi olmak amacıyla örnek alınması istendiğinde özel ağırlıklar kullanılır. Bu iskandil ağırlıklarının altında bir oyuk bulunur ve bu oyuca yapışkan balmumu veya kalın yağ sürülerek örnek alınabileceği gibi özel kaplarda kullanılabilir, (Şekil-4.06).



Şekil-4.06 Özel iskandil ağırlığı ve uygulaması

Yöntemin temeli ve uygulanışı: Ucuna ağırlık bağlanmış bir ip veya zincir yardımıyla derinliklerin ölçülmesi yöntemin temelini oluşturur, (Şekil-4.06). Ölçme işleminde iskandil aletinin elle kullanılması bir operatör tarafından gerçekleştirilir. Ölçme işlemi su derinliğine ve harita ölçeğine bağlı olarak, ya her noktada duran ya da sürekli hareket eden hidrografi taşıtından yapılır. Ölçme işleminde, botun her iskandil noktasında durması halinde operatör iskandil ağırlığını suya indirir ve sualtı zeminine değinceye kadar ipi salıverir ve ip üzerinden o andaki su seviyesine göre derinliği okur.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)



Şekil-4.07 Baltimore Limanı'nda sandalla ip iskandil yöntemi ile ölçü yapan hidrografik ölçme ekibi, (NOAA Merkez Kütüphanesi)

Hidrografi taşıtının hareketli olması halinde, bot iskandil yapılacak noktaya gelmeden birkaç saniye önce, ağırlık botun ilerleme yönünde suya fırlatılır. Ağırlık sualtı zeminine ininceye kadar bot ağırlığın suya girdiği noktaya gelir ve ip gerilerek derinlik okuması yapılır. Bu tür uygulamada, ipin yukarı çekilip tekrar fırlatılması için geçecek sürede botun ardışık iskandil noktasına gelmemiş olması gerekir. Hidrografi taşıtının hızı, suyun derinliğine ve harita ölçeğine bağlı olarak belirlenir. Derinliği 30 m'yi geçmeyen sularda ölçme süresi 30 saniye kadardır. Harita ölçeğine bağlı olarak hidrografi taşıtının ortalama hızlarına ilişkin değerler Tablo-4.01'de görülmektedir

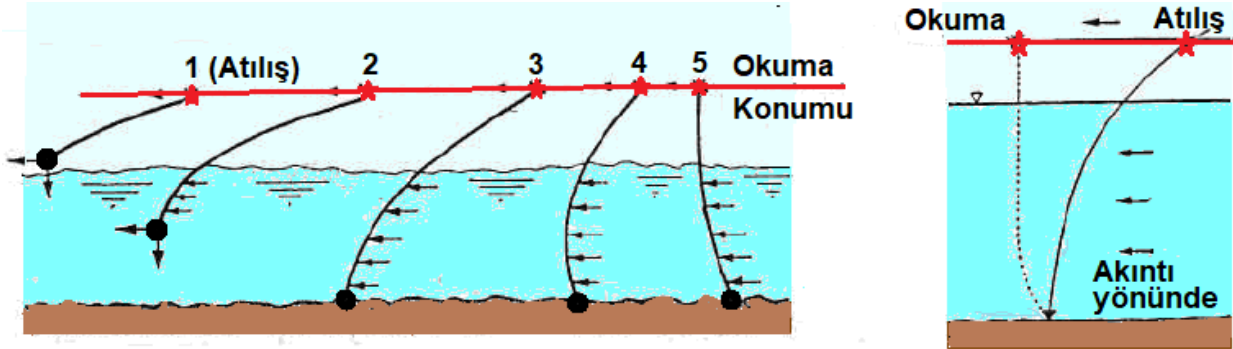
Tablo-4.01 Harita ölçeğine göre ortalama bot hızları

Harita ölçeği	1 / 2.000	1 / 5.000	1 / 10.000	1 / 25.000	1 / 40.000
Ort. bot hızı (m/s)	0.33	0.83	1.66	4.16	6.66

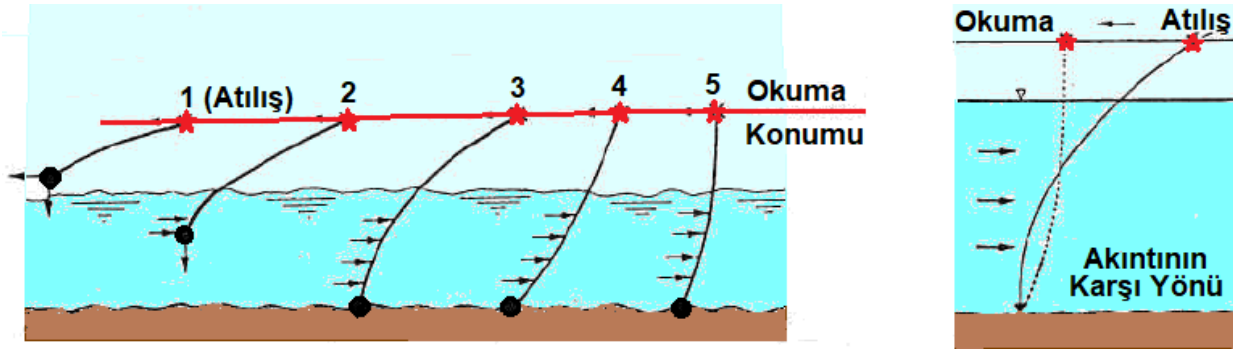
Derinlik arttıkça ağırlığın sualtı zeminine inmesi ve geri çekilmesi için geçen süre artacağından botun hızının azaltılması gerekir. Harita ölçeği büyüdükçe iskandil noktalarının aralıkları azalacağından yine bot hızı azaltılmalıdır.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Çalışma ortamındaki suyun akıntılı olması durumunda, iskandil ipinin akıntı nedeniyle bükülerek sonucu önemli ölçüde etkilemesini önlemek için derinlik ölçmesi hareketli bir bot üzerinden yapılır. Bu durumda bot ya akıntı yönünde ya da akıntının tersi yönünde hareket ettirilir. Uygulama düzeni ve iskandil ipinin bükülmesi aşağıda görüldüğü gibi olacaktır, (Şekil-4.08, Şekil-4.09).



Şekil-4.08 Botun akıntı yönünde ilerlemesi durumu



Şekil-4.09 Botun akıntının tersi yönünde ilerlemesi durumu

Yöntemin hata kaynakları ve duyarlılığı: 30 m'yi geçmeyen ve akıntısız sularda yöntemin duyarlılığı $\pm 0,10$ m olarak kabul edilir. Duyarlılığı etkileyen hata kaynakları;

- 1- Su ortamının neden olduğu hatalar,
- 2- Operatör hataları ve
- 3- Aletsel hatalar

olarak üçe ayrılır.

1- Su ortamının neden olduğu hatalar: Bu da kendi içinde ikiye ayrılabilir.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

a- Akıntı etkileri: Su içinde akıntı olması durumunda iskandil ipinin bükülmesi önlenemeyeceğinden sürekli bir miktar hata oluşur. Bu hata derinliğe doğrusal olarak bağlı değildir. İpin akıntı nedeniyle bükülmesini önlemek üzere ağırlığını artırmak olanaklı ise de bu durumda çalışma güçlüğü ve ipin kopması gibi sakıncalar ortaya çıkabilir. Akıntı nedeniyle ipin, zincir eğrisi şeklinde büküldüğü kabul edilir. İskandil ipinin ucundaki ağırlık ve akıntı hızı sabit olmak üzere yapılan araştırma sonucunda, ipin bükülmüş uzunluğu ile gergin ve düşey uzunluğu arasındaki farkın $\pm 0,1$ m değerinden küçük olması için maksimum ölçme sınırları belirlenmiştir, (Tablo-4.02).

Tablo-4.02 Akıntı hızına göre maksimum ölçme sınırları

Akıntı hızı (m/s)	0,5	0,7	1,0
Max. ölçme sınırı (m)	20	12	8

İpin ucundaki ağırlığı artırarak maksimum ölçme sınırı bir miktar artırılabilir. Yapılan araştırma sonuçlarına göre, akıntının neden olduğu derinlik hatasının akıntının yönüne bağlı olmadığı, akıntı hızına ve suyun derinliği ile iskandil ağırlığına bağlı olduğu belirlenmiştir.

b- Su yüzeyinin etkileri: Su yüzeyinin dalgalı olması veya bot hızının neden olduğu dalgalar, derinlik ölçmelerini dolayısıyla duyarlılığını etkiler. Bu nedenle çalışmalar su ortamının dalgasız veya az dalgalı zamanlarda ve botun oluşturacağı dalga etkisinin az olduğu kısımdan yapılması gerekir.

2- Operatör hataları: İp iskandilde en önemli hata kaynağı kişisel hatalardır. Bu hatalar şunlardır;

- a-** İp düşey konuma girmeden okuma yapılması,
- b-** İp iyice gerginleştirilmeden okuma yapılması,
- c-** Botun değişik yerlerinden okuma yapılması ve
- d-** Okuma hatalarıdır.

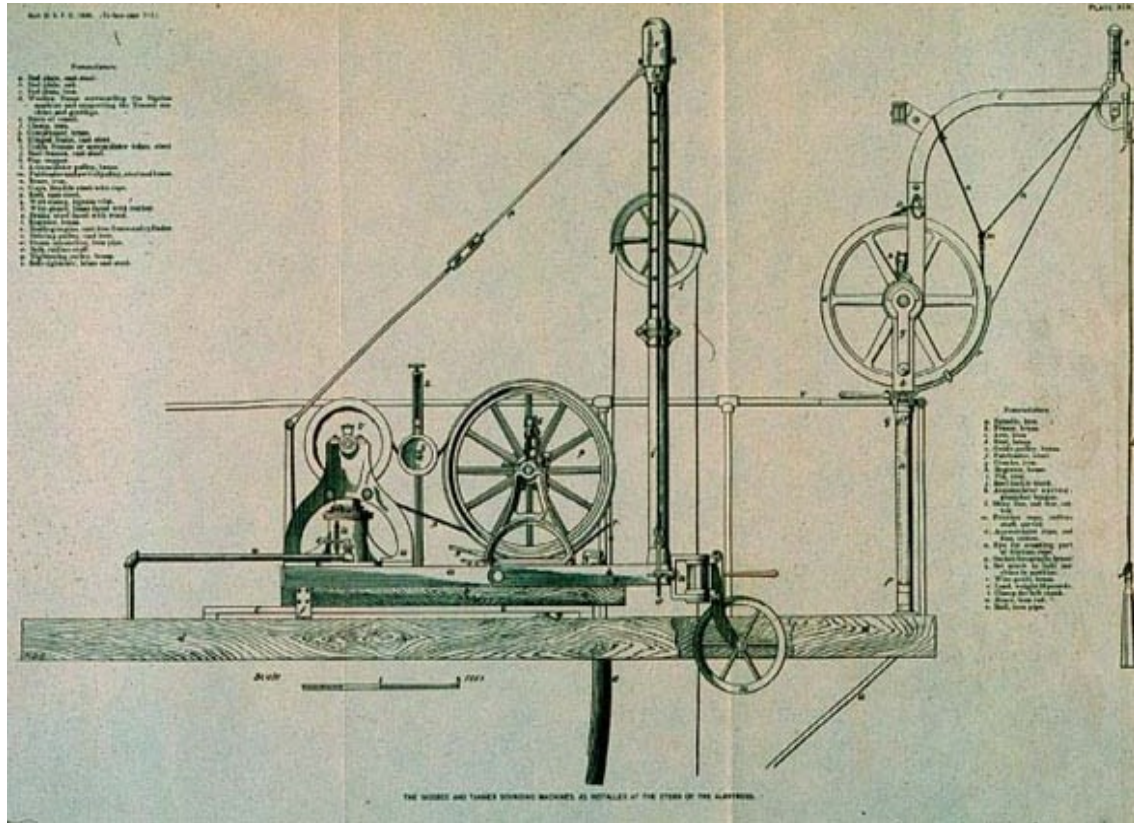
3- Aletsel hatalar: İp iskandilinde alet olarak, ucuna ağırlık bağlanmış ipler kullanıldığından en önemli aletsel hata ip boyunun zamanla değişmesidir. Bu değişim derinlik bölümlerini etkilediğinden ölçülerde düzenli bir hata oluşturur. Hatanın etkisini en aza indirmek için;

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

- a- Özel şekilde örülmüş iyi cins ipler kullanılmalı,
- b- İp boyu ve dolayısıyla derinlik bölümleri, ölçme yapmadan önce ve sonra kontrol edilmeli ve gerekirse düzeltme getirilmeli,
- c- İp ucuna bağlanan ağırlığın kütlesi uygun seçilmelidir.

4.1.1.3. Tel (Mekanik) iskandil

Lata ve ip iskandille yapılan derinlik ölçmeleri yorucu ve zaman alıcı olduğundan, genellikle 30 m'den daha derin sularda tel iskandil uygulanır. Yöntemde ölçme aracı ucuna ağırlık bağlanmış bir teldir. Telin sarılmasını kolaylaştırmak ve hızlandırmak için bir makara sisteminden yararlanılmaktadır, (Şekil-4.10). Bu nedenle yönteme "makaralı veya mekanik iskandil" adları da verilmiştir.

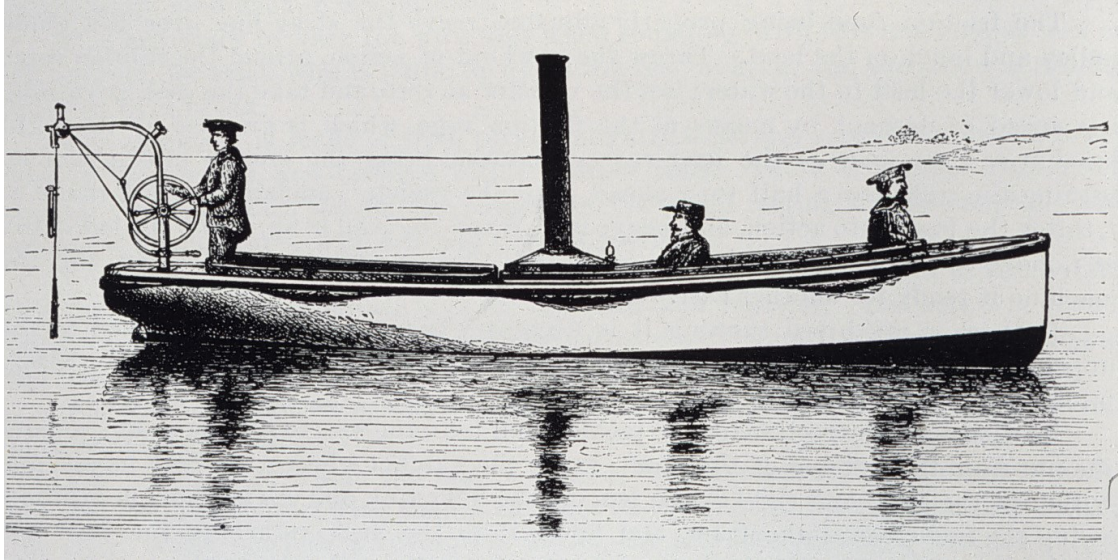


Şekil-4.10 Charles Dwight Sigsbee'nin (1845-1923) Tel (Mekanik) iskandil aleti
(NOAA Fotograf Kütüphanesi)

Yardımcı makaranın çevresi önceden ölçülmüş olup bellidir. Bu nedenle devir sayısı sayılarak serbest bırakılan telin uzunluğu hesaplanabilir.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Mekanik iskandil aletleri: Bu aletlerin çalışma ilkesi basit bir çıkırık sistemine benzer, (Şekil-4.10). Ölçme aracı olarak 1-1,5 mm çapında, kopma dayanımı yüksek galvanizli paslanmaz çelik teller kullanılır. Tel, makara veya disk üzerine sarılır. Ölçme anında telin açılan uzunluğu makaranın devir sayısını gösteren bir sayaç yardımıyla belirlenir. Bazı mekanik iskandil aletlerinde telin hızlı ve fazla açılmasını kontrol eden "otomatik fren düzeni" vardır. Tel ucundaki ağırlık sualtı zeminine ulaştığında, teldeki germe kuvveti azalacağından fren düzeni devreye girerek telin fazla açılmasını önler. Su derinliğine ve akıntı hızına bağlı olarak telin ucuna 0,1-20 kg arasında ağırlık bağlanır. Telin açılma sırasında ivme ve darbe etkileri nedeniyle kopmaması için, makara hızının 3 m/s'den büyük olmaması gerekir.



Şekil-4.11 Albatross-1'in ilk kaptanı ABD'li kaşif ve oşinograf Zera Luther Tanner (1835-1906) tarafından geliştirilmiş mekanik (tel) iskandil aleti, (NOAA Merkez Kütüphanesi, Tarih Koleksiyonu görüntüsü)

Yöntemin temeli ve uygulanışı: Yöntemin temel ilkesi ip iskandilin aynıdır. İskandil aleti hidrografi taşıtının uygun bir yerine ve bir platform üzerine yerleştirilir, (Şekil-4.11). Telin kopma olasılığı ipe göre fazla olduğundan ileri fırlatma yapılmaz. Bu nedenle bot her iskandil noktasında ölçme işlemi bitinceye kadar durmak zorundadır.

Yöntemin hata kaynakları ve duyarlılığı: Diğer yöntemlerde olduğu gibi mekanik iskandilin hata kaynaklarını da;

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

- 1- Su ortamının neden olduğu hatalar,
- 2- Operatör hataları ve
- 3- Aletsel hatalar

olmak üzere üç grupta toplayabiliriz.

Mekanik iskandil 30-2.000 m arasındaki derinliklerde uygulanır. Akıntının olması halinde, ip iskandildeki gibi özel ölçme yöntemi uygulanamadığından, ölçülerde m'ye varan kaba hatalar oluşur. Hidrografi taşıtının her iskandil noktasında durması nedeniyle operatör hataları, aletin geliştirilmiş konstrüksiyonu nedeniyle de alet hataları, su ortamının olduğu hatalar yanında gözardı edilebilir. Alet üzerindeki derinlik sayacı yardımıyla açılan tel ± 1 cm duyarlılıkla okunabilir, ancak derinliğe bağlı olarak yöntemin duyarlılığı ± 0.01 H m olarak öngörülür.

4.1.2. Dolaylı sonuç veren yöntemler

4.1.2.1. Hidrostatik iskandil

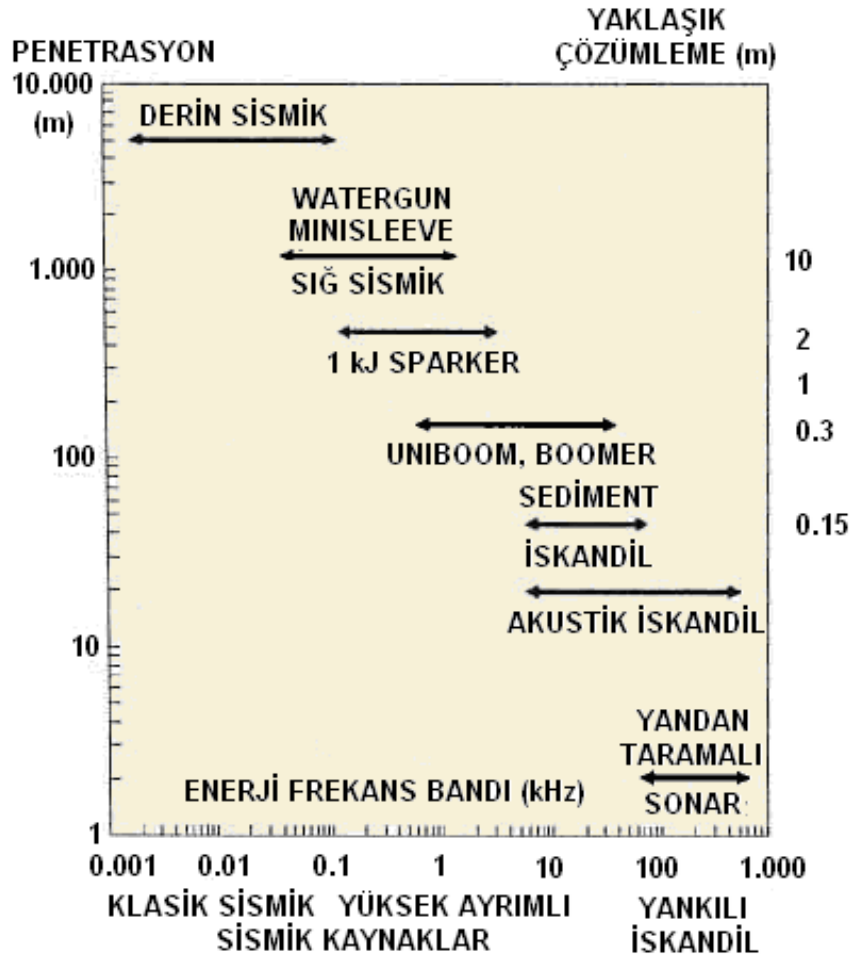
Sualtı zemininde ölçülen hidrostatik basınç yardımıyla derinliğin belirlenmesi yöntemin temelini oluşturur. İskandil aleti olarak hidrostatik basınç ölçerler kullanılır. Alet, ölçme yapılacak her noktada bir ip veya tel yardımıyla sualtı zeminine indirilerek o andaki su derinliğinin fonksiyonu olarak hidrostatik basınç ölçülür. Burada derinlik doğrudan ölçülemediğinden ölçülen basınç değeri hesapla veya hazır çizelgeler yardımıyla belirlenir. Bu nedenle yöntem dolaylı sonuç veren bir yöntemdir. **Boyle-Mariotte Kanunu**'na göre hidrostatik basıncı ölçen ilk iskandil aleti **William Thomson** (1824-1907) tarafından yapılmıştır. Bu aletin geliştirilmiş Warluzel iskandil aletidir.

Hidrostatik iskandil aletleri: Thomson iskandil aleti 100-200 m derinliklerde kullanılır ve ortalama duyarlılığı ± 5 m'dir. Derinlik arttıkça duyarlılığı azaldığından derin sular için veya duyarlı ölçmeler için uygun değildir. Thomson aletinin yalnız tuzlu sularda kullanılabilmesine karşın Warluzel aleti ile hem tatlı hem de tuzlu sularda ölçme yapmak olanaklıdır. Bu aletin normal ölçme derinliği 100 m, duyarlılığı ise $\pm 3-5$ m arasındadır. Her iki alette sürekli ve hızlı ölçmeye olanak vermediklerinden günümüzde kullanılmamaktadırlar.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

4.1.2.2. Termometrik iskandil

Sualtı zemininde aynı noktada sıcaklık ve basınç ölçerek derinliğin bulunması yöntemin temelini oluşturur. Termometrik iskandil aleti olarak bir plaka üzerinde yan yana tespit edilmiş iki basit termometre kullanılır. Termometrelerden biri su basıncına karşı kalın bir cam muhafaza tüpü içine yerleştirilmiştir. Diğeri ise açıktadır. Termometrik iskandil 1.000 m ve daha derin sularda uygulanır ve duyarlılığı $\pm 0,005 H$ m'dir. Uygulama sırasında sarkıtma ipinin ya da telinin bükülmesinin derinlik değerine bir etkisi yoktur. Termometrik iskandilde sürekli ve hızlı çalışma olanağı vermediğinden günümüzde önemini yitirmiştir.



Şekil-4.12 Bazı akustik enerji kaynaklarının fiziksel özellikleri kHz cinsinden frekans bantları, (Bu spektrumda akustik (yankılı) iskandilin yeri 3-700 kHz arasındır).

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

4.1.2.3. Akustik iskandil

Yapay akustik dalgaların sualtı zeminindeki yansıtıcı ortamlardan dönen yansımalarını değerlendirme prensibi üzerine kurulmuş sismik yöntemlerin en basit olanlarından biri akustik derinlik ölçme (Echo sounder) yöntemidir, (Şekil-4.12). Yöntemin temeli, bir hat boyunca seyreden hidrografi taşıtının altındaki derinliklerin akustik dalga yayılım prensiplerine göre ölçülerek, o hat boyunca sualtı topografik profilinin çıkarılmasıdır. Birbirleri ile kesişen çok sayıda profilin alınıp hesaplanmasıyla deniz dibinin derinlik haritaları çıkartılır. Yöntem; sürekli ve otomatik yapılması, operatör hatalarının en aza indirgenmesi ve ölçmelerin akıntılardan etkilenmemesi nedeniyle, klasik derinlik ölçme yöntemlerinin uygulanmasının güç olduğu yerlerde, yüksek çalışma hızında bile güvenle kullanılan bir derinlik ölçme yöntemidir.

Sualtı zemininin topografyasının araştırılıp, batimetrik harita ve profillerinin çıkarılması hemen bütün kıyıötesi araştırma programlarında yer almaktadır. Bu faaliyetlerin sonucu genel olarak batimetrik profiller halinde kullanıcıya sunulur. Araştırma gemisinin tipinin belirlenmesi, profillerin konumu, bazı çalışmalarda bilinmesi gereken geminin demirleme kapasitesi, deniz tabanına yerleştirilecek aletlerin derinlik kapasitelerinin belirlenmesi gibi birçok problemlerin çözülmesinde bu grafiklerden yararlanılır.

Kullanılan akustik derinlik ölçme aletleri su derinliğini doğrudan vermezler. Yalnız verici-alıcı ünite tarafından yayınlanan ses dalgasının zamanı ile bunun deniz tabanından yansıyarak gelen ekusunun zamanı arasındaki farkı, diğer bir deyişle t gidiş-dönüş zamanını algılar. Sudaki ses dalgalarının ortalama yayılma hızı V biliniyorsa ve kalibrasyon hızı olarak tanımlandıysa, H' geçici derinliği;

$$H' = \frac{1}{2} t \cdot V \quad (4.01)$$

bağıntısıyla hesaplanır. Gerçek derinliğin bulunması için bu ifadeye düzeltmeler getirilmesi gerekmektedir.

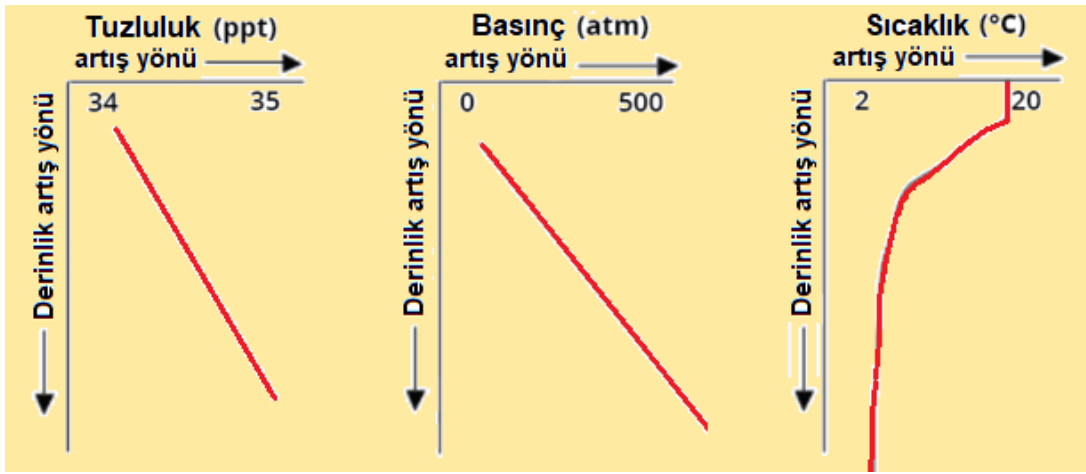
(4.01) bağıntısının hidrografik duyarlık yönünden anlamlı olabilmesi için ses dalgalarının t gidiş-dönüş süresinin $\pm 10^{-1}$ - $\pm 10^{-4}$ saniye duyarlıkla ölçülmesi

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

gerekmektedir. Bu nedenle bu süreyi elektronik olarak ölçen ve ekolot, echo sounder ve fathometer gibi adlarla anılan modern aletler kullanılmaktadır.

4.1.2.3.1. Sesin su içinde yayılma hızı

Ses dalgaları su içinde yansıma, kırılma ve yutulma gibi fiziksel kanunlara uyarak yayılırlar. Sesin su içinde yayılma hızı suyun yoğunluğuna, başka bir deyişle sıcaklığına, tuzluluğuna ve derinliğine (basıncına) bağlı olarak değişir, (Şekil-4.13). Örneğin sıcaklık arttıkça yoğunluk azalacağından sesin yayılma hızı da artacaktır.



Şekil-4.13 Açık okyanus sularında tuzluluk, basınç ve sıcaklık artışına bağlı ses hızı profilleri (Rhode Island Üniversitesi, ABD)

Şekil-4.13'deki ses hızı profillerine göre okyanus sularında, tuzluluğun yalnızca küçük bir miktarda değişmekte olduğu, yaklaşık 34 ila 35 Pratik Tuzluluk Birimi (PSU) büyüklüğünde gerçekleştiği görülmekte, öte yandan sıcaklığın büyük miktarda değiştiği, orta enlemlerde yüzeye yakın 20° C değerinin okyanus dibine yakın yerlerde 2° C'ye düştüğü görülmektedir. Son olarak, basıncın yüzeyde 0'dan dipte 500 atmosfere (atm) kadar büyük miktarda arttığı anlaşılmaktadır. Görülmektedir ki, sudaki ses hızı, artan su sıcaklığı, artan tuzluluk ve artan basınç (derinlik) ile artmaktadır. Her özellikteki değişiklikle birlikte ses hızındaki yaklaşık değişim:

- Sıcaklığın 1° C artması durumunda 4,0 m/s,
- Tuzluluğun 1 PSU artımı ile 1,4 m/s ve
- Derinliğin 1 km artımı halinde 17 m/s olmaktadır.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Sudaki ses hızını etkileyen bu temel fiziki faktörler ana hatlarıyla şöyledir;

a. Sıcaklık: Sıcaklık, moleküllerin sahip olduğu kinetik enerjinin ölçüsüdür. Deniz suyu sıcaklık ölçümlerinde, sıkışma ve genleşmeyle oluşan potansiyel enerjinin hesaba katılması gerekmektedir. Sıcaklık değişimleri diğer faktörlere nazaran 5 kat daha fazla etkilemektedir.

Sıcaklık dağılımına etki eden faktörler: Güneşin ısı miktarına, ufuktan yüksekliğine, atmosferin emdiği ısıya ve bölgenin bulut miktarına bağlıdır. Berrak okyanus suyunda, gelen Güneş enerjisinin % 62'si ilk 1 m'de, % 83'ü ilk 10 m'de emilir. Bulanık kıyı sularında ise % 99'u 10 m'de emilmektedir. Bu nedenle, diğer çevre etkileri gözardı edilirse, ısınma sadece ilk 10 m'de gerçekleşmektedir. Bazı özel durumlar dışında, deniz suyu sıcaklığı derinlikle azalmaktadır. Soğuk dip sularıyla, yüzey suyu arasındaki ısı alış veriş, rüzgarın yüzey sularını karıştırmasıyla oluşur. Oluşan tabakanın kalınlığı, rüzgarın kuvvet ve etkisine bağlıdır. Böylece yüzeydeki sıcak su ile dipteki soğuk su arasında üçüncü bir katman oluşur. Bu tabakada ses hızı profili hızla değişir, (Bakınız, Şekil-4.14). Akıntılarda ses hızı değişimini etkiler. Yüzey suyunun soğuması, dip suyunun rüzgarın ve buharlaşmanın sonucu yüzeye çıkması sonucunda oluşur. Esasen bu durum, rüzgar etkisiyle sıcak yüzey sularının açıklara sürüklenmesine sonucunda soğuk dip sularının onun yerini alması sonucundadır.

b. Tuzluluk: Tuzluluk, deniz suyunda, saf suda bulunmayan bütün mineral ve elementlerin 1 kg deniz suyundaki gram birimindeki ağırlığıdır. Derin sularda çok az değişmesine karşın kıyı bölgelerde özellikle haliç (girinti ya da fyort) ve buz alanlarında, tuzluluk etkisi önem arz etmektedir.

Tuzluluk dağılımına etki eden faktörler: Açık deniz ortamlarında yüzey tuzluluğu, yağışlarla azalır, buharlaşmayı artırır. Dikey karışma ve karadan denize akan sularla azalır. Yüzey tuzluluğu buharlaşma ve yağış miktarı arasındaki uyuma bağlı olmaktadır.

c. Yoğunluk: Yoğunluk, bir ünitelik hacimdeki madde miktarı olarak tanımlanır. Genel olarak deniz suyunun yoğunluğu yaklaşık 1,026 gr/cm³ olarak alınır. Ancak yoğunluk, sıcaklığın azalması veya tuzluluk ve derinliğin

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

artması ile yükselir. Yoğunluk, suyun sıcaklığına bağlı olarak değişir ve yaklaşık +4⁰ C'de en yüksek değerine ulaşır. Herhangi bir noktadaki deniz suyu yoğunluğunun belirlenmesi için $Y(t,s,p)$ ifadesi kullanılır. Burada deniz suyunun elde edildiği noktadaki tuzluluk, sıcaklık ve basınçta sahip olması gereken yoğunluk kısaca (t,s,p) ile ifade edilmekte ve;

$$(t,s,p) = 1.000 \times [Y(t,s,p) - 1] \quad (4.02)$$

eşitliği ile tanımlanmaktadır. Buna göre $Y(t,s,p)=1,02625$ ise $(t,s,p)=26,25$ olacaktır. Yoğunluk için sıkça kullanılan birim σ_t 'dir ve deniz suyunun örnek alındığı andaki sıcaklık ve tuzluluğu kullanılarak normal atmosfer basıncında hesaplanmaktadır.

Yoğunluk dağılımına etki eden faktörler: Deniz suyunun yoğunluğu sıcaklık ve basınca bağlı olduğundan, bunları etkileyen etmenler yoğunluğu da dolaylı olarak etkiler. Yüzey suyu yoğunluğu, soğuma, buharlaşma ve buzlaşma ile artmakta; ısınma, yağış, buzların erimesi veya nehir suları vasıtasıyla azalmaktadır. Yüzeydeki su yoğunluğunun artmasıyla alttaki su tabakası daha yoğun hal alırsa, düşey akıntılar vasıtasıyla tabakalaşmalar oluşur.

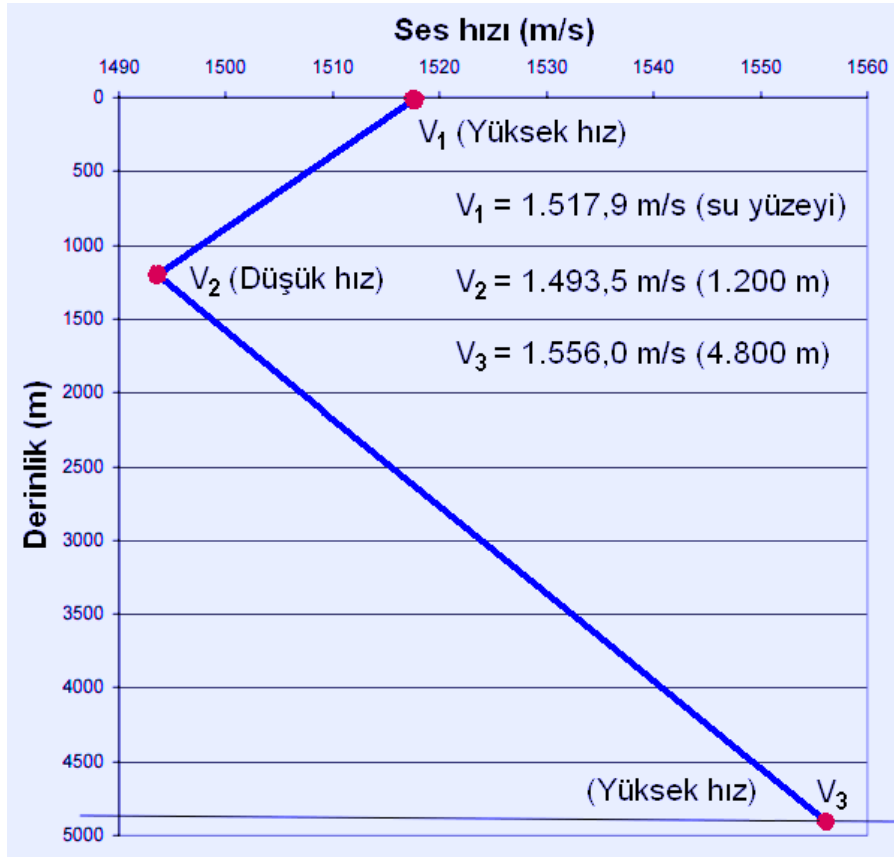
d. Basınç: Basınç, yani derinlik değerlerinde gözlenen bir artış, akustik yayılma hızının artmasına neden olmaktadır. Basıncın tek başına oluşturacağı ses hızı değişimi su yüzeyi ile 3.000 m arasında yaklaşık 50 m/s'dir.

Akustik, maddede titreşen dalgalar şeklindeki enerjinin üretimi, iletimi ve kabulü olarak tanımlanabilir. En yaygın akustik olgu uzunlamasına bir dalga olan ses dalgasıdır. Ses dalgaları bir ortamda seyahat ettiği için yoğunluk ve basınç üretmek için ortamda titreşen tanecikler dalganın hareket yolu boyunca değişirler. Basıncındaki değişim, akustik veya basınç fazlası olarak tanımlanır. Anlık basınç P , hidrostatik basınç P_0 ve arındırılmış basınç P_e ile gösterilirse,

$$P_e = P - P_0 \quad (4.03)$$

eşitliği ile ifade edilir.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)



Şekil-4.14 Sesin su içindeki yayılma hızı grafiği

Basınç fazlası nedeni ile ortamdaki tanecikler hareket etmeye başlar. Sonuç olarak tanecikler arasındaki mesafe zaman ve konumun fonksiyonu olarak değişir. Ortam boyunca yayılan ses dalgaları ortamda sıkıştırılabilir. Bu sıkıştırılabilirlik, m^2/N (veya Pa) biriminde her uygulanmış gerilimdeki hacimsel gerinimdir. Akustik basıncın P olduğu yerde, V_0 orijinal ses hızındaki değişim dv ise ρ suyun geçirgenliği

$$\rho = - (dv/V_0)/P \quad (4.04)$$

eşitliği ile hesaplanmakta ve Hooke Kanunu olarak bilinmektedir, (Robert Hooke, 17. yy). Ses dalgalarının su içindeki yayılma hızı;

$$V = \sqrt{\frac{1}{k \cdot \rho}} \quad (4.05)$$

bağıntısı ile belirlenir. Burada;

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

k: suyun yoğunluğu,

ρ : suyun geçirgenliğidir.

Su için $1/k=2.2 \times 10^9$ Pa ($\text{Pa}^{-1}=\text{m}^2/\text{N}$) ve $\rho=1000$ kg/m³ alındığında ses hızı ortalama 1480 m/s olmaktadır, (de Jong C.D. et.al, 2010, Hydrography). Derinliğe inildikçe k ve ρ değerleri değiştiğinden (4.05) bağıntısına göre bulunacak hız bölgesel koşullara uygun olmaz. Bu nedenle normal koşullardaki ($t=0^\circ$ C sıcaklık, $s=\%$ 0.35 tuzluluk ve $h=0$ m veya $p=760$ mm Hg basıncı) ses hızı ortamındaki koşullara uygun olarak düzeltilir. Sesin su içindeki hızı, havadaki yayılma hızı 340 m/s'nin dört katı olup yaklaşık 1.500 m/s'dir. Su ortamının maksimum ve minimum yoğunluğuna göre sesin su içindeki yayılma hızı 1.400-1.570 m/s (4.593-5.151 feet/sec.) arasındadır, (Şekil-4.14).

Bölgesel koşullar için ses hızının genel bağıntısı, S. Kuwahara (1939) ve W. D. Wilson (1960) tarafından

$$V_{t,s,p} = V_0 + \Delta V_t + \Delta V_s + \Delta V_p + \Delta V_{t,s,p} \quad (4.04)$$

biçiminde verilmektedir. Burada;

- $V_{t,s,p}$: sıcaklığı t, tuzluluğu s ve basıncı p olan suda sesin yayılma hızı,
- V_0 : normal koşullardaki suda sesin yayılma hızı,
S. Kuwahara'ya göre $V_0 = 1.445,5$ m/s
W. D. Wilson'a göre $V_0 = 1.449,2$ m/s'dir.
- $\Delta V_t, \Delta V_s, \Delta V_p$: normal koşullar dışında V_0 değerine uygulanacak düzeltmeler ve
- $\Delta V_{t,s,p}$: her üç verinin (t,s,p) aynı anda değişmesi halinde ek düzeltme

anlamındadır. Sudaki ses hızını veren amprik formüllerden en önemlisi W.D. Wilson formülü olup;

$$V = 1449,2 + 4,623 \cdot t - 0,0546 \cdot t^2 + 1,391 (s - 35) + 0,016 \cdot d + \dots$$

şeklindedir, (d: derinlik). S. Kuwahara'ya göre de

$$V = 1445,5 + 1,307 \cdot (s - 35) - 0,00015 \cdot (s - 35)^2 + \dots$$

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

dir. Bu bağıntıdan elde edilecek hız değerindeki duyarlık ± 0.3 m/s kadardır.

Tablo-4.03 m/s biriminde sudaki ses hızı amprik formülleri
(Sıcaklık T($^{\circ}$ C), derinlik D(m) ve tuzluluk S(ppt) biriminde)

Ses hızı formülleri	Sınırlar
$\mathbf{V} = 1492.9 + 3 \cdot (T - 10) - 6 \cdot 10^{-3} \cdot (T - 10)^2$ $- 4 \cdot 10^{-2} \cdot (T - 18)^2 + 1.2 \cdot (S - 35)$ $- 10^{-2} \cdot (T - 18) \cdot (S - 35) + 1.6 \cdot 10^{-2} \cdot D$	$- 2 \leq T \leq 24.5$ $0 \leq D \leq 1000$ $30 \leq S \leq 42$
$\mathbf{V} = 1449.2 + 4.6 \cdot T - 5.5 \cdot 10^{-2} \cdot T^2$ $+ 2.9 \cdot 10^{-4} \cdot T^3 + (1.34 - 10^{-2} \cdot T) \cdot (S - 35)$ $+ 1.6 \cdot 10^{-2} \cdot D$	$0 \leq T \leq 35$ $0 \leq D \leq 1000$ $0 \leq S \leq 45$
$\mathbf{V} = 1448.96 + 4.591 \cdot T - 5.304 \cdot 10^{-2} \cdot T^2$ $+ 2.374 \cdot 10^{-4} \cdot T^3 + 1.340 \cdot (S - 35)$ $+ 1.630 \cdot 10^{-2} \cdot D + 1.675 \cdot 10^{-7} \cdot D^2$ $- 1.025 \cdot 10^{-2} \cdot T \cdot (S - 35) - 7.139 \cdot 10^{-13} \cdot T \cdot D^3$	$0 \leq T \leq 30$ $0 \leq D \leq 8000$ $30 \leq S \leq 40$

1-

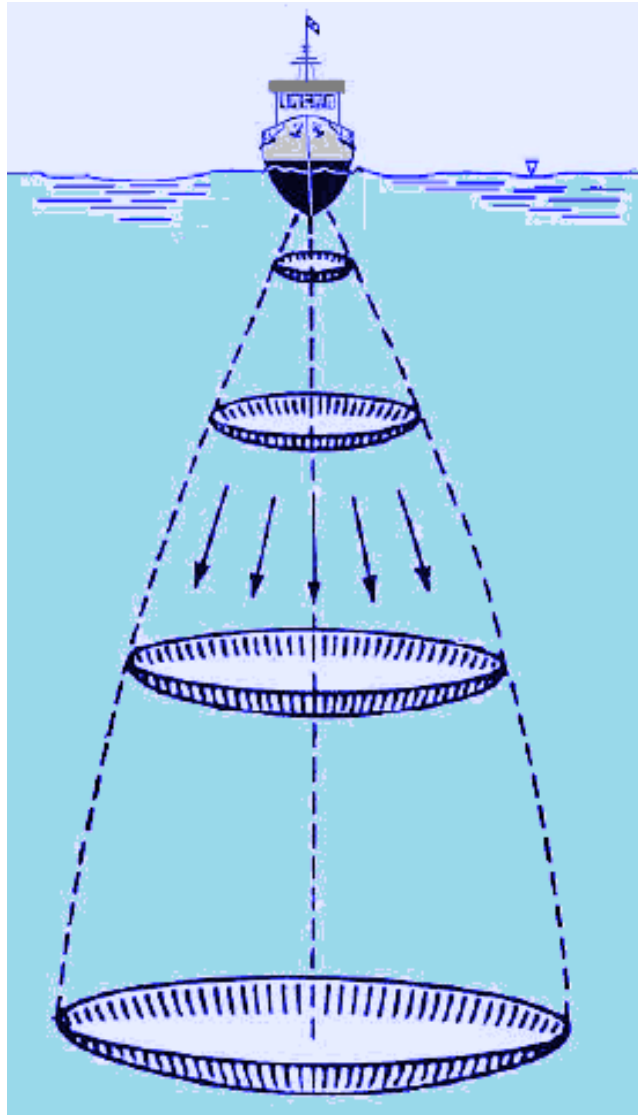
2- Medwin 1975

3- Mackenzie 1981

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

4.1.2.3.2. Ses enerjisinin yöneltilmesi

Demetlenmemiş bir ses enerjisi su içinde küresel bir yüzey şeklinde her yöne yayıldığından, bu tür bir ses enerjisi ile derinlik ölçümü yapma olanağı yoktur. Frekansı 16 Hz-16 kHz arasında olan seslere **işitilebilir ses** veya **sonik ses** denir. Bunların dalga boyları büyük olduğundan enerjilerinin dar bir alanda demetlenmesi olanaksızdır. Buna karşın ses içinde dağılma ve yutulma tehlikeleri azdır. Bu nedenle derin denizlerdeki derinlik ölçmelerinde kullanılırlar.



Şekil-4.15 Demetlenmiş bir ses enerjisinin suda yayılması

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Frekansı 16 kHz-10 gHz arasındaki seslere **ultra ses** denir. 10 mHz frekans değerine kadar, sesin yayılmasında hiçbir dağılma olayı ortaya çıkmaz, dolayısıyla bu frekanslar için sesin yayılma hızı yeterince sabittir. Ultra seslerin dalga boyları küçük olduğundan ($\lambda=V/f$) bunların dar bir alan içinde demetlenmesi ve yöneltilmesi olanaklıdır. Demetlenmiş bir ultra ses koni şeklinde bir yüzey içinde yayılır, (Şekil-4.15).

Ultra sesler iyi demetlenme ve yöneltme özelliklerine karşın, su içinde fazlaca yutulmaları nedeniyle enerjilerini önemli oranda kaybederler. Bu nedenle derin denizlerde kullanılmazlar, ancak sığ sularda duyarlı derinlik ölçmelerine olanak verirler. Fazla eğimli zeminlerde ise, yansıma dolayısıyla enerjilerinin önemli bir kısmı alıcıya ulaşamaz.

Ses enerjisinin yutulması farklı frekanslarda şu şekilde gerçekleşir;

- 20-30 kHz frekanslar için: 5-10 db/km
- 100 kHz frekanslar için: 30-40 db/km yani,
- 5 db/km'de sesin katedeceği yol % 56
- 10 db/km'de sesin katedeceği yol % 32
- 20 db/km'de sesin katedeceği yol % 3,2
- 40 db/km'de sesin katedeceği yol % 1 oranında azalır.

Ses enerjisinin yöneltmesi frekanstan başka ses üreticinin karakteristiğine, diğer bir deyişle su ile temas eden gönderici diyaframın biçimine ve büyüklüğüne bağlıdır, (Şekil-4.16). Daire şeklindeki bu diyafram için ses konisinin $\alpha/2$ tepe açısı,

$$\sin \frac{\alpha^0}{2} = 1,22 \cdot \frac{\lambda}{D} = 1,22 \cdot \frac{V}{D \cdot f} \quad (4.05)$$

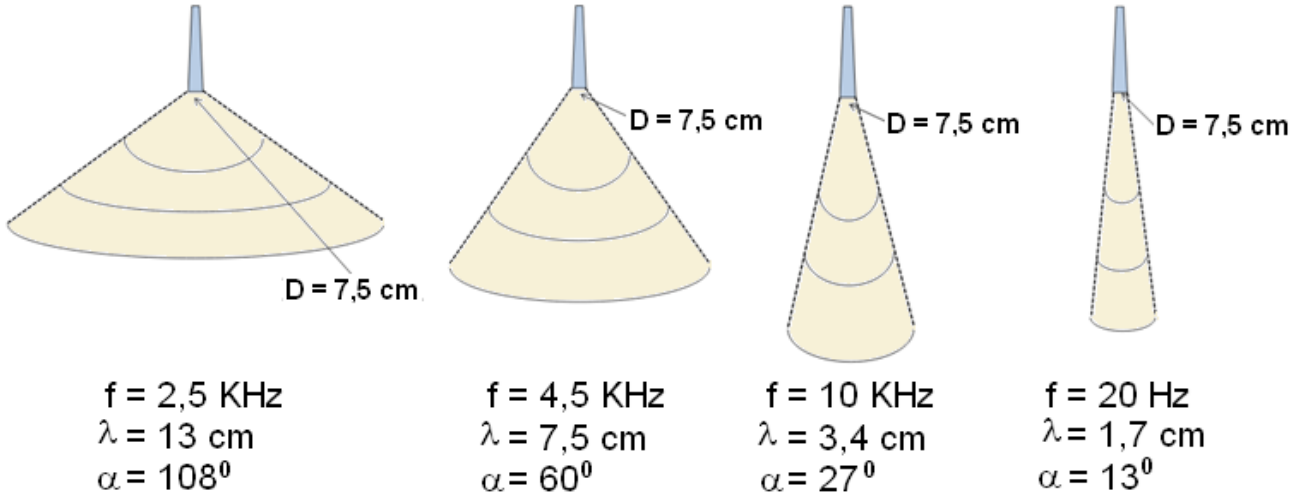
bağıntısı ile hesaplanmaktadır. Burada;

- V : sesin su içindeki hızı (m/s),
- λ : sesin dalga boyu (m),
- D : diyafram çapı (m) ve
- f : sesin frekansıdır (1/s).

anlamındadır.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Uygun bir yöneltme diyagramının çapı, göndereceği sesin dalga boyunun 8-10 katı olmalıdır. Bu nedenle sonik frekanslı aletlerin verici-alıcı üniteleri çok büyük, dolayısıyla kullanışsız olur. Sonik frekanslı sesler basit veya mekanik üreteçlerle elde edilmelerine karşın ultra sesler için magnetostriktif, piezoelektrik ve elektrostriktif ilkesine göre çalışan modern ses üreteçleri kullanılır.



Şekil-4.16 Farklı frekans ve ses konisi açlarına göre ses demetleri

Uygulama-4.01: Akustik iskandil için 20 mm çaplı daire kesitli bir diyaframdan frekansı 16 MHz, hızı 1.530 m/s olan ses dalgaları gönderilmektedir. Gönderilen sesin dalga boyunu ve ses konisinin tepe açısını hesaplayınız.

Çözüm: kullanılan sesin λ dalga boyu

$$\lambda = \frac{V}{f} = \frac{1.530 \text{ m/s}}{16 \times 10^6 \text{ 1/s}} = 0,000095625 \text{ m} = 0,095625 \text{ mm} \text{ olarak bulunur.}$$

(4.05) bağıntısına göre ses konisinin tepe açısı

$$\sin \frac{\alpha^0}{2} = 1,22 \cdot \frac{0,095625 \text{ mm}}{20 \text{ mm}} = 0,005833125 \text{ 'dır.}$$

$$\frac{\alpha^0}{2} = 0,33422^\circ = 0^\circ 20' 3,18'' \text{ olup } \alpha^0 = 0,66843^\circ = 0^\circ 40' 6,35'' \text{ 'dır.}$$

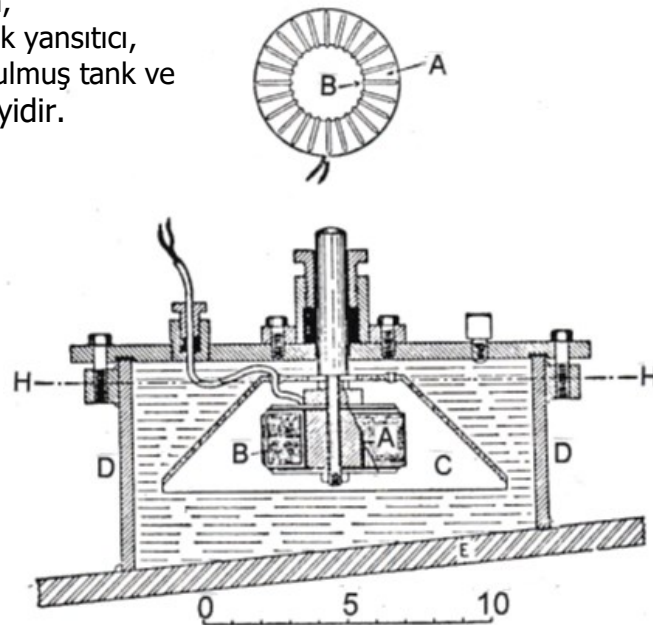
4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

4.1.2.3.3. Ses üreticileri

Enerjinin her iki formunu da (Ses ve ışık) birbirine dönüştürme performansı malzemenin piezoelektrik ve magnetostriksiyon olarak adlandırılan özellikleri ile doğrudan ilgilidir. Kuartz, amonyum dihidrojen, fosfat-ADP ve rochelle tuzu gibi kristaller, basınç altında yüzeyleri arasında elektrik yükü kazanırlar ve voltaj verildiğinde gerilime uğrarlar. Bu tip malzemeler piezoelektriktir. Elektrostriktif malzemelerde aynı karakterdedir, ancak bunlar polikristalleşmiş seramiklerdir. Bu seramiklerin, yüksek bir elektrostatik alanda en uygun şekilde polarize edilmiş olması gerekir. Buna örnek olarak baryum titanat ve zirconat titanat verilebilir. Magnetostriktif bir malzeme gerilime uğradığında manyetik alanı değiştirir ve polarize edildiklerinde frekans ikileşmesi ortadan kalkacağından, performansları artar.

Magnetostriktif ses üreticileri: Bazı metal çubukların elektromanyetik alan içinde boy değiştirmesinden yararlanarak geliştirilmiş ses üreticileridir. Bu kurala en uygun metal saf nikeldir. Şekil-4.17'de magnetostriktif kuralına göre çalışan bir ses üreticinin kesiti verilmiştir. Üretecin elemanları;

- A:** magnetostriktif eleman,
- B:** dairesel bobin,
- C:** çift yüzlü konik yansıtıcı,
- D:** saf su doldurulmuş tank ve
- E:** montaj yüzeyidir.

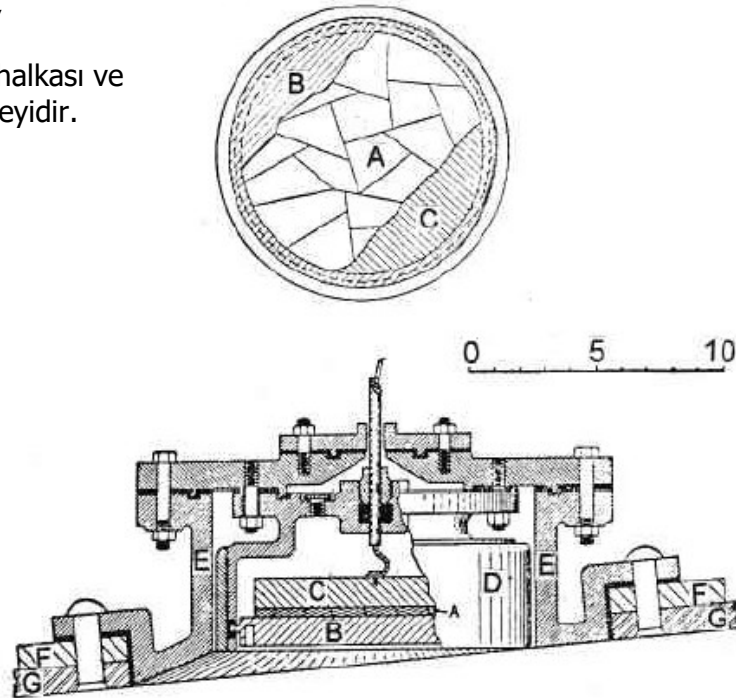


Şekil-4.17 Magnetostriktif ses üreticinin kesiti

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Üretecin çalışması için önce içinde saf su bulunan bobinin iki ucuna alternatif akım uygulanır. Bu sırada akım değişimine bağlı olarak çubuğun boyu uzar ve kısalır. Çubuğun bu hareketlerinden etkilenen su ile temas halindeki diyafram suya belirli aralıklarla ses dalgaları iletir. Dalga aralıkları, bobine uygulanan alternatif akımın şiddetine ve periyoduna bağlı olarak değişir. Üreteç bu çalışma düzeni ile bir gönderici ünitedir. Eğer üretece uygulanan akım kesilirse ve diyafram sualtı zemininden yansıyan ses dalgalarının etkisine açılırsa, alıcı ünite olarak çalışmaya başlar. Yansıyan ses dalgalarının diyafram üzerindeki darbe etkileri nikel çubukta sürekli ve küçük boy değişimleri oluştururarak bobinin uçlarında zayıf bir alternatif akım oluşmasına neden olur. Bu akım amplifikatörde güçlendirilerek ses dalgalarının seyir süresi derinlik ölçme aletinin elektronik devrelerinde otomatik olarak belirlenir. Magnetostriktif ses üreteçleri genellikle ultrasonik seslerin üretilmesinde ve kaydedilmesinde kullanılırlar.

- A:** kuvarz kristal plakalar,
- B:** metal tespit plakası,
- C:** kristal tespit plakası,
- D:** muhafaza,
- E:** gövde,
- F:** sıkıştırma halkası ve
- G:** gövde yüzeyidir.



Şekil-4.18 Piezoelektrik ses üreticinin kesiti

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Piezoelektrik ses üreteçleri: Elektriksel bir alan içinde kuvarz ve benzeri bazı kristallerin bünyelerinde fiziksel gerilmeler ve burulmalar oluşur. Bu kristaller üzerine mekanik bir basınç yapılması, kristallere bağlı bir elektrik devresinde akım meydana getirir. Kristallerin bu özelliğine piezoelektrik, bundan yararlanarak geliştirilmiş üreteçlere de piezoelektrik üreteçler denir. Şekil-4.18’de kesiti görülen piezoelektrik ses üreticinin ana elemanları;

Üreticinin gönderici ünite olarak çalıştırılması halinde B ve C plakalarına alternatif akım uygulanır. Bu akım kuvarz plakalarında gerilme ve burulmalara neden olur. Bunun sonucu olarak B metal plakası üzerinde darbeler oluşarak bunlar ses dalgaları biçiminde suya yayılır. Üreticinin alıcı ünite olarak çalışması halinde, magnetostriktif alıcılarda olduğu gibi, olay ters yönde gelişerek ses dalgaları elektrik enerjisine dönüşür. Piezoelektrik ses üreteçleri yüksek frekanslı yani ultra seslerin üretilmesinde ve kaydedilmesinde kullanılırlar.

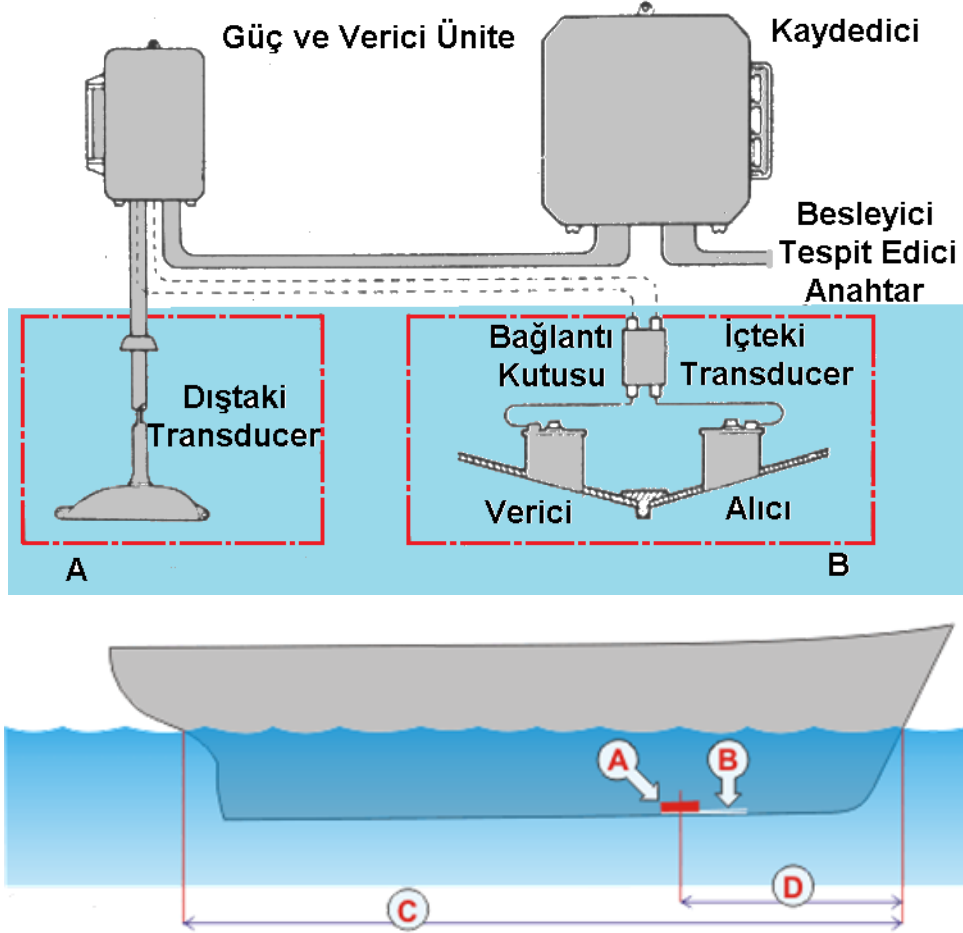
Elektrostriktif ses üreteçleri: Elektriksel olarak polarize olan elektrostriktif üreteçler, elektrik akımı karşısında piezoelektrik maddeler gibi davranırlar. Fiziksel boyutlarındaki değişimler uygulanan elektrik alanın büyüklüğü ile orantılı olup, alanın polaritesi ile ilişkili değildir. Empedansları (Sinüzoidal bir ortamda, İletkenin iki ucundaki gerilim genliğinin, iletken üzerinden geçen akımın genliğine oranıdır.) genel olarak birkaç yüz ohm kadardır. Hava ortamlarında, elektrostriktif ses üreteçleri kullanılırken, su ortamlarında piezoelektrik ve magnetostriktif ses üreteçlerinin kullanıma daha uygundur. Seramik malzemeler, su içinde çok kullanışlı olmaları ve istenilen şekile girebilmeleri nedeniyle çok kullanışlıdırlar. Yüksek voltajla beslenen magnetostriktif ses üreteçleri, piezoelektrik eşdeğerlerinden daha güçlü olup, geminin tabanından (karina) akustik dalgalar gönderecek şekilde tasarlandıklarından, montajları kolaydır. Piezoelektrik ses üreteçleri çok yüksek empedanslı, yüksek voltajlı ve düşük güçlüdürler. Bu nedenle çıkış güçleri düşük olduğundan üreticinin su ile temas halinde olması gerekeceğinden geminin altına takılırlar veya arkadan tülle çekilirler.

4.1.2.3.4. Akustik iskandil aletleri

Akustik iskandil aletleri genel olarak dört ana kısımdan oluşur. Bunlar,

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

- 1- Verici-alıcı ünite,
- 2- Kontrol-kayıt ünitesi,
- 3- Kayıt kağıtları ve
- 4- Enerji ünitesi'dir.



- A** : Transducer
B : Eğim açısı
C : Su seviyesindeki tekne uzunluğu
D : (**C**) su seviyesindeki tekne uzunluğunun maksimum 1/3'ü

Şekil-4.19 Akustik iskandil aletlerinin şematik konumu

1- Verici-alıcı ünite (Transducer): Bu ünite su içinde olup, verici-alıcı olarak çalışan aynı özellikte iki ses üreticinden oluşur. Üreteçler amaca göre ya bir muhafaza içinde yan yana veya hidrografi taşıtının sağ ve sol karinasında bulunur. Hidrografi taşıtının gürültülü kısımlarından kaçmak için,

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

transducer, geminin orta kısmı ile geminin başından gemi boyunun 1/3'ü kadar uzaklıkta yerleştirilmelidir, (Şekil-4.19). Transducer yüzeyinin su ile en iyi teması sağlaması için, bu yüzeyler geminin başına doğru 1^0 - 2^0 yataydan kaldırılmalıdır. Ayrıca transducer yüzeyi monte edilen yüzeyden 1-1,5 mm kadar dışarıda tutularak hava kabarcıklarının transducer tarafından tutularak ölçüleri etkilemesi önlenmelidir.



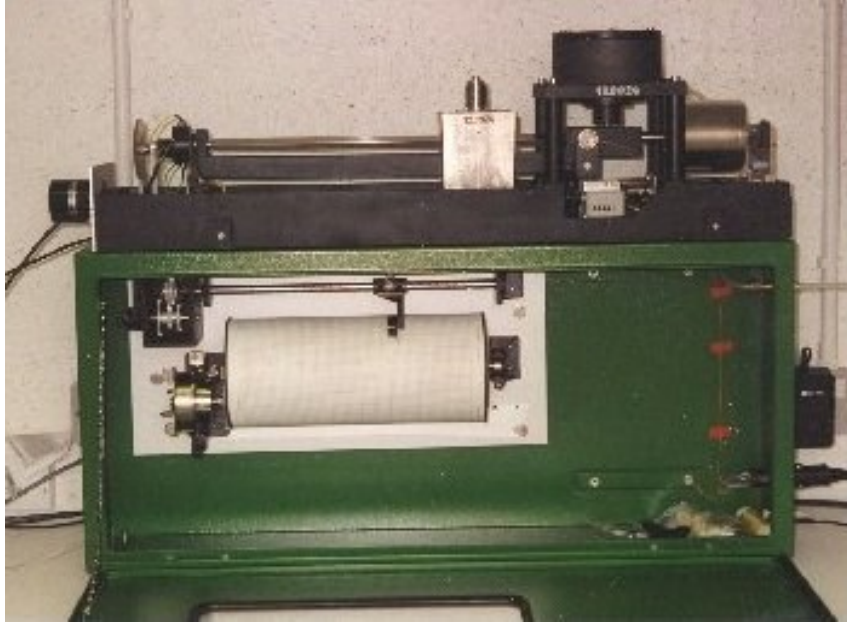
Şekil-4.20 Bir akustik iskandil aletinin kontrol-kayıt ünitesi

2- Kontrol-kayıt ünitesi (Ekograf): Sualtı zeminine gönderilen ses dalgaları ile yansıtılarak geri dönen ve belirli oranda kuvvetlendirilen ses dalgalarının elektriksel enerjileri bu üniteye karşılaştırılarak seyir süreleri otomatik olarak kayıt edilir. Ekograf, bilinen bir ses hızı değerine göre kalibre edildiğinden, su derinliği (4.01) bağıntısına göre elektronik sistem içinde hesaplanır. Bu şekilde belirlenen derinlik ölçüsü, ekografin cinsine göre ya bir ekranda sayısal olarak görüntülenir (Şekil-4.20) ya da bir kayıt kağıdı (Şekil-

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

4.21) üzerine işaretlenir. Kayıt kağıdı sürekli hareket ettirilebildiğinden, ünitelerin sürekli çalıştırılması ve hidrografi botunun hareket ettirilmesi halinde, kayıt ünitesinde sualtı zemininin derinlik profili elde edilir. Hidrografik ölçmelerde kullanılacak iyi bir ekograf aşağıdaki özelliklere sahip olmalıdır;

- a- Ses çıkışı açısı küçük,
- b- Derinlikleri grafik olarak kaydedebilen,
- c- Ses ve kayıt kağıdı hızı değiştirilebilir,
- d- Değişik derinlik kademelerinde çalıştırılabilir,
- e- Planimetrik konumu ölçülen noktalar grafik üzerine işaretlenebilir ve
- f - Alıcı ünitenin duyarlılığı ayarlanabilir olmalıdır.



Şekil-4.21 Kayıt kağıdı ve çizici uç

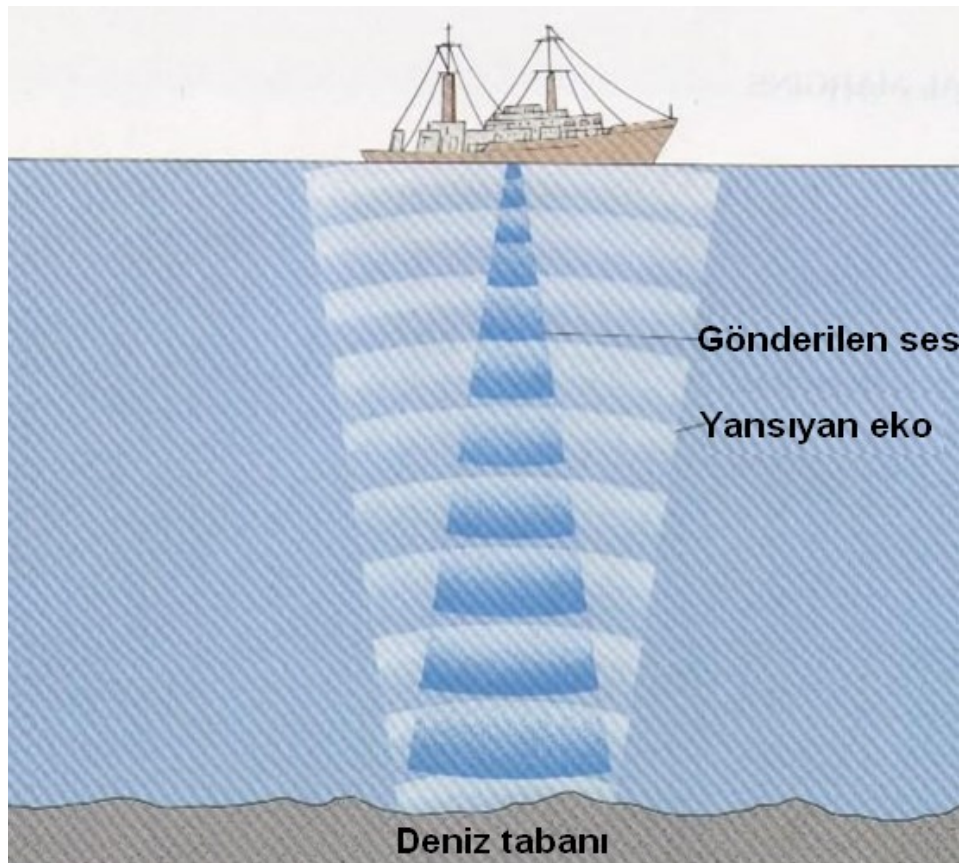
3- Kayıt kağıtları: Aletin yapısına göre 180-210 mm genişliğinde ve özel yapısı olan rulo halinde kayıt kağıtları kullanılır. Derinlik kayıtları 1946 yılına kadar mürekkepli çizici bir uç ile yapılmıştır. Daha sonra elektrik akımı ile kararan grafit karışımı özel karbon kağıtlar kullanılmaya başlanmıştır. Sürekli derinlik işaretlemesine olanak sağlamak için kayıt kağıdı iki makara arasında belirli bir hızla hareket eder. Bazı aletlerde bulunan ve eşit zaman aralıklarında kağıt üzerine boydan boya düşey bir çizgi çizen otomatik zaman sayaçları yardımıyla, kağıdın ilerleme hızı kontrol edilir, (Şekil-4.20).

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

4- Enerji ünitesi: Gemilerde jeneratörler, küçük teknelerde akümülatör gibi enerji kaynakları kullanılır. Bunlar 12, 24, 32 volt doğru akım ve 110, 220 volt alternatif akım üreteçleridir. Akustik derinlik ölçme sistemi için gerekli olan belirli güçte ve düzenli enerji, ekografta bulunan regülatör yardımıyla kontrol edilir.

4.1.2.3.5. Akustik iskandilin uygulanması

1- İskandil aletinin yerleştirilmesi: Akustik iskandil aletinin verici-alıcı ünitesi sürekli su içinde bulunur. Hidrografi taşıtlarında kullanılan portatif akustik aletlerin verici ve alıcı üreteçleri genellikle yan yana getirilmiş ve tek bir ünite (transducer) içinde toplanmıştır. Bu ünite, bir askı yardımıyla hidrografi botunun yanından veya önünden suya indirilerek 0,75-1,50 m derinliğe düşey konumda yerleştirilir. Kontrol-kayıt ünitesi botun içinde herhangi bir yere yerleştirilebilir.

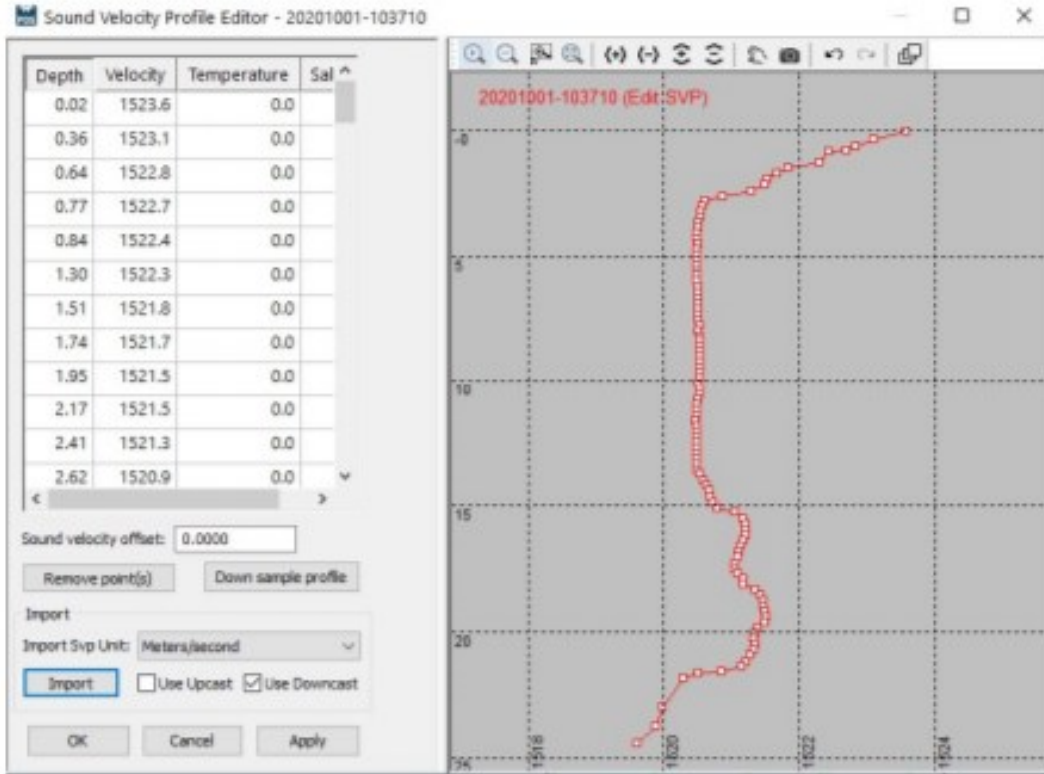


Şekil-4.22 Akustik iskandilin temel ilkesi

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Hidrografi taşıtlarında genellikle sabit konumlu akustik aletler kullanılır. Bunlarda verici-alıcı ses üreteçleri ayrı yerlere, özellikle geminin sol ve sağ karinasına yerleştirilir. Kontrol-kayıt ünitesi ise ölçme kamerasında bulunur. Ünitelerin birbiriyle ve enerji ünitesi ile bağlantısı özel kablolarla sağlanır.

2- İskandil aletinin kontrol ve kalibrasyonu: Akustik iskandil aletlerinin kontrolü, genellikle derinliği ve içindeki suyun yoğunluğu bilinen havuzlarda yapılır. Ayrıca, her çalışma ortamında kontrol edilir ve gerekirse ortamdaki fiziksel koşullara uygun olarak düzenlenir. Çünkü aletin kalibre edildiği ses hızı ile, çalışma ortamındaki koşullara uygun ses hızı arasında önemli farklar bulunabilir. Akustik aletlerin kontrol ve kalibrasyonu için iki yöntem uygulanmaktadır.

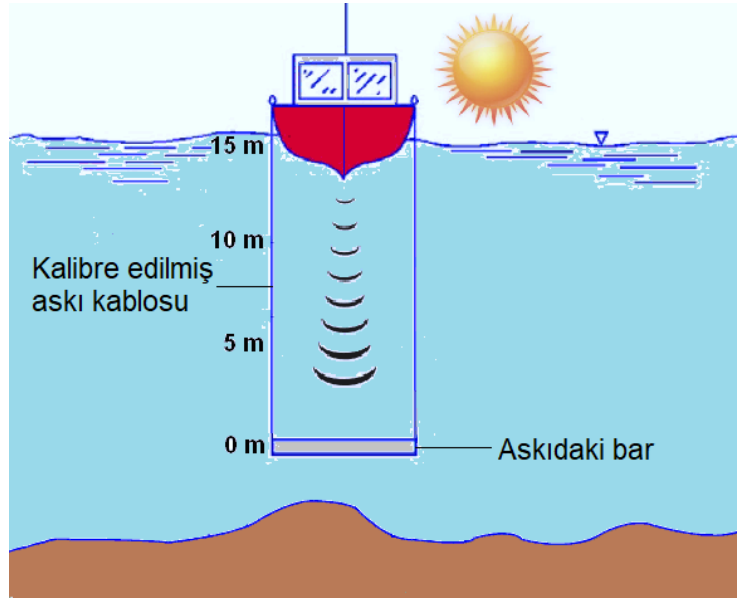


Şekil-4.00 Ses hızı profili ölçüm verileri (Kordil, 2020)

2a- Teorik yöntem: Akustik iskandil aletleri belirli bir ses hızına (Örneğin 1500 m/s) kalibre edilmiştir. Teorik yöntemde çalışılan ortamdaki suyun fiziksel verileri belirlenerek ortam için geçerli ses hızı bulunur. Alet bu

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

ses hızına ayarlanır. Ancak çalışma ortamının her yerinde fiziksel koşullar aynı olmayacağından, bu hız ortamın farklı yerlerinde ölçülen sıcaklık, tuzluluk ve derinlik değerlerine göre belirlenmiş ortalama ses hızıdır. Bu yöntem su ortamının çeşitli yerlerinde sıcaklık ve tuzluluk ölçümleri gerektirdiğinden masraflı ve zaman alıcıdır. Yapılan ölçmelerde ölçülere hız düzeltmesi getirilir.



Şekil-4.23 Ses kalibrasyonunda pratik yöntem: Bar testinin uygulanışı

2b- Pratik yöntem: Akustik aletlerin ip veya tel iskandili ile kontrol ve kalibre edilmesidir. Bunun için ipin veya telin ucuna bağlanmış yatay konumlu metal bir plakadan (bar) yararlanılır ya da sualtı zemininin düz olduğu tahmin edilen yerlerde kontrol ölçmeleri yapılır. Verici-alıcı ünitenin 5, 10, 15, ... m altına indirilen metal plakanın derinliği bir kez de aletle ölçülür, (Şekil-4.23). Sonra kayıt ünitesi aynı ölçü değerleri okunacak şekilde düzenlenir. Yöntemden doğru sonuç alınabilmesi için karşılaştırma ölçmelerinin bölgeyi temsil edecek noktalarda yapılması ve bu noktalarda su akıntısı olmaması gerekmektedir.

Bar testinin uygulanması: Bu test akustik iskandil okuma değerlerini, gerçek derinliklere kalibre etmek için uygulanan bir testtir. Test, derinliği ve fiziksel özellikleri bilinen bir yerde, örneğin kalibrasyon havuzunda yapılabilir. Gerçek derinlik ile kayıt kağıtından okunan derinlik arasındaki fark kayıt okuma

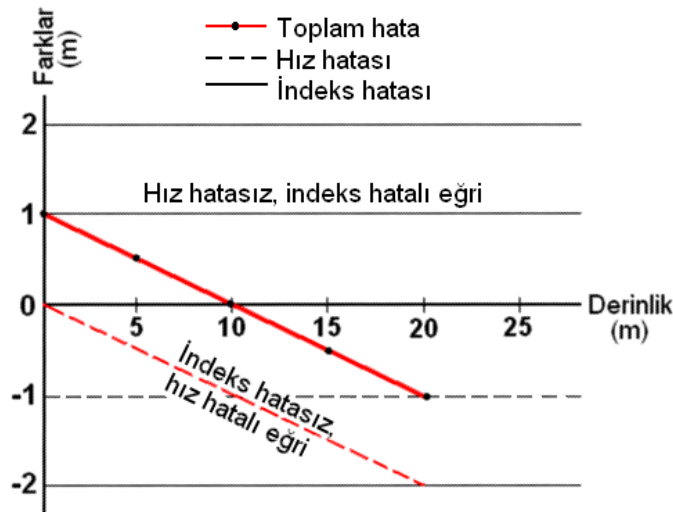
4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

inceliğinden fazla ise, iskandilin motor hızı düzenlenir ya da ölçüler dH_a kadar indirgenir.

Bu test için normal işlem modunda olası ses hızı değeri sisteme girilir. Hassas okuma yapabilmek için, su derinliğine göre olası en küçük derinlik menzili kayıt ölçeği olarak ve kayıt kağıtının sıfırı da deniz seviyesi olarak seçilir. Test moduna geçilerek metal plaka yani bar hidrografi taşıtının iki tarafından üzerleri işaretlenmiş tellerle askıya alınır ve transducerin altına, bilinen belli bir derinliğe indirilir. Bu durumda akustik iskandilden derinlik değerleri kayıt edilir.

Hesaplanacak olan düzeltilmiş ses hızı faktörünün güvenilirlik derecesini artırmak için farklı derinliklerde birçok bar testi uygulanır. Ancak test barının 30 m'den daha derinlere indirilmesi, gerçek derinlik okumasının hassasiyetini düşüreceğinden sakıncalıdır, (Doğan E. ve Alper B., 1994).

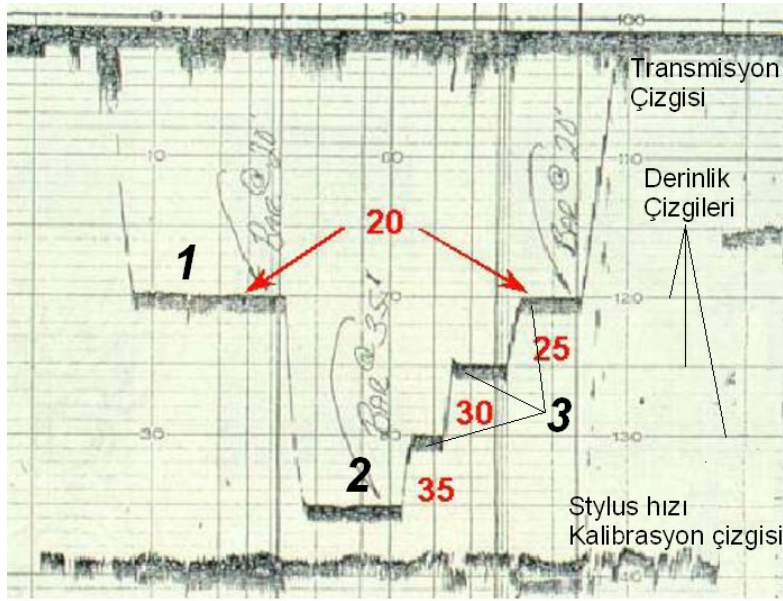
İskandilden okunan bar derinlikleri ile gerçek bar derinlikleri bir grafik üzerine çizilerek karşılaştırılır. Eğer bu değerler arasında fark bulunursa, bu farkı yok edecek yeni ses hızı faktörü hesaplanıp, iskandile girilir.



Şekil-4.24 Bar kalibrasyonu grafiği

Örneğin Şekil-4.24'de görüldüğü gibi toplam hata eğrisinin gradyenti motor hızı hatası, bu eğrinin sıfır derinlik ordinatı ile kesim noktası da indeks hatası ya da transmisyon hatası olarak tanımlanır. Sabit olan indeks hatası, kayıt üzerindeki transmisyon işaretini transducer derinliğine eşitleyerek, zamanla doğrusal olarak değişen hız hatası ise motor hızını ayarlayarak düzeltilir.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)



Şekil-4.25 Bar kalibrasyonunda düzeltmelerin grafik ekogramla yapılması

Şekil-4.25'de görülen grafik ekograma göre;

1. Bar, en sığ kalibrasyon derinliğinde iken transmisyon çizgisi derinliği ayarlanarak indeks hatası düzeltilir.
2. Bar, mümkün olan en derin kalibrasyon noktasında iken, çizim iğnesi hızı ayarlanarak hız hatası çıkartılır.
3. Yapılan kalibrasyonu kontrol etmek için bar ara değerlere yükseltilerek derinlik ölçümü yapılır. İlk yapılan en sığ kalibrasyon noktasında görülen hata içinde, hız hatasının da olabileceği dikkate alınarak, bu işlemler bir kez daha tekrar edilmelidir.

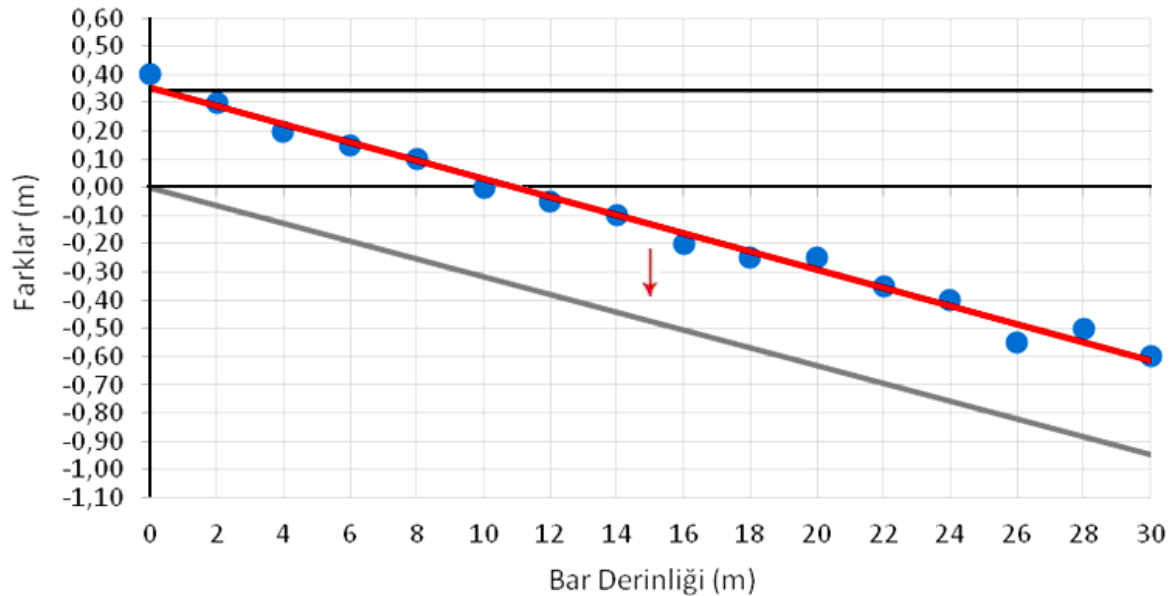
Uygulama-4.02: Aşağıda Tablo-4.03'de bir çalışma bölgesindeki 30 m derinliğe kadar **(1)** numaralı sütundaki her 2 m'de bir yapılmış bar testi okumaları **(2)** numaralı sütunda verilmektedir. **(3)** numaralı sütundaki farklarda ise akustik iskandil okumalarından o andaki gerçek bar derinlikleri çıkartıldıktan sonra kalan değerler m biriminde verilmiştir. Bu veriler ışığında ve akustik iskandil 1.510 m/s ses hızına göre kalibre edildiğine göre indeks hatası ve su hızı hatalarını bulunuz. İndeks ve su hızı hatalarına göre, ölçmelerden sonra verilerden çıkartılması gereken değeri ve bar testinin hemen sonrasında sisteme girilmesi gereken yeni hız değerini hesaplayınız.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Tablo-4.04 Farklı derinliklerdeki Bar Testi okuma değerleri

Bar derinliği x_i (m)	Okumalar	Farklar y_i (m)	$x_i x_i$ (m^2)	$x_i y_i$ (m^2)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
2	2,30	+ 0,30	4	+ 0,60
4	4,20	+ 0,20	16	+ 0,80
6	6,15	+ 0,15	36	+ 0,90
8	8,10	+ 0,10	64	+ 0,80
10	10,00	0,00	100	0,00
12	11,95	- 0,05	144	- 0,60
14	13,90	- 0,10	196	- 1,40
16	15,80	- 0,20	256	- 3,20
18	17,75	- 0,25	324	- 4,50
20	19,75	- 0,25	400	- 5,00
22	21,65	- 0,35	484	- 7,70
24	23,60	- 0,40	576	- 9,60
26	25,45	- 0,55	676	-14,30
28	27,50	- 0,50	784	-14,00
30	29,40	- 0,60	900	- 18,00
[x]=240		[y]=-2,50	[xx]=4.960	[xy]=-75,20

Farkları temsil eden en uygun doğrunun denklemi $y=a+bx$



Şekil-4.26 Bar testi verilerine göre uydurulan en uygun eğri (doğru)

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Çözüm: Problemin çözümü için öncelikle Tablo-4.04'deki verilenlerden bar derinliklerini apsiste, okuma farklarını ordinatta gösteren bir grafik çizilerek verilere en uygun eğrinin ne olabileceği incelenir, (Şekil-4.26). Buradaki verilerin dağılımına göre en uygun olanın doğru geçirilmesi olduğu anlaşılmaktadır.

Şekil-4.24'deki grafikte işaretlenen mavi noktalardan geçen en iyi doğru,

$$d_i = y_i - (a + b \cdot x_i) \quad (4.06)$$

bağıntısı ile tanımlanan, d_i değerlerinin karelerinin toplamı en küçük olan doğrudur. Bu yaklaşım en küçük kareler yöntemi olup

$$d_i^2 = y_i^2 - 2 \cdot (a + b \cdot x_i) + (a + b \cdot x_i)^2 \quad (4.07)$$

dir. (4.07) eşitliği n sayı da ölçünün herbiri için yazılıp toplandığında parantezler açılırsa,

$$\sum d_i^2 = \sum y_i^2 - 2a \cdot \sum y_i - 2b \cdot \sum y_i x_i + na^2 + 2ab \cdot \sum x_i + b^2 \cdot \sum x_i^2 \quad (4.08)$$

eşitliği elde edilir. Burada a ve b 'ye göre alınacak kısmi türevleri sıfıra eşitleyerek elde edilecek normal denklemlerden a ve b hesaplanır.

$$\begin{aligned} \frac{\partial \sum d_i^2}{\partial a} &= 2 \cdot na + 2b \cdot \sum x_i - 2 \cdot \sum y_i = 0 \\ \frac{\partial \sum d_i^2}{\partial b} &= 2a \cdot \sum x_i + 2b \cdot \sum x_i^2 - 2 \cdot \sum y_i x_i = 0 \end{aligned} \quad (4.09)$$

Eşitliklerinden normal denklemler;

$$\begin{aligned} na + b \cdot \sum x_i &= \sum y_i \\ a \cdot \sum x_i + b \cdot \sum x_i^2 &= \sum y_i x_i \end{aligned} \quad (4.10)$$

ya da Gauss gösterim şekli ile;

$$\begin{aligned} na + b \cdot [x_i] &= [y_i] \\ a \cdot [x_i] + b \cdot [x_i^2] &= [x_i y_i] \end{aligned} \quad (4.11)$$

sonuç eşitliklerine ulaşılır.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Uygulama-4.02'deki verilerin (4.11) eşitliklerine göre çözümü için çizelgenin

(4) numaralı sütunundan $[xx]=4.960$ ve

(5) numaralı sütunundan $[xy]=-75,20$

değerleri hesaplanır. Değerler (4.11) eşitliklerinde yerine konularak

$$15 a + 240 b = -2,5$$

$$240 a + 4.960 b = -75,2$$

denklemleri yazılır ve çözüm yapılırsa;

$$a = +0,336190$$

$$b = -0,031429$$

olarak bulunur. Buradan doğrunun denklemi (4.06)'ya göre;

$$y = 0,33619 - 0,031429 x$$

olarak elde edilir. Bu eşitlikte;

$$y = 0 \text{ için } x = 10,697 \text{ m}$$

$$x = 0 \text{ için } y = 0,336 \text{ m'dir.}$$

Bu doğru apsisi 10,697 m'de, ordinatı ise 0,336 m'de kesmektedir. Burada;

a sabiti : indeks (gösterge) hatasını,

b faktörü ise : sudaki ses hızı hatasını

ifade etmektedir.

Tablo-4.04'deki verilere göre Şekil-4.26'daki grafikte de görüldüğü gibi, akustik iskandil ölçme derinliği gerçek derinliğe göre artan bir şekilde daha az okunmaktadır. Bunun anlamı kayıt motorunun hızlı çalıştığıdır. Motor dönüş hızının sudaki ses hızı ile orantılı olması gerektiğinden, buradan aleti girilen ses hızının fazla olduğu anlaşılır. Önceden sisteme girilen ses hızının 1.510 m/s olduğu dikkate alındığında, sisteme girilmesi gereken doğru ses hızının,

$$V_{YENI} = V_{ESKI} + b \cdot V_{ESKI} = 1.510 - 0,031429 \times 1.510 = 1.510 - 47,46$$

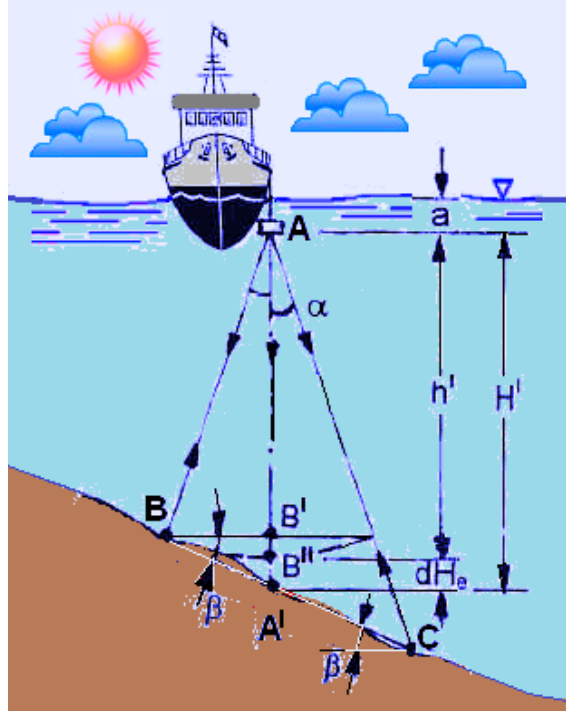
$$V_{YENI} = 1.462,54 \approx 1.463 \text{ m/s}$$

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

belirlemek için transducerin su içindeki derinliğini eklemek gerekir. Bu durumda gerçek derinlik;

$$H = H' + a \quad (4.12)$$

olur. Uygulamada hesap işlemini azaltmak için ölçmeye başlamadan önce kayıt kağıdının sıfır çizgisi a kadar ötelenerek otomatik olarak bütün derinlikler gerçek değerine göre kayıt edilir.



Şekil-4.28 Sualtı tabanının eğimli olması durumunda derinlik düzeltmesi

2- Sualtı zemini eğimli ise düzeltme: Akustik iskandilde ses konisi içindeki en kısa yolu kateden ses dalgalarına göre derinlik belirlendiğinden, eğimli sualtı zeminlerinde sürekli gerçek derinlikten daha kısa değer ölçülmüş olur. Bu nedenle ölçülere eğim düzeltmesi getirilmesi gerekmektedir. Aksi durumda derinlik ölçülerinde sistematik bir kaba hata oluşur. Duyarlı derinlik belirlemesi için önemli bir etki olan eğim düzeltmesi;

- a-** Verici-alıcı ses üreteçlerinin aynı ve ayrı yerlerde olması,
- b-** Gerçek ve görünen şev eğimlerinin bilinmesi

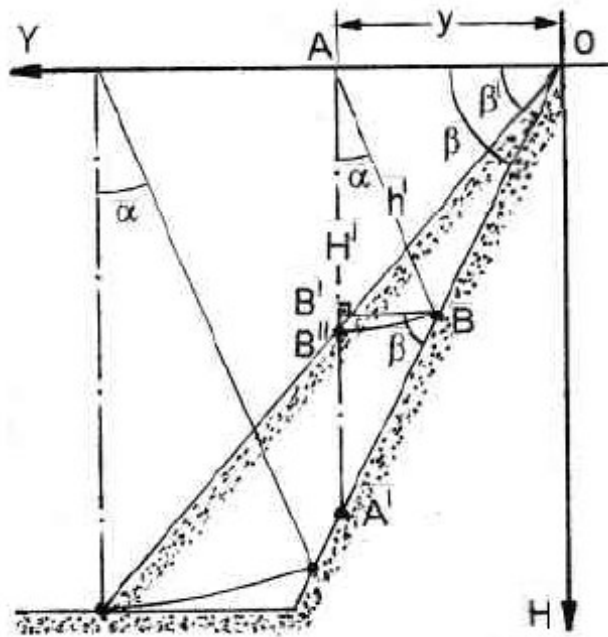
koşullarına göre ayrı ayrı irdelenecektir.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

2a- Verici-alıcı ses üreteçlerinin aynı yerlerde olması durumu: Son yıllarda geliştirilen transducerlerde verici ses üretici ile alıcı aynı eleman içinde toplanmıştır. Burada eğim düzeltmesi;

- a- Gerçek şev eğimi bilindiğine göre,
- b- Gerçek şev eğimi bilinmediğine göre

iki değişik şekilde ele alınır.



Şekil-4.29

2a1- Gerçek şev eğimi bilindiğine göre eğim düzeltmesi: Bir A noktasında, ses konisi içindeki şevin eğimi sabit ve biliniyorsa, eğim düzeltmesinin matematik bağıntısı Şekil-4.28'deki geometrik ilişkilerden;

$$dH_e = BB' \cdot \tan \beta - B'B'' \quad (4.13)$$

yazılabilir. Aynı şekilde;

$$BB' = h' \cdot \sin \alpha$$

$$BB' = h' - AB'$$

$$AB' = h' \cdot \cos \alpha$$

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

dır. Bu eşitlikler (4.13)'de yerine konulursa;

$$dH_e = h^I \cdot \sin \alpha \cdot \tan \beta - h^I \cdot (1 - \cos \alpha) \quad (4.14)$$

veya,

$$dH_e = h^I \cdot \sin \alpha \cdot (\tan \beta - \tan \frac{\alpha}{2}) \quad (4.15)$$

şeklinde eğim düzeltmesini veren bağıntı elde edilir. Bu bağıntıda;

β : gerçek şev eğimini,

α : ses çıkış açısı yarı değeridir.

2a2- Görünen şev eğimi bilindiğine göre eğim düzeltmesi: Hidrografik ölçmelerde sualtı zemini görülemediğinden, özel durumlar dışında gerçek şev eğimleri belli değildir. Ancak kaydedici akustik iskandil aletlerinde, şevlerin eğimi ekograf üzerinde görüldüğünden buradan ölçülebilir. Bu durumda eğim düzeltmesi Şekil-4.29'daki geometrik ilişkilerden yararlanılarak;

$$dH_e = H^I - h^I \quad (4.16)$$

$$H^I = AB^I + B^I A^I \quad (4.17)$$

yazılabilir. Yine şekilden;

$$AB^I = h^I \cdot \cos \alpha$$

$$A^I B^I = BB^I - \tan \beta$$

$$BB^I = h^I \cdot \sin \alpha$$

dir. Bu eşitlikler (4.17)'de yerine konursa;

$$H^I = h^I \cdot (\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \tan \beta) \quad (4.18)$$

bağıntısı elde edilir. Burada gerçek şev eğimi bilinmediğinden, yerine Şekil-4.14'den;

$$OA = H^I \cdot \cot \beta = h^I \cdot \cot \beta^I \quad (4.19)$$

$$\cot \beta^I = \frac{H^I}{h^I} \cdot \cot \beta \quad (4.20)$$

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

$$\cot \beta^I = (\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \tan \beta) \cdot \cot \beta \quad (4.21)$$

$$\tan \beta = \frac{\cos \alpha}{\cot \beta^I - \sin \alpha} \quad (4.22)$$

eşitlikleri yazılabilir. (4.22) bağıntısı (4.18)'de yerine konursa;

$$H^I = \frac{h^I \cdot \cos \alpha}{1 - \sin \alpha \cdot \tan \beta^I} \quad (4.23)$$

eğim düzeltmesi getirilmiş derinlik bağıntısına elde edilir. Bu bağıntı (4.16)'da yerine konursa;

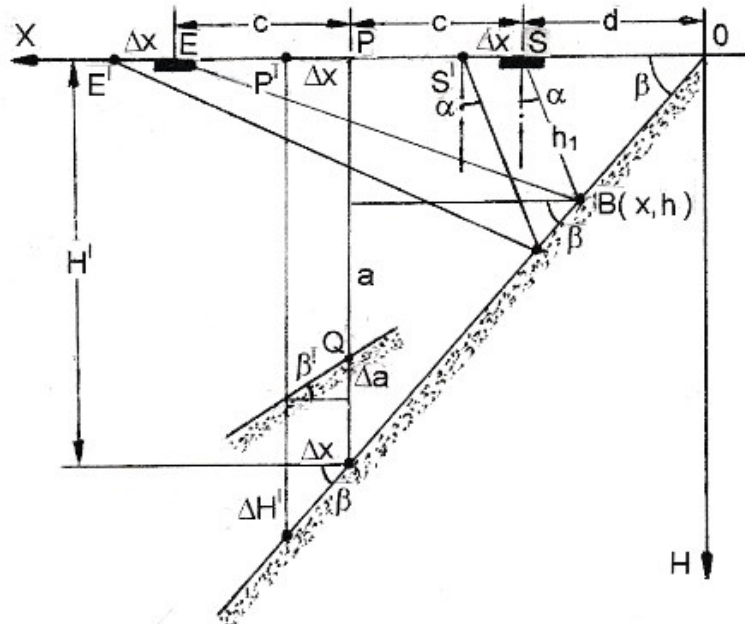
$$dH_e = h^I \cdot \left(\frac{\cos \alpha}{1 - \sin \alpha \cdot \tan \beta^I} - 1 \right) \quad (4.24)$$

görünen şev eğimine göre eğim düzeltmesi bağıntısı elde edilmiş olur. Bu bağıntıda;

β^I : ekografiğinde görünen şevin eğimi,

h^I : derinlik ölçü değerini,

göstermektedir.



Şekil-4.30

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

2b- Verici-alıcı ses üreteçlerinin ayrı yerlerde olması durumu: Derin su iskandil aletlerinde ve bazı klasik konstrüksiyonlarda verici ve alıcı ses üniteleri hidrografi taşıtının farklı yerlerine monte edilir. Bu tür donanımlarla eğimli sualtı zeminlerinde çalışıldığında şevin gerçek ve görünen eğimi bilindiğine göre eğim düzeltmesi bağıntıları çıkarılabilir.

2b1- Gerçek şev eğimi bilindiğine göre eğim düzeltmesi: Şekil-4.30'da

S : verici ses ünitesi,

E : alıcı ses ünitesi,

P : E ve S noktalarının ortası (Geminin konumu),

β^I : görünen şev eğimi,

β : gerçek şev eğimi,

H^I : P noktasındaki düzeltilmiş derinlik,

a : görünen derinliktir.

$$a = \frac{1}{2}(SB + EB)$$

$$c = PE = PS$$

$$d = OS$$

ile gösterilmiştir. Derinliği ölçülen her noktada a = sabit olduğundan, odak noktaları E, S ve büyük eksen a olan bir elips tanımlanır. Bu durumda h_1 değeri ve bilinen β gerçek şev eğimine göre, Şekil-4.30'dan H^I düzeltilmiş derinliği;

$$H^I = h^I \cdot \cos \alpha + (h^I \cdot \sin \alpha + c) \cdot \tan \beta \quad (4.25)$$

yazılabilir. Elipsin kutupsal denklemine göre h_1 değeri;

$$h_1 = \frac{b^2}{a + c \cdot \sin \alpha} = \frac{a^2 - c^2}{a + c \cdot \sin \alpha} \quad (4.26)$$

olur. Burada $b = \sqrt{a^2 - c^2}$ b değeri, a ve c parametrelili elipsin yarı eksen değerinden daha küçüktür. (4.26) eşitliği (4.25) 'de yerine konursa;

$$H^I = \frac{(a^2 - c^2) \cdot \cos \alpha + a \cdot (a \cdot \sin \alpha + c) \cdot \tan \beta}{a + c \cdot \sin \alpha} \quad (4.27)$$

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

elde edilir. Eğer $e = c/a$ eksantrisitesi (4.27) 'de yerine konursa H^I derinlik bağıntısı;

$$H^I = a \cdot \frac{(1 - e^2) \cdot \cos \alpha + a \cdot (e + \sin \alpha) \cdot \tan \beta}{1 + e \cdot \sin \alpha} \quad (4.28)$$

şeklinde elde edilir. Verici-alıcı üniteler arasındaki uzunluk c ve sualtı zemin eğimi β bilindiğine göre, ekografi üzerinde görünen derinlik değeri okunarak (4.27) ve (4.28) bağıntıları ile düzeltilmiş derinlik değeri hesaplanır. Sonuç olarak $dH_e = H^I - a$ bağıntısından eğim düzeltmesi hesaplanır.

2b2- Görünen şev eğimi bilindiğine göre eğim düzeltmesi: Akustik derinlik ölçmesinde özel durumlar dışında gerçek şev eğimi bilinmediğinden, ekogramda oluşan görünen şev eğimine göre düzeltilmiş derinlik değerinin hesaplanması için, hidrografi taşıtının Δx kadar küçük bir ilerlemesi durumunda Şekil-30'dan;

$$\tan \beta = \frac{\Delta H^I}{\Delta x} \quad (4.29)$$

$$\tan \beta^I = \frac{\Delta a}{\Delta x} \quad (4.30)$$

bağıntıları yazılabilir. Buradan β ve β^I açıları arasındaki ilişki için,

$$\tan \beta = \frac{\Delta H^I}{\Delta a} \cdot \tan \beta^I \quad (4.31)$$

bağıntısı elde edilir. Hidrografi taşıtının diferansiyel anlamda yol alması halinde (4.31) bağıntısı yerine,

$$\tan \beta = \frac{dH^I}{da} \cdot \tan \beta^I \quad (4.32)$$

geçerlidir. dH^I / da oranı için (4.27) bağıntısının türevi alınırsa,

$$\frac{dH^I}{da} = \frac{(\cos \alpha + \sin \alpha \cdot \tan \beta) \cdot (a^2 + 2 \cdot a \cdot c \cdot \sin \alpha + c^2)}{(a + c \cdot \sin \alpha)^2} \quad (4.33)$$

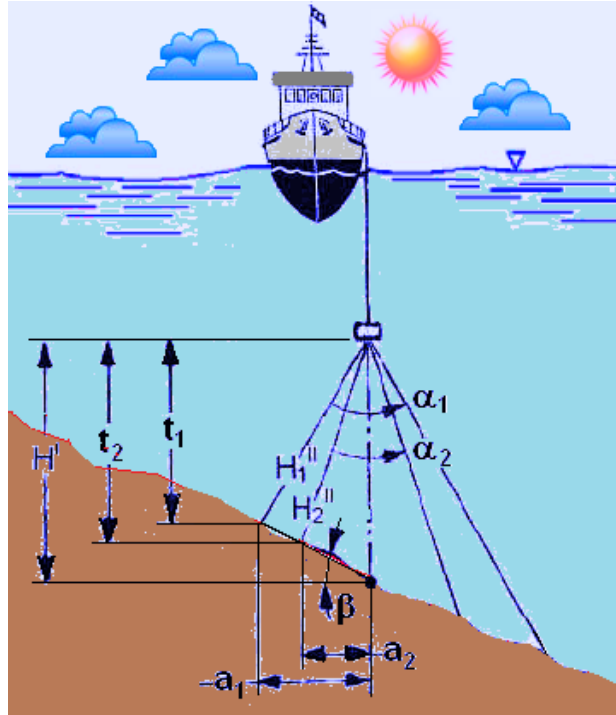
4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

elde edilir. Bu bağıntıda $e = c/a$, $q = (e \cos \alpha / 1 + e \sin \alpha)$ eşitlikleri yazılır ve (4.32) ve (4.33) bağıntıları ile birleştirilirse görünen şev eğimine göre, düzeltilmiş derinlik değeri;

$$H^I = (a \cdot \cos \alpha) \cdot \frac{1 - e \cdot [e - (1 + q^2) \cdot (1 + e \cdot \sin \alpha) \cdot \tan \beta^I]}{(1 + e \cdot \sin \alpha) \cdot [1 - \sin \alpha \cdot (1 + q^2) \cdot \tan \beta^I]} \quad (4.34)$$

bağıntısı elde edilir. Sonra $dH_e = H^I - a$ bağıntısından eğim düzeltmesi hesaplanabilir.

$c = 0$ olması durumunda $e = 0$ ve $q = 0$ olacağından (4.34) bağıntısı, verici-alıcı ünitelerin aynı yerde olması durumu için çıkarılan (4.23) bağıntısına dönüşecektir. Modern akustik iskandil aletlerinde verici-alıcı üniteler transducer içinde toplandığından (4.23) ve (4.28) bağıntılarının günümüzde pratik bir değeri kalmamıştır.



Şekil-4.31 Eş zamanlı iki farklı frekanslı ses ile iskandilin geometrik ilkesi

4.1.2.3.7. Eş zamanlı iki farklı frekanslı ses ile iskandil

Tek frekanslı akustik iskandil aletleri ile yapılan derinlik ölçmelerinde ses konisinin tepe açısı belirli bir sınıra kadar küçülebildiğinden, özellikle eğimli

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

sualtı zeminlerinde ölçülere eğim düzeltmesi getirilse bile, yaklaşık sonuç elde edilebilmektedir. Eğim düzeltmesi hesabını ortadan kaldırmak amacı ile iki değişik frekansla ölçme yapan çift transducerli akustik aletler geliştirilmiştir, (Şekil-4.31). Transducerlerden biri, ses konisinin tepe açısı $\alpha_2/2 < 30^\circ$ olan yüksek frekanslı ses dalgaları, diğeri ise $\alpha_1/2 > 30^\circ$ olan alçak frekanslı ses dalgaları göndermekte ve her iki ünite aynı kontrol-kayıt ünitesine bağlanmaktadır.

Bu şekilde geliştirilmiş bir akustik iskandil aleti çalıştırıldığında bir iskandil noktası için kayıt kağıdı üzerinde iki ayrı derinlik işareti görülür. Eğer hidrografi taşıtı hareket halinde ise eğimli sualtı zemini için kağıt üzerinde altalta iki zemin profili oluşur. Yüksek frekanslı ses dalgalarının oluşturduğu profil çizgisi dar ve koyu tonda, alçak frekanslı ses dalgalarının profil çizgisi ise geniş ve açık tonda oluşur. Profil bantlarının üst sınırları, kuramsal olarak ses konilerine ilişkin en kısa yolu kateden ses dalgalarının oluşturduğu çizgilerdir. Diğer bir ifade ile H_1^{II} ve H_2^{II} derinlikleridir. Buna göre derinlik ölçmesi yapılan noktadaki H^I derinliği Şekil-4.31'deki geometrik bağıntılardan,

$$a_1 = H_1^{II} \cdot \sin \frac{\alpha_1}{2} \quad , \quad t_1 = H_1^{II} \cdot \cos \frac{\alpha_1}{2} \quad (4.35a)$$

$$a_2 = H_2^{II} \cdot \sin \frac{\alpha_2}{2} \quad , \quad t_2 = H_2^{II} \cdot \cos \frac{\alpha_2}{2} \quad (4.35b)$$

$$\tan \beta = \frac{t_2 - t_1}{a_2 - a_1} \quad (4.36a)$$

$$\tan \beta = \frac{H^I - t_2}{a_2} \quad (4.36b)$$

(4.36a) ve (4.36b) bağıntılarında içler dışlar çarpımı yapar ve taraf tarafa toplayıp a_1 ve $\tan \beta$ yerine (4.35a) ve (4.36a)'daki karşılıklarını koyarsak,

$$H^I = t_1 + \frac{(t_2 - t_1) \cdot H_1^{II} \cdot \sin \frac{\alpha_1}{2}}{H_1^{II} \cdot \sin \frac{\alpha_1}{2} - H_2^{II} \cdot \sin \frac{\alpha_2}{2}} = t_1 + \frac{(t_2 - t_1) \cdot a_1}{a_1 - a_2} \quad (4.37)$$

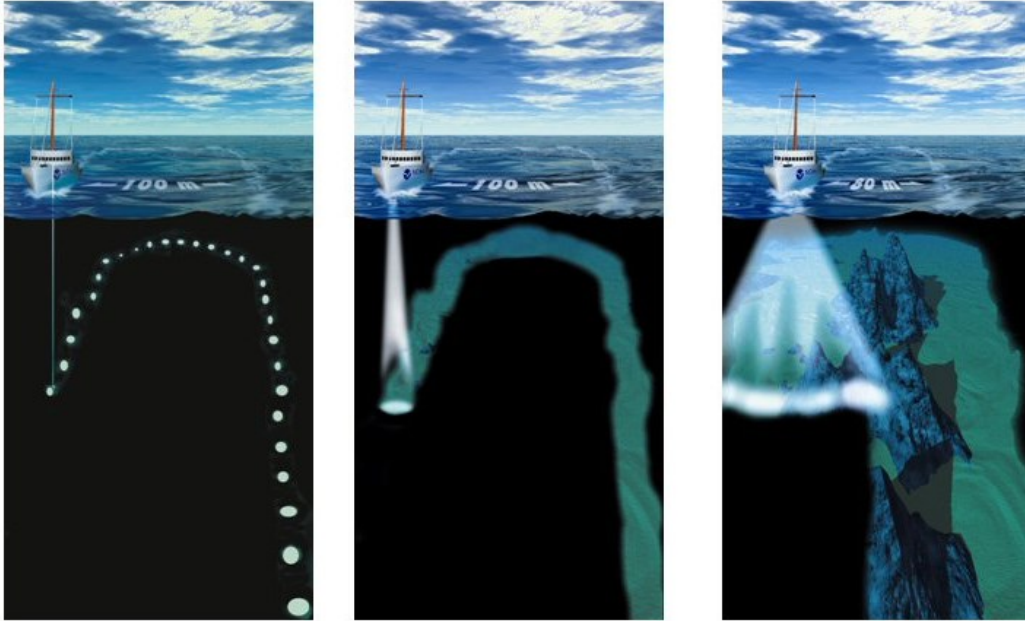
4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

olarak elde edilir. Bir defa da (4.36b) eşitliğinde içler dışlar çarpımı yaparak a_2 ve $\tan \beta$ yerine (4.35b) ve (4.36a)'daki karşılıklarını yerine koyacak olursak,

$$H^I = t_2 + \frac{(t_2 - t_1) \cdot H_2'' \cdot \sin \frac{\alpha_2}{2}}{H_1'' \cdot \sin \frac{\alpha_1}{2} - H_2'' \cdot \sin \frac{\alpha_2}{2}} = t_2 + \frac{(t_2 - t_1) \cdot a_2}{a_1 - a_2} \quad (4.38)$$

bağıntısı bulunur. Bu bağıntılarda;

- t_1 : açık tondaki grafiğin üst kenarından okunan derinlik,
- t_2 : koyu tondaki grafiğin üst kenarından okunan derinlik,
- α_1 : alçak frekanslı ses konisinin tepe açısı ve
- α_2 : yüksek frekanslı ses konisinin tepe açısıdır.



Tel iskandil

Tek ışın demetli
akustik iskandil

Çok ışın demetli
akustik iskandil

Şekil-4.32 Derinlik ölçme sistemleri

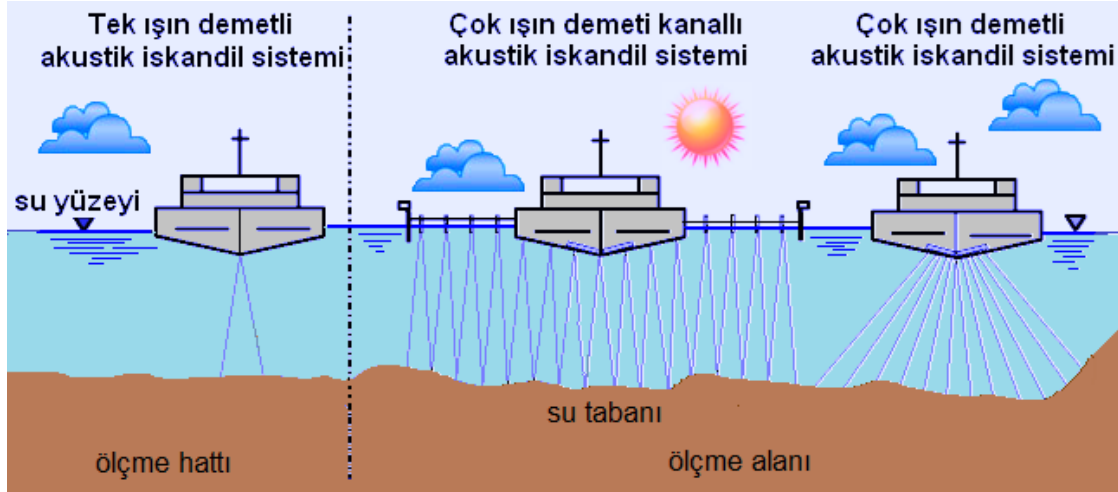
4.1.2.3.8. Çok ışın demetli akustik iskandil

Tel iskandil ile derinlik ölçümünde her bir mesaha çalışmasında 2.000'e kadar iskandil yapmak mümkündür. Bu yöntem 1940'lı yıllara kadar uygulama alanı bulmuştur. Tek ışın demetli iskandil (Single beam) ile bir mesahada 500.000-750.000 iskandil yapılabilir. Bu yöntem ise 1940'lardan 1980'lere kadar

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

yaygın olarak kullanılmıştır. 1990'lerden itibaren uygulamaya konulan Çok ışın demetli iskandil (Multi beam) ile bir mesahada gbyte'lardan terabyte'lara kadar iskandil yapmak mümkün olmaktadır, (Şekil-4.32).

Ayrıca, akustik iskandil ölçme hatları arasında sualtı zemini hakkında yeterli bilgiyi sağlayamaz. Ayrıntılı bir batimetrik harita için 25 m'den daha az hat yoğunluğu gerekir. Bu ise pahalı ve zaman alıcı bir yatırımdır. Hat yoğunluğu istenen sıklıkta olsa bile elde edilen verilerden harita üretimi, deneyimli bir teknik kadro ve ileri enterpolasyon tekniklerini gerektirir. Tek ışın demetli (beam'li) akustik iskandildeki bu gibi yetersizlikler, yüksek çözümleme kapasiteli geniş alan kapsayan çok ışın demetli akustik iskandil ile tamamen ortadan kaldırılmıştır, (Şekil-4.33).



Şekil-4.33 Akustik iskandil sistemi ve ölçme sistemleri
(Single-beam ve Multi-beam echosounder)

Çok ışın demetli akustik derinlik ölçme sistemleri, etkin çözümlemeyi geliştirmek için çoklu paralel ışınlar üretmektedir. Bu sistemler genellikle su derinliğinin 7 katına kadar bir yanal tarama yapabilmektedir. Her taramada hidrografi taşıtının rotasına dik yönde 64 adet derinlik ölçümü yapılabilmektedir. 200 m derinliğe kadar olan sularda maksimum ± 15 cm olan kuramsal derinlik hatası; su çarpıntısı ve dalga algılayıcıları, yalpa algılayıcıları, su sıcaklığı ve çok ışınlı sonar transducerinin eğim ölçer gibi algılayıcılarından gelen bilgilerle, sistem içinde ve ölçme anında yapılan düzeltmelerle kuramsal olarak ± 2 cm'ye kadar indirilebilmektedir.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

4.1.2.3.9. Akustik iskandilde hata kaynakları

Diğer ölçme yöntemlerinde olduğu gibi akustik derinlik ölçümünde de hata kaynakları üç grupta toplanabilir. Bunlar;

- 1- Su ortamının neden olduğu hatalar,
- 2- Aletsel hatalar ve
- 3- Kişisel hatalardır.

1- Su ortamının neden olduğu hatalar:

1a- Hız hatası: Akustik derinlik ölçme aletlerinin kontrol-kayıt üniteleri genel olarak belirli bir ses hızına (V_0) göre ayarlanmıştır. Çalışma ortamındaki fiziksel koşulların gerektirdiği ses hızının bu hızdan farklı olması halinde, kayıt kağıdından okunan derinlikler dH_v kadar hatalı olur. Bu hatanın matematik bağıntısı (4.01) bağıntısının hız değişkenine göre türevi alınarak

$$\frac{dH^I}{dV} = dH_v = \frac{1}{2} \cdot t \cdot dV \quad (4.39)$$

$$H^I = \frac{1}{2} \cdot t \cdot V = \frac{1}{2} \cdot t \cdot V_0 \cdot \left(1 + \frac{V - V_0}{V_0}\right) \quad (4.40a)$$

$$H^I = \frac{1}{2} \cdot t \cdot V_0 + \frac{1}{2} \cdot t \cdot V_0 \cdot \left(1 + \frac{V - V_0}{V_0}\right) \quad (4.40b)$$

yazılabilir. Aletin kalibrasyonunun yapıldığı ses hızına göre ölçülmüş geçici derinlik,

$$H_0^I = \frac{1}{2} \cdot t \cdot V_0 \quad (4.41a)$$

$$H^{II} = H_0^I + H_0^I \cdot \left(\frac{V - V_0}{V_0}\right) \quad (4.41b)$$

olur. Bu bağıntıdaki ikinci terim hız hatasıdır. Dolayısıyla;

$$dH_v = H_0^I \cdot \left(\frac{V - V_0}{V_0}\right) \quad (4.42)$$

olarak hız hatasının matematik bağıntısı elde edilmiş olur.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Uygulama 4.04: Su tabanının eğimli olduğu bir noktada akustik iskandil ölçümü yapılıyor. Sistemde ayarlı ses hızı $V_0=1.512$ m/s, gönderilen sesin hızı $V=1.490$ m/s, transducer derinliği $a=1,20$ m, sesin gönderilmesi ve alınması sırasında geçen süre $t=1,4$ saniye, ses konisinin tepe açısı $2\alpha=19,2^\circ$ ve sualtı tabanının eğimi $\beta=8,8^\circ$ olduğuna göre iskandil derinliğini hesaplayınız.

Çözüm: Önce (4.34a) bağıntısına göre düzeltilecek derinlik değeri bulunur.

$$H_0^I = \frac{1}{2} \times 1,4 \times 1.512 = 1.058,40 \text{ m}$$

(4.42)'den ses hızı nedeniyle derinlik ölçümüne getirilecek hız düzeltmesi;

$$dH_v = 1.058,40 \times \left(\frac{1.490 - 1.512}{1.512} \right) = -15,4 \text{ m} \text{ olarak hesaplanır ve düzeltilmiş}$$

derinlik değeri (4.41b)'ye göre;

$H'' = 1.058,40 + (-15,40) = 1.043,00 \text{ m}$ olarak bulunur. Su tabanının eğimli olması nedeniyle getirilecek düzeltme (4.15) bağıntısından,

$$dH_e = 1.043,00 \times \sin \frac{19,2^\circ}{2} \times (\tan 8,8^\circ - \tan \frac{19,2^\circ}{4}) = 9,85 \text{ m} \text{ elde edilir. Kesin}$$

derinlik değeri ise transducer derinliği de dikkate alınarak (4.12)'den

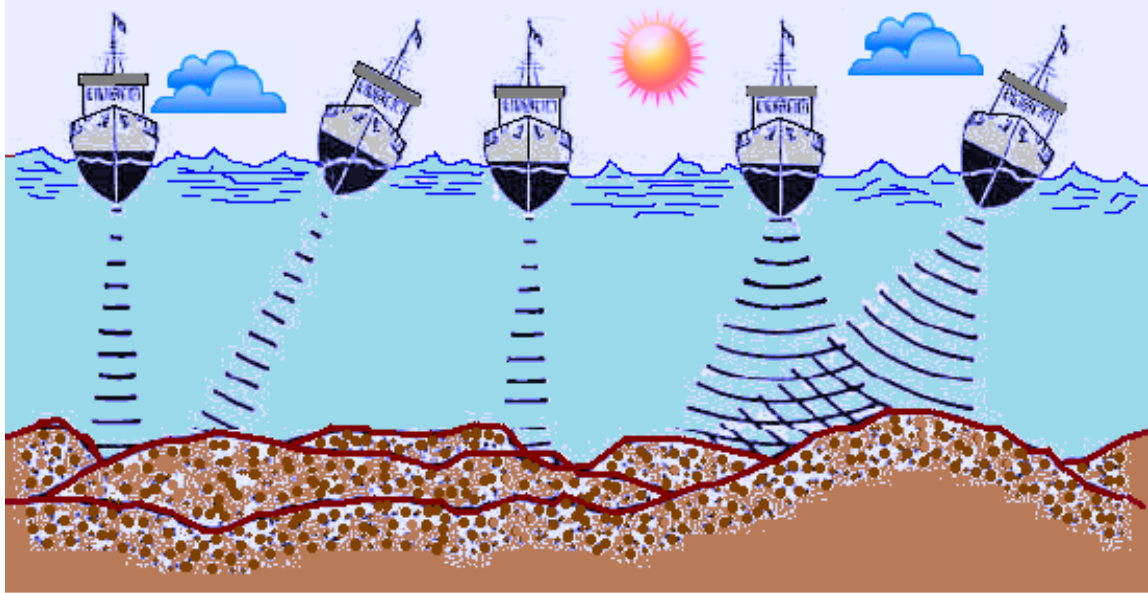
$$H = 1.043,00 + 9,85 + 1,20 = 1.054,05 \text{ m} \text{ olarak belirlenir.}$$

1b- Su seviyesindeki düzensiz değişimler: Su seviyesindeki düzenli değişimler ile gel-git etkisinin neden olacağı değişimler maregraf ölçüleri ile belirlenebilir. Bu nedenle burada dalgaların neden olduğu düzensiz su seviyesi değişimleri ve yalpa etkileri söz konusudur. Su seviyesindeki düzensiz değişimler transducer derinliğini, dolayısıyla derinlik ölçülerini düzensiz olarak etkiler. Ancak, bunun yalpa etkileri kadar önemi yoktur ve ihmal edilebilir, (Şekil-4.34).

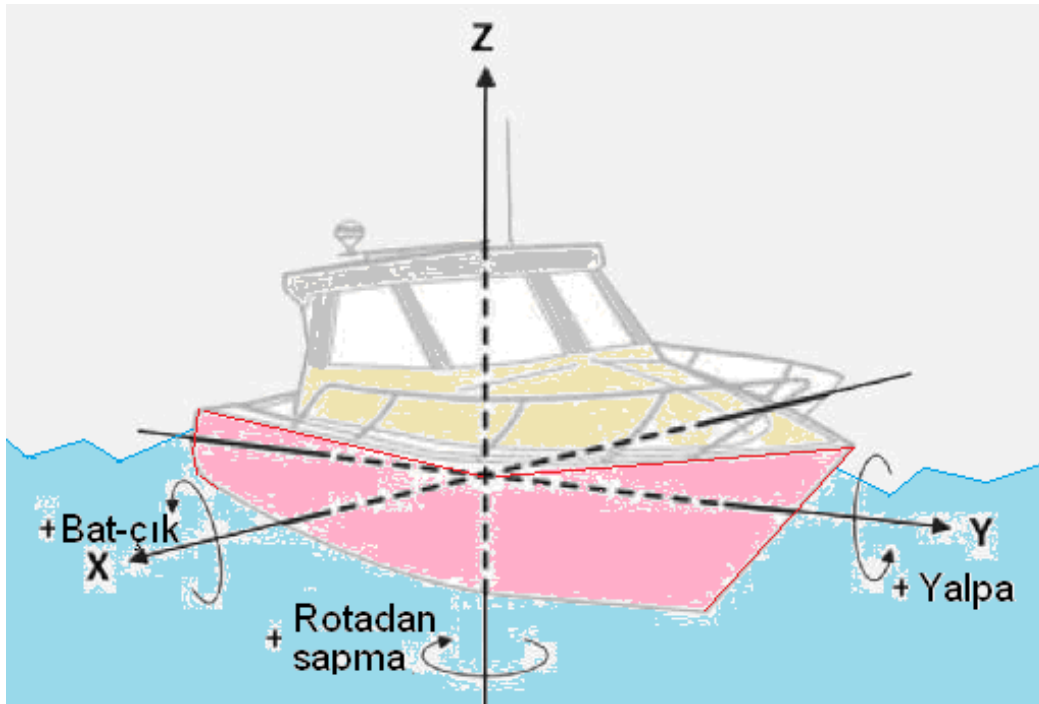
Hidrografi taşıtının dalgalar nedeni ile öne-arkaya (*bat-çık / pitch*) ve sağa-sola (*yalpa / roll*) yapması sabit transducerde ses konisinin düşeyliğini etkiler, (Şekil-4.35). Bu etkilerle birlikte botun doğrultudan sapması (*rotadan sapma / yaw*) derinlik ölçümünde yanlışlık derecesine varan kaba hatalara neden olur.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Yalpaların düzensiz olması nedeni ile hatanın büyüklüğünü belirlemek olanaksızdır. Bu nedenle yalpa etkisini dengeleyerek ses konisi ekseninin düşeyliğini sağlayan algılayıcı transducerler kullanılır.

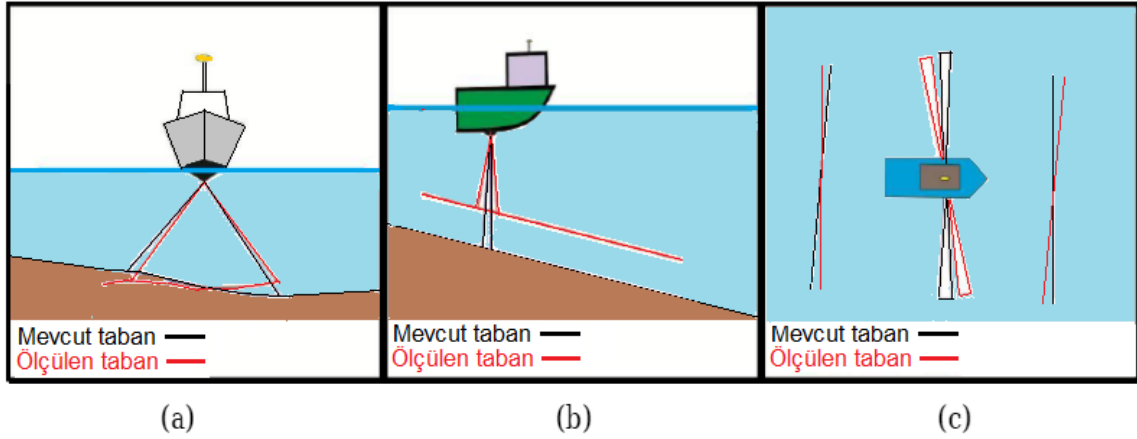


Şekil-4.34 Yalpalamanın derinlik ölçümüne etkisi



Şekil-4.35 Derinlik ölçümünde hatalar

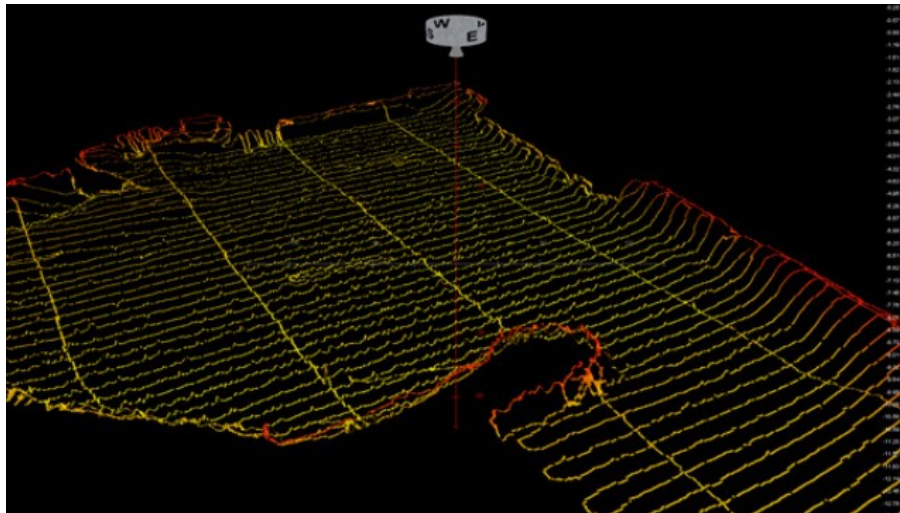
4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)



Şekil 4.36 Yalpa, bat-çık ve rotadan sapma hatalarının etkileri

Hidrografi botunun hareketi nedeni ile ses hüzmesinin üç boyutlu konumunda oluşan değişimlerinin belirlendiği testler şunlardır:

Yalpa (roll) testi: Yalpa testi, transducerin hidrografi botunun sancak ve iskele yönleri ile olabilecek açı ve mesafe hatasının hareket algılayıcısı (sensörü) esas alınarak belirlenmesine olanak vermektedir. Genel olarak yalpa hataları çok ışın demetli iskandil sistemlerinin dıştaki ışın hüzmelerinde görülür ve geniş derinlik hatalarına sebep olur, (Şekil-4.36a). Yalpa testi için kullanılacak iskandil hatları üst üste ve birbirine zıt gidiş yönü olan hatlar olmalıdır, (Şekil-4.37). Testin yapılacağı mesaha, derinlik değişiminin çok az olduğu düz bir zemin olmalıdır, (Burnett 2013, Zirek E., Sunar F. 2016).



Şekil 4.37 Akustik iskandilde iskandil hatları

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Bat-çık (pitch) testi: Bat-çık testi, transducerin ön ve arka kısmı ile olabilecek açı ve mesafe hatasının, hareket algılayıcısı esas alınarak belirlenmesini sağlamaktadır. Burada oluşacak uyumsuzluktan kaynaklanan hata, ölçü verileri üzerinde konum ve derinlik hatası olarak ortaya çıkmaktadır, (Şekil-4.36b). Bat-çık testinin yapılacağı iskandil hatları, üst üste ve birbirine zıt yönde olmalıdır, (Şekil-4.37). Testin yapıldığı mesahada deniz tabanının eğimli olması, sualtı yapısında yüzey arızası bulunması, test sonucunun daha iyi olmasını sağlamaktadır, (Burnett 2013, Zirek E., Sunar F. 2016).

Rotadan sapma (yaw) testi: Rotadan sapma testi, transducerin yöneliminde bulunan açısal ve offset'e bağlı olan hataların tespitini, heading antenlerini esas alarak (bazı sistemlerde cayro olarak ifade edilmektedir) sağlamaktadır. Bu hata ölçü verisinde konum sapmalarına sebep olur, (Şekil-4.36c). Rotadan sapma testi için seçilecek iskandil hatları birbirleri ile aynı yönde, paralel ve ölçüler bindirmeli olacak şekilde seçilmelidir, (Şekil-4.37), (Burnett 2013, Zirek E., Sunar F. 2016).

2- Aletsel hatalar: Akustik iskandil aletleri, verici-alıcı ünite, kontrol-kayıt ünitesi ve enerji ünitesi olmak üzere üç üniteli bir sistem olduğundan, her bir ünitenin yeterli ve doğru çalışması gereklidir. Örneğin, enerji ünitesinin yeterli çalışmaması durumunda diğer üniteler doğru çalışmayacağından ölçülerde aletsel hatalar oluşur. Bu nedenle akustik derinlik ölçerler için gereksinilen enerjinin maksimum ve minimum sınırları belirlenmiştir. Aletsel hataların önemlileri şunlardır;

2a- Seyir süresi hatası: Ses dalgalarının sualtı zeminine gidiş-dönüş yani seyir süresi t , elektronik olarak ve aletin kapasitesine göre $\pm 10^{-3}$ - $\pm 10^{-4}$ saniye duyarlılıkla belirlenebilmektedir. Bunun derinlik ölçülerine etkisi (4.01) bağıntısının t değişkenine göre türevi alınarak;

$$\frac{dH^I}{dt} = dH_t = \frac{1}{2} \cdot V \cdot dt \quad (4.43)$$

matematik olarak ifade edilir.

2b- Ayar hatası: Akustik derinlik ölçme aletinin çalışma düzeninin bozulması veya yetersiz düzenlemeler ayar hatası olarak adlandırılır. Su

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

yoğunluğu ve derinliği bilinen yerlerde özellikle havuzlarda yapılan ölçmeler ile hatanın büyüklüğü belirlenebilir. Gerçek derinlik ile kayıt kağıtından okunan derinlik arasındaki fark okuma duyarlılığının altında ise alete ve ölçülere düzeltme getirilmez.

3- Kişisel hatalar: Akustik derinlik ölçme aletleri otomatik ve sürekli çalışmalarına karşın, ölçmeye başlamadan önce aletin kontrol ve kalibrasyonunun yapılması, ayrıca çalışma sırasında gerektiğinde derinlik basamağının değiştirilmesi, konum ölçmesi yapılan iskandil noktalarının işaretlenmesi ve sayılandırılması için operatöre gereksinim duyulur. Operatörün yapacağı hatalar ile kayıt kağıdından derinlik okuması yapan kişinin hataları kişisel hataları oluşturur. Bu hatalar ise şunlardır;

3a- *Aletin hatalı düzenlenmesi:* Kontrol ünitesinde hatalı hız ayarı ve kayıt kağıtının sıfır ayarının hatalı yapılması kişisel düzenleme hatalarıdır. Dikkatsizliğin neden olduğu bu hatalar ölçüleri sistematik olarak etkiler. Çalışma sırasında belirli aralıklarla aletin kontrol edilmesi ile hatanın büyüklüğü belirlenerek ölçülere düzeltme olarak getirilebilir.

3b- *Transducer derinliğini ölçme hatası:* Ses dalgalarının hava ile veya yoğun hava kabarcıkları ile temasını önlemek üzere transducer su yüzeyinden belirli bir derinliğe indirilir. Alet sürekli olarak bu derinliğin altında kalan derinliği ölçtüğünden, su yüzeyine göre derinlikleri belirlemek için transducer derinliğinin ölçülen derinliğe eklenmesi gerekmektedir. Transducer derinliğinin hatalı ölçülmesi diğer tüm derinlik ölçülerini sistematik olarak etkiler. Su yüzeyine göre ölçülen transducer derinliğini ölçme hatası, su yüzeyinin dalga yüksekliğine bağlı olarak $\pm 0,02-0,20$ m kadardır. Uygun koşullarda ortalama hata olarak $\pm 0,05$ m alınabilir.

3c- *Derinlik okuma hatası:* Akustik iskandilde derinlikleri otomatik olarak işaretleyen ekograflar kullanıldığından, derinlikler kayıt kağıtından okunur. Derinlik okumasında okuyucuya bağlı olarak düzenli ve düzensiz hatalar olabilir. Okuyucu ne kadar dikkatli olursa olsun, sualtı zemini grafiği net ve ince bir çizgi olmadığından, okuma duyarlılığı ortalama ± 5 mm kadardır. Kaba okuma hataları genellikle,

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

- a- Yanlış okuma,
- b- Yalancı eko yanılgısı

olarak iki kısma ayrılır. Yanlış okuma genellikle dikkatsizlik sonucu oluşan bir hatadır. Yalancı eko yanılgısı ise, okuyucunun yorumlama bilgisinin yetersizliği nedeniyle gerçek sualtı zemini ile ilişkisi olmayan çizgiyi okumasıdır.

4.1.2.3.10. Akustik iskandilin duyarlılığı

Akustik derinlik ölçme aleti ile ölçülmüş bir H^I derinliğine bir dizi düzeltmeler uygulandıktan sonra H_d düzeltilmiş derinlik değeri elde edilir. Buna göre akustik iskandil yöntemi uygulanarak belirlenmiş H_d derinliği ve duyarlılığı;

$$H_d = H^I + a + dH_v + dH_s + dH_a \quad (4.44)$$

$$m_{H_d} = \pm \sqrt{m_{H^I}^2 + m_a^2 + m_{H_v}^2 + m_{H_s}^2 + m_{H_a}^2} \quad (4.45)$$

matematik bağıntıları ile ifade edilir. (4.45) bağıntısında:

- m_{H^I} : derinlik çözümleme duyarlılığı,
- m_a : transducer derinliğini ölçme duyarlılığı,
- m_{H_v} hız düzeltmesi duyarlılığı,
- m_{H_s} : eğim düzeltmesi duyarlılığı ve
- m_{H_a} : aletin ayar düzeltmesi duyarlılığı anlamındadır.

Modern akustik iskandil aletlerinde derinlik çözümleme duyarlılığı 100 m için $m_{H^I} = \pm 0,10-0,20$ m arasındadır. Hız düzeltmesinin duyarlılığı yine 100 m için $m_{H_v} = \pm 0,30-0,60$ m, derinlik okuma duyarlılığı $m_{ok} = \pm 0,5$ mm * düşey çizim ölçeğidir. Transducer derinliğini ölçme duyarlılığı ortalama $m_a = \pm 0,02-0,05$ m aralığında alınabilir. Ayar düzeltmesi genellikle olarak ip veya tel iskandil ile yapıldığından $m_{H_a} \leq m_{ok}$ kabul edilir. Eğim düzeltmesi duyarlılığı birinci derecede sualtı zemininin eğimine bağlıdır.

Bu koşullara göre yöntemin genel duyarlılığı (100 m'de);

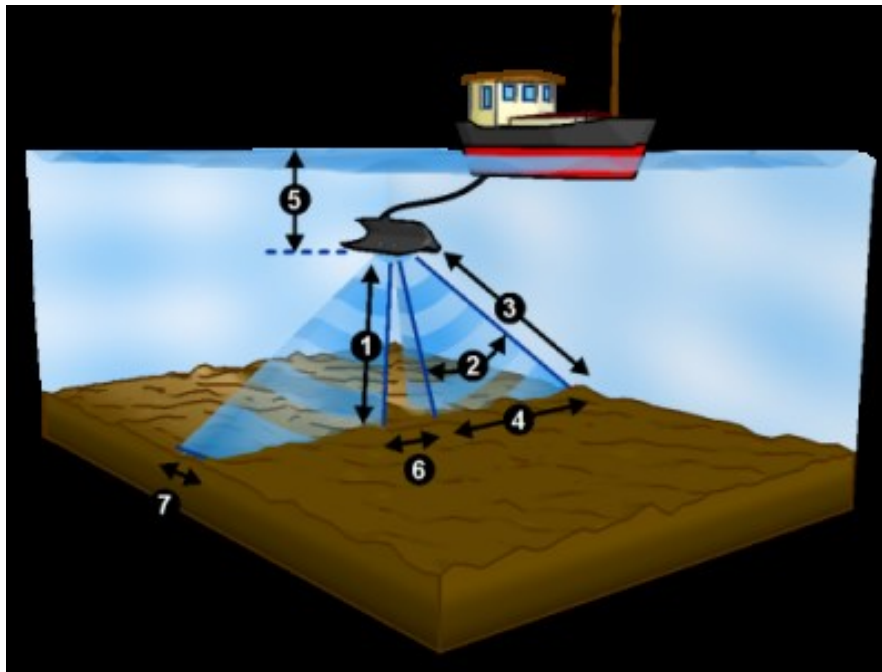
- Klasik aletlerle yapılan derinlik ölçmeleri için : ± 1 m ($\pm \% 1$ H)
- Duyarlı aletlerle yapılan derinlik ölçmelerinde : $\pm \% (0,1-0,25)$ H

kabul edilir.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

4.1.2.4. Yandan taramalı sonarlar

Yandan taramalı sonar, deniz içerisinde gemi rotası boyunca deniz tabanından yüksek ayrımlı veri elde edilen akustik bir sistemdir. SONAR ismi "**SO**und , **N**avigation **A**nd **R**anging" kelimelerinin kısaltılmışı olarak ilk kez II. Dünya Savaşı sırasında, denizaltıların yerlerini tespit etmek için kullanılmaya başlanmıştır. Deniz araştırmalarında kullanılan sonar sistemleri II. Dünya Savaşının ardından, *İngiltere Ulusal Oşinografik Enstitüsü* 'nde geliştirilmiştir. Bilinen ilk ticari sistem "**Anti Submarine Detection Investigation Committee**" için üretilen ve bu kelimelerin kısaltılmışı olan ASDIC sistemidir. Sonarın jeolojik çalışmalarda ilk kullanımı Bath Üniversitesi'nden fizikçi **W. Deryck Chesterman** vd (1958) tarafından gerçekleştirilmiştir. Yandan taramalı sonar kayıtları "sonograf" olarak adlandırılmaktadır.



- (1) Akustik ışın demetinin derinliği,
- (2) Düşey ışın demeti açısı,
- (3) Yazılımdaki menzil ayarı (Maksimum akustik menzil),
- (4) Deniz tabanındaki aralık genişliği,
- (5) Yandan taramalı sonarın roket (towfish) derinliği,
- (6) İskele-sancak kanalı ayırımı,
- (7) Yatay ışın demeti genişliğidir.

Şekil-4.39 Yandan taramalı sonar (Side-scan sonar)

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Yandan taramalı sonarın uygulama alanları olarak;

- Oşinografik araştırmalar,
- Göl, deniz ve nehir araştırmaları,
- Batık araştırmalarında
- Arkeolojik araştırmalar,
- Liman, marina yer seçimi araştırmaları,
- Sualtı kablo çekme ve petrol/doğalgaz boru hattı araştırmalarında,
- Jeolojik haritalama çalışmaları,
- Deniz tabanı morfolojisinin belirlenmesi ve
- Liman içi tarama sonrası, çukur veya tümsek alanların olup olmadığının tespiti sayılabilir.



Şekil-4.40 Yandan Taramalı Sonar Sistemi

Alışlagelmiş akustik derinlik ölçme sistemlerinde düşey doğrultuda yayılan akustik ışın demetleri kullanılmaktadır. Buna karşın yandan taramalı sonarlarda, ana eksen yatayın biraz altında olan eğik bir akustik ışın demeti kullanılır, (Şekil-4.39). Sistem akustik enerji yansımalarını kaydederek, sualtı zemininin oldukça geniş bir alanının, hızlı olarak, doğru ölçekte ve tamamen düzeltilmiş sonar mozaik haritaları ve yüksek çözünürlük kapasitesine sahip sualtı profillerini verir. Sonarın bu tipine yandan taramalı denilmesinin sebebi,

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

sonar roketinin (towfish) çekildiği yöne dik olarak roketin sağından soluna doğru (sancaktan iskeleye doğru) perde şeklinde bir alanı taramasıdır.

Bir yandan taramalı sonar sistemi, genel olarak suiçi ünitesine yerleştirilmiş bir çift transducer ve iletken bir kablo ile yüzen üniteyle ilişkilendirilmiş olan bir kaydediciden oluşmaktadır, (4.39). Transducer, yatay yönde dar, düşey yönde ise geniş akustik ses dalgaları gönderen bir düzeneğdir, (Şekil-4.39). Normal kullanımda bir çift transducer, geniş ışın demeti düşeyde, dar ışın demeti yatayda olacak şekilde yüzen üniteye monte edilmiştir.

Bir yandan taramalı sonar sistemi, genel olarak suiçi ünitesine yerleştirilmiş bir çift transducer ve iletken bir kablo ile yüzen üniteyle ilişkilendirilmiş olan bir kaydediciden oluşmaktadır, (4.40). Transducer, yatay yönde dar, düşey yönde ise geniş akustik ses dalgaları gönderen bir düzeneğdir, (Şekil-4.20). Normal kullanımda bir çift transducer, geniş ışın demeti düşeyde, dar ışın demeti yatayda olacak şekilde yüzen üniteye monte edilmiştir.

4.1.2.4.1. Kontrast

Topografik bir çizim için kullanılan akustik resmin kalitesi, **kontrast** ve **çözümleme** kavramları ile belirtilir. Bu iki faktör birbirine bağlıdır. İlginç işaretlerin ne olduklarının kavranması için kontrast, ilginç karakteristiklerin yorumlanabilmesi içinde çözümleme yeterlidir. Kontrast genel olarak D_1 ve D_2 gibi iki büyüklüğü içeren bir oran şeklinde tanımlanır. Buna göre oran;

$$K = \frac{D_1 - D_2}{D_1 + D_2} \quad (4.39)$$

olup D_1 ve D_2 resmin ilgili yoğunluk değerleridir.

Bu değerler hedef ve arka zemini ile ilgilidir. Eğer K 'nın değeri kullanılacak kayıt kağıdının sertliğinden ve sinyalin oranından daha büyük ise hedef, resimde arka zeminde kontrast oluşturacaktır. D_1 ve D_2 hedefin ve uygun arka zeminin akustik öz dirençleri olduğundan, gerçek anlamda K , hedefin yansıtma katsayısı ile orantılıdır. Akustik öz direnç;

$$D = g \cdot V \quad (4.40)$$

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

g : ortamın yoğunluğu,

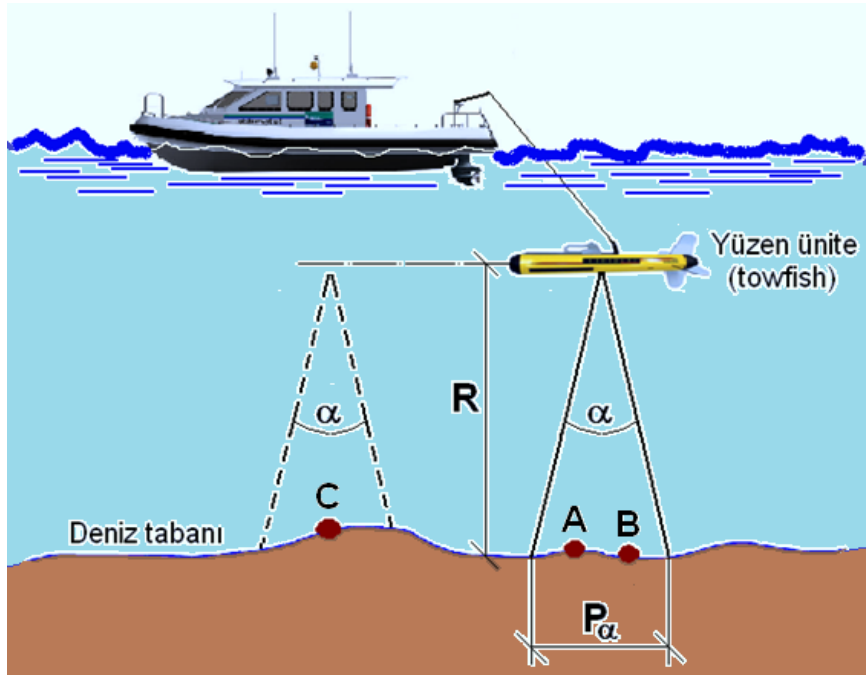
V : sesin ortamdaki yayılma hızıdır.

bağıntısı ile tanımlanmıştır.

Kontrast, Dr.-Ing. **Enrico Clerici** (??) tarafından "Hedefin gücü-şiddeti" olarak da tanımlanmıştır. Sualtı akustiğinde terimlerin bağımlılığı, logaritma kullanılarak doğrusal olarak ifade edilebilir. Değerler doğrudan desibel olarak alınabilir. Desibel, büyük değişimleri işlemek için akustik ve ilgili diğer bilim dallarında kullanılan bir birimdir. İki değişkenin oranıdır ve logaritmik olarak ifade edilebilir. Buna göre;

$$N (dB) = 10 \cdot \log\left(\frac{I_1}{I_0}\right) \quad (4.41)$$

I_0 : sabit yoğunluk şiddetidir.



Şekil-41. Azimutal çözümüleme (Yan görünüş)

4.1.2.4.2. Çözümüleme kapasitesi

Çözümüleme bir antenin ya da optik bir sistemin birbirine yakın olan iki hedefi ayırt edebilme kapasitesi olarak tanımlanır. Resim üreten bir sistemin çözümü, genellikle farklı olarak görülebilen standart bir hedefin her uzunluk birimindeki

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

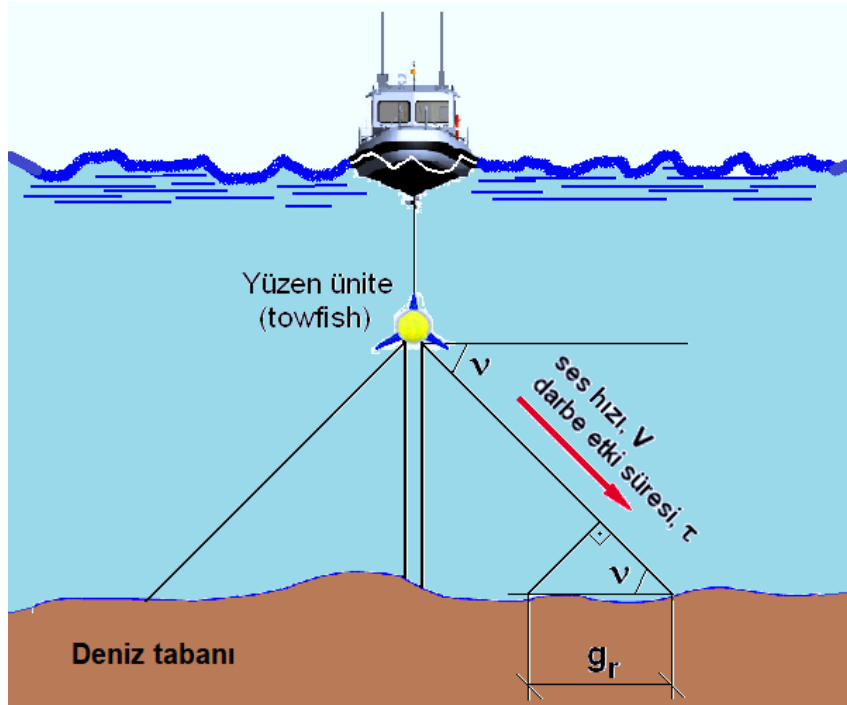
çizgi sayısı olarak ifade edilir. Farklı bir tanımlama, hedeflerin tek tek gösterildiği küçük bir açı olan α çözümüleme açısı ile de yapılabilir. Yandan taramalı sonar gibi etken algılayıcılar için, azimuttaki çözümüleme ile alandaki çözümüleme arasında bir ayırım yapılması gerekir.

Azimutal çözümüleme: Transducer (anten) alanının ana ses çıkış açısı α ve hedef uzaklığı R olduğuna göre;

$$P_{\alpha} = R \cdot \alpha \quad (4.42)$$

sistemin azimutal (yataydaki) çözümülemesi olarak tanımlanır. P_{α} azimutal çözümüleme parametresidir.

Ses konisi içindeki hedefler tek bir yansıma (echo) gösterirler ve çözümülenemezler. Bu durum, Şekil-41.'deki A ve B hedeflerinde açıkça görülmektedir. Eğer algılayıcı öne doğru hareket ederse, diğer bir çözüm elemanı içinde C hedefi görülür. Ses çıkış açısı α 'nın değeri transducer parametrelerinden ve algılayıcıda kullanılan frekanslardan elde edilir. α açısı ile bu parametreler arasındaki ilişki aşağıdaki şekilde açıklanabilir.



Şekil-42. Alanda çözümüleme (Ön görünüş)

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Alanda çözümleme: $V\tau$ uzunluğu ve ν dalga cephesi açısı, alan çözümlemesi g_r 'yi belirleyen parametrelerdir.

$$g_r = \frac{1}{2} \cdot \frac{V \cdot \tau}{\cos \nu} \quad (4.43)$$

V : ses dalgalarının yayılma hızı,

τ : darbe etkisi süresi ve

ν : dalga cephesinin açısıdır.

$$\lim g_r \rightarrow \infty, \quad \nu \rightarrow \frac{\pi}{2} \quad (4.44)$$

bağıntısının geçerli olduğu (4.43) bağıntısından açıkça bellidir.

Bir A_p ses dalgası paketinin alanı, üç boyutlu çözümlemenin tanımlanmasında kullanılabilir. A_p , düzgün yatay bir zeminde ortalama çözüm elemanı olarak görülebilir ve belirlenebilir.

4.1.2.4.3. Yandan taramalı sonar aletleri

Yandan taramalı sonar sisteminde üniteler, ana ve yardımcı birimler olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Bunlar;

1- Ana birimler,

1a- Yüzen ünite,

1b- Sinyal işleme ünitesi,

1c- Kaydedici ünite,

1d- Bağlantı kablosu,

2- Yardımcı birimler,

2a- Yüzdürme hızını algılayıcı elemanlar,

2b- Kabloların emniyetini sağlayan ek parçalar,

2c- Yüzen ünitenin ani hareketlerini dengeleyen donatım,

2d- Yüzen ünitenin bağlantı kablosu ile birlikte suya indirilmesini

sağlayan el vinçleri, kaydırma halkalı elektromekanik veya elektrohidroilk vinçlerdir.

1- Yüzen Ünite: Bu ünite transducerleri taşıyan hidrodinamik kısımdır. Sistemdeki kuyruk yüzgeci doğrultunun stabilitesini sağlar ve transducerler için

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

stabil bir platform oluştururlar. Bu ünite küçük hidrografi taşıtlarında taşınabilecek kadar hafiftir, (Şekil-44).



Şekil-44. Yüzen ünite

Ünitenin kullanılması ile derin sularda da kayıt yapma olanağı doğmuştur. Çünkü bütün sinyaller iki yönlüdür (Multiplex). Yüksek frekanslı sinyallerin taşınması için özel olarak imal edilmiş kabloların kullanılmasıyla çalışma derinliği ve yüzdürme hızı artırılabilir. İletişimler, yüzen üniteye monte edilmiş iki transducer tarafından gerçekleştirilir.

2- Sinyal işleme ünitesi: Sinyallerin transducere taşınması ve buradan alınarak elektrik sinyallerine dönüştürülmesi sinyal işleme ünitesinde gerçekleştirilir. Bu ünite gerektiğinde, yutulma nedeniyle oluşan ses azalmasını ortadan kaldırır. Bu gerektiğinde, zamana bağlı bir güçlendiricinin alınan sinyalin ölçeğini büyütmesi ile yapılır, (Şekil-45).

Şekil-45. Zamana göre değişen kazanç

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Sinyal değerlendirme ünitesinin özellikleri şunlardır;

- a-** Eğik uzunlukları düzeltir,
- b-** Hidrografi taşıtı ve kayıt kağıdının hızını ayarlar,
- c-** Alınan kaydı alfa-nümerik olarak değerlendirir,
- d-** Navigasyon amaçlı bağlantı devreleri içerir,
- e-** Analog kayıtların çevrim dışı (off-line) işlenmesinde detay kaybını önler,
- f-** Yandan tarama ve sualtı zeminine ilişkin profillemeye sistemlerinden elde edilen verileri tek bir kaydediciye yazdırır,
- g-** Sayısal işleme yapabilir,
- h-** Bilgisayar bağlantı devreleri vardır,
- ı-** Yüzdürme kablosunun uzunluğu ve gerilmesi hakkında veri kaydedilmesi ve görüntülenmesi olanağı verir.

3- Kaydedici ünite: Eş zamanlı ses dalgaları genellikle yazıcı üniteye geliştirilir. Alınan sinyal, otomatik kazanç kontrolü ile işlenir. Sinyal, dönen bir sarmal disk üzerinde veya bir katot ışın tüpünden ve bir optik sistemden oluşan bir kombinasyon üzerinde görüntülenir.

Şekil-46. Sarmal disk üzerinde dönen bir silindirde kayıt

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Resim, temas noktasında akım gücü ile orantılı olarak gri ton değişimi ile nokta nokta oluşturulur. Akım gücü alınan sinyalin yoğunluğu ile orantılıdır. Kaydedicideki görüntüyü oluşturan eleman, katot ışın tüpünün ekranı üzerinde iletişim sırasında hareket eden eş zamanlı bir noktadır. Alınan sinyalin yoğunluğu, bir fiberglas optik üzerinden duyarlı kağıt üzerine izdüşürülen hareketli noktanın yoğunluğuna modüle edilir.

Şekil-47. Fiberglas optikli bir katot ışın tüpü ile resim oluşumunun ilkesi

Bu sistemde resim üretiminden önce güvenilir geometrik bir çalışma yapılmalıdır. Sinyaller, manyetik bant üzerine de kaydedilebilir. Bu bantın dinamik alanı, resmin dinamik alanından en az 20 dB daha yüksektir. Kaydedici, eğik uzunlukları düzeltir ve distorsiyonsuz bir resim üretmek için hidrografi taşıtının hızı ile kayıt kağıdı arasındaki ilişkiyi sağlar. Elde edilen kayıtlar, geniş alanların, sualtı zemininin mozayişini oluşturacak şekilde bir araya getirilebilir. Kaydedicinin sakıncalı monitör verisini ve operatör hatasını giderici alfa-nümerik görüntüleme özellikleri ve komut girişi için bir klavyesi vardır.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

4- Bağlantı kablosu: Transducerden ve sinyal değerlendirme ünitesinden bilgi aktarılması bağlantı kablosu ile sağlanır, (Şekil-4.48). Hafif ve esnek yüzdürme kabloları, özellikle küçük hidrografi botları ile yapılan derinlik ölçme çalışmalarında, düşük hızlarda ve sığ su çalışmalarında kullanılır. Zırhlı yüzdürme kabloları, derin sularda ve yüksek hızlarda yapılan çalışmalarda kullanılır. Bu kabloların ucunda kablonun kopma gücünü artıran paslanmaz özel bir zincir vardır.

Bu kablodan başka birde güvertede kullanılan kablolar vardır. Bu kablolar ise bir kaydediciyi veya bir alıcı-vericiyi bir vince veya diğer bir makara düzeneğine bağlamak için kullanılır. Güverte kabloları, ince poliüretan muhafazalı olup gerilmelere karşı korumalı ve standart olarak 10 m uzunluğundadır.



Şekil-4.48 Ayarlanabilir derinlik sonarı, bağlantı kablosu ve vinç

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

5- Dengeleyici ünite: Bu ünite, kayıtlarda hidrografi taşıtının veya yüzen ünitenin neden olduğu distorsiyonu en aza indirir. Dolayısıyla sualtı zemininin topografyasının, zemin tabakalarının, boru hatlarının ve çukurlukların doğru resimlerinin elde edilmesini sağlar. Sistem, bir ivme ölçücüden ve sonar transducerlerine yakın yerleştirilmiş elektronik bir üniteden oluşmaktadır. İvme ölçücü ünite, bir taban profilleyicisi veya hidrografik bir kaydediciyle bütünlenmiş olan gemi elektronik modülü ile birlikte çalıştırılır. İşlenmemiş sinyal iki ardışık zamanda bütünlenir. Sinyal, çok yönlü iletici bir kabloyla sinyal gecikme zamanının değiştirildiği ve modüle edildiği elektronik bir üniteye gönderilir. Kaydedicideki anahtar ses dalgası sistemi ile birleştirilmiş olan grafik kaydedici anahtar ses dalgası, sualtı zemininin topografyasını gösteren taban kaydına izin verilmesiyle bu sinyale uygun olarak geciktirilir.

4.1.2.4.4. Yandan taramalı sonarın uygulanması

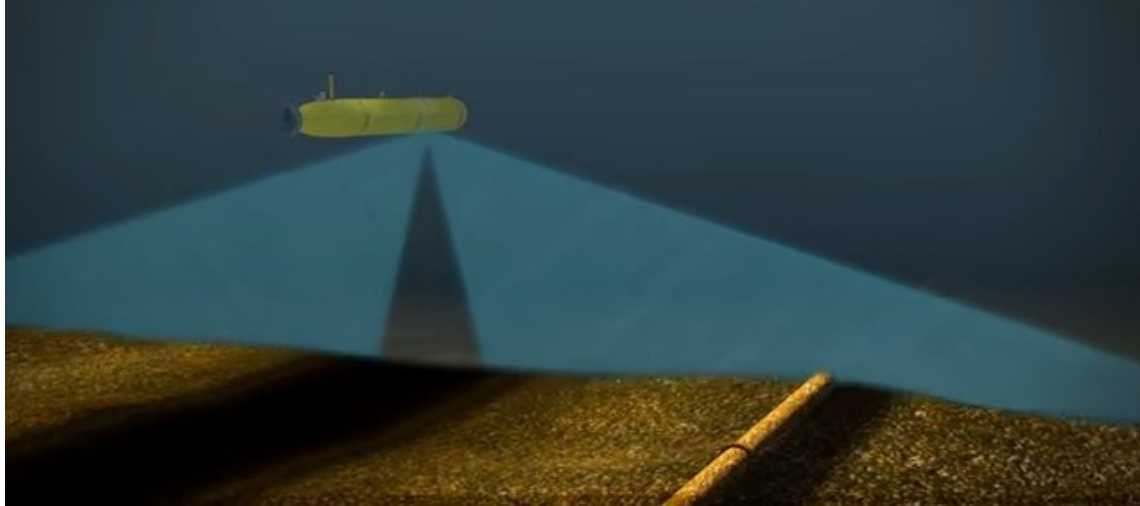
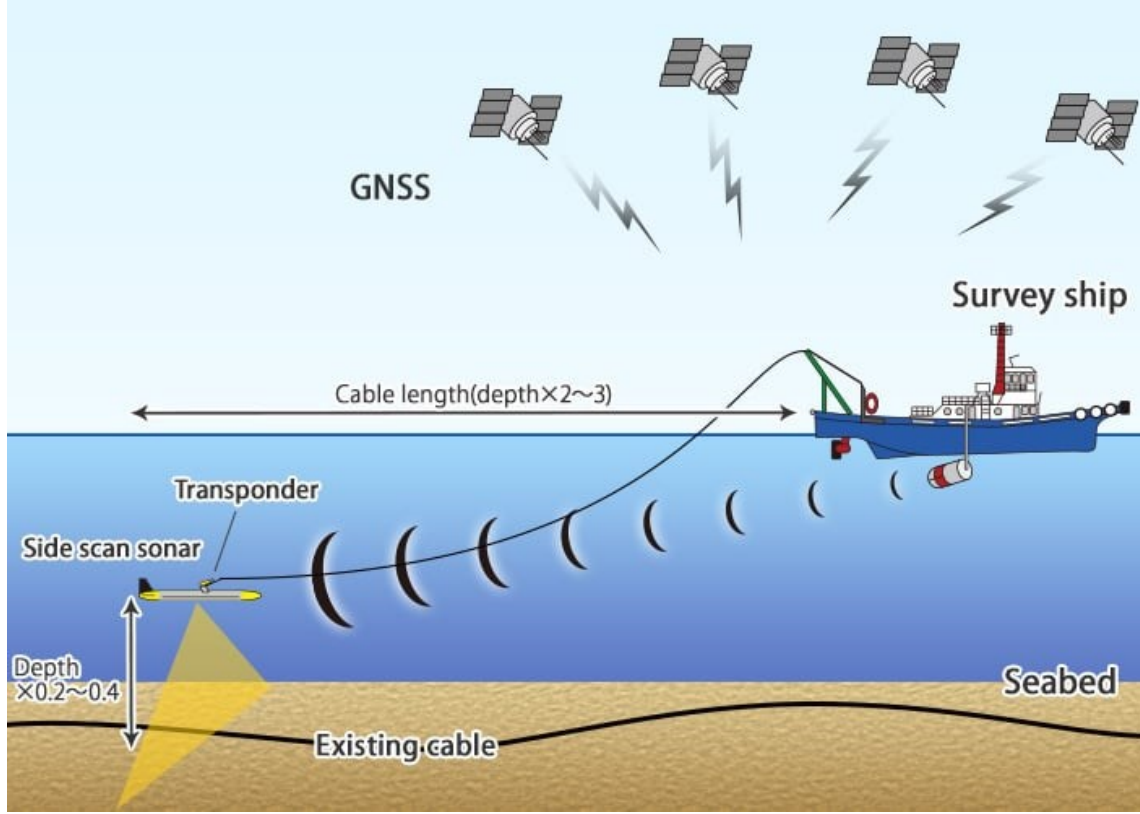
Yandan taramalı sonar resim oluşturan dinamik bir sistemdir. Akustik ses dalgalarının sinyalleri yüzen ünitenin transducerlerinden dik açı altında yayılır. Bunlar yatayda dar ve düşeyde geniş olan ışınlardır. Akustik ışınlar, sualtında akustik enerjiyi kısmen algılayıcıya geri yansıtan trapez biçiminde bir alanı tararlar. Sualtı zemininin algılanması için karadaki güneş ışınlarında olduğu gibi paralel ışınlardan oluşan ışınlara sahip olunmadığından, tarama, akustik olarak dik doğrultuda yapılır. Transducerden gönderilen ve alıcıya geri dönen sinyal, elektriğe duyarlı olan kağıta işaretlenmesine karşın, bu operatör için noktanın tanımlanmasında yeterli değildir. Noktanın tanımlanması ardışık birçok dönüş sinyali ile olanaklıdır. Bu dönüş sinyalleri ile belirlenecek cismin büyüklüğü;

- a- Işın genişliğine,
- b- Ses dalgalarının tekrarlama oranına ve
- c- Tarama doğrultusuna

bağlıdır. Aynı zamanda sualtındaki hedefin büyüklüğü ve şekli, iletilen sinyali etkileyen önemli bir faktördür. Bir noktada yüksek çözünürlü bir ölçme için, dar ışınlar gereklidir. Bunun anlamı ise transducerin altındaki sualtı zemininin akustik resimlerde daha koyu görünmesidir.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Uygun sonar görüntülerinin elde edilmesi, hidrografi taşıtının hızı ile kayıt kağıdı hızının eş zamanlılığını gerektirir. Hidrografi botu hareket ettiğinde, yanyana bulunan tarama çizgileri sualtı zemininin değişken gri ton görünümünü çıkarırlar, (Şekil-39).



Şekil-39. Yandan taramalı sonar sisteminin görüntüleme ilkesi

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Homojen bir sualtı zemini görünümünün elde edilmesi;

a- Transducerin stabilitesine ve

b- Ölçme ve aletsel parametrelerin sayısına

bağlıdır.

4.1.2.4.5. Yandan taramalı sonarlarda değerlendirme

Yoğunluksal (densitometrik) ve geometrik resim işleme işlemleri birbirinden farklıdır. Bu bölümde sonar görüntülerinin nasıl değerlendirildiği açıklanacaktır.

4.1.2.4.5.1. Yoğunluk ölçerek resim işleme

İşlenmemiş sonar sinyali, doğrudan film ya da elektriğe duyarlı kayıt kağıdı üzerine alımı yapılan sinyalden daha yüksek dinamik alana sahiptir. Alçak değer alanındaki bir sinyalin ayarlanması bilgi kaybına neden olur. Karşılaştırılabilir dinamik alanlı manyetik bant üzerine kayıt yapılarak bu problem çözülebilir. Manyetik bant üzerine kayıt edilmiş sinyallerin yoğunluksal olarak işlenmesi, ilgilenilen alanın seçimine ve maksimum bilgi içeren resimlerin elde edilmesindeki işlemlere yarar.

Yoğunluksal işleme, resim olarak alımı yapılmış verilerde de uygulanabilir.

Resim verilerinin sayısallaştırılması: Manyetik bantlar ve resimler, birbirine benzer alım ortamlarıdır. Sayısal bir değerlendirme için, veriler giriş olarak kullanılmadan önce sayısallaştırılmalıdır. Resim değerleri, akım şiddetleri şeklinde analog bir banttan sürekli bir zaman fonksiyonu olarak tekrar alınabilir. Bir resimdeki yoğunluk değerleri D , resim koordinatlarının sürekli bir fonksiyonu ($D=f(x,y)$) olarak depolanmıştır. Sayısallaştırma yoğunluk ölçme ile yapılır.

Verilerin yoğunluksal olarak değerlendirilmesi: Değerlendirmeden sayısallaştırılmış bir yandan taramalı sonar tarama çizgisinin gösterimi, resim değerlendirildikten sonra uygun gösterimle karşılaştırılarak herbir değerlendirme yönteminin sonuçları kıyaslanabilir.

Resim yoğunluğuna uygun sayısal değerlerin histogramı, artan frekans fonksiyonu ile birlikte içinde çok sayıda fonksiyon bulunan yoğunluk alanının

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

belirlenmesinde kullanılır. Artan frekans fonksiyonundan yararlanarak tarama çizgisindeki bilgilerin % 90'ının $10 < dv < 20$ birimlerine uygun yoğunluk alanında olduğu belirlenebilir. Buna göre, küçük yoğunluk alanındaki kontrastı artıran değerlendirme yöntemleri kullanılmalıdır. "Histogram doğrusallaştırma" ve "gri ton değişimi" bu yöntemlerin iki tanesidir.

Histogram doğrusallaştırmada, artan frekans fonksiyonunun yatay izdüşümü ile düz bir çizgiye ulaşılır. Bu yoğunluk değeri, verilen bir resim elemanındaki (Pixel) gösterim sayesinde izdüşüm noktasındaki yoğunluk değerine uygun olur. Bu değerlendirme yönteminde, resimdeki gri alanın düzgün bir dağılım bölünmesi vardır. Bilgiler çoğunlukla yoğunluk alanında bulunduğundan, değerlendirilmiş sinyal, bu bölgede kuvvetli bir kontrast artışı ve büyük bir yoğunluk değeri için kontrast bozulması gösterir.

Gri alan yayılması belli bir genişliğin gri alanını daha da genişletir. Alt sınırların altında veya üstünde bulunan gri alanlar siyah ya da beyaz olarak gösterilir. Bu değerlendirme yöntemlerinde gürültü ve sinyal çok önemlidir. Gürültü filtrasyonu, görüntülenen beneklerin ayıklanmasını sağlar.

Eş yoğunluk yönteminde resim elemanlarına (pixel) aynı yoğunluk değerleri verilir. Bunun sayısal değerleri önceden tanımlanmış bir alan içinde bulunur. Alan sınırlarının seçimi, belirtilen özelliklere dayanır, ve orjinal resim, histogram ve frekans fonksiyonlarının araştırılması ile belirlenir.

Resim üreten enerji kaynaklarında kullanılan enerjinin, kavranan objenin ve enerjinin yayıldığı ortamın karşılıklı etkilerinin fiziksel özelliklerinin kesinlikle bilinmesi, resmin yorumunu zorunlu kılar. Dikkati çeken bazı topografik durumlar veya insan yapımı objeler dışında, yeterli ve gerekli sualtı zeminine ilişkin parametreler olmadıkça, bir yandan taramalı sonar resminde neyin sinyal, neyin gürültü olduğunu belirlemek oldukça zordur.

Çeşitli değerlendirme yöntemlerinin duyarlıklarının gösterilebilmesi için, iki prob- lemin çözülmesi zorunludur. Bunlar;

a- Resimler için sinyal ve gürültü arasındaki farkın belirlenebildiği bir eş yoğunluk yönteminin bulunması,

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

b- Resim işleme yöntemlerinin bağıl etkilerini ortaya koyan bir yöntemin geliştirilmesidir.

İlk probleme yanıt, tekrar elde edilebilirlik ilkesi ile verilebilir. Ayrıntılar aynı yöntemler altında iki veya daha fazla ölçünün karşılaştırılmasıyla resimlendirilir. Resim değerlendirme yöntemlerinin bağıl etkilerinin belirlenmesi, uygun bölgede çapraz korelasyon yardımı ile yapılır. Bu bölge, farklı zamanlarda elde edilen iki resimden alınır. Tekrar elde etme yönteminin kullanılmasıyla elde edilen korelasyon katsayıları, resim değerlendirmesi için bir ölçektir.

Benek, yandan taramalı sonar resimlerinde çok sık karşılaşılan bir durumdur. Bu- nun nedeni; hava kabarcıkları, hidrografi taşıtının pervanesinin dümen suyu, çökeltiler ve balık sürüleri gibi sudaki belirsizliklerdir. Eş yoğunluk orjinal sinyale oranla korelasyon katsayısının kötüleşmesine neden olur. Gürültü filtrasyonu, resmin yorumlanabilirliğini kesinlikle artırır.

4.1.2.5. Lidar iskandil

Su yüzeyindeki bir ışık kaynağından düşey doğrultuda gönderilen ışık ışınları sualtı zemininden yansıyarak geri dönerler. Işık dalgalarının su içindeki yayılma hızı C^I bilindiğinden, ışığın t seyir süresi ölçülerek,

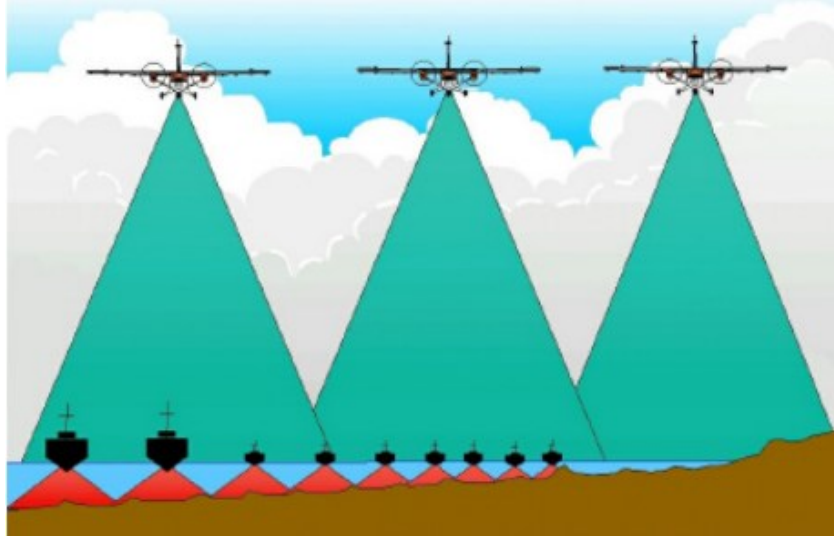
$$H = \frac{1}{2} \cdot t \cdot C^I \quad (4.46)$$

su derinliği genel hız-zaman bağıntısından hesaplanabilir.

Işık dalgaları su içinde kuvvetli dağılma ve yutulma etkisine uğradığından, derinlik ölçmelerinde dalga boyları 0,48-0,55 mμ arasında olan laser ışınları kullanılır. Laser ışınları ile derinlik ölçme yöntemi, İngilizce adı olan "**L**ight **D**etection **A**nd **R**anging" in baş harfleri alınarak LİDAR iskandil adı verilmiştir. Lidar iskandil ile derinlik ölçme denemesi ilk olarak 1969 yılında Ontario Gölünde uçaktan yapılmış ve olumlu sonuçlar alınmıştır. Ancak uçaktan yapılan ölçmelerde su yüzeyinin ışık ışınları üzerinde çok olumsuz etkisi görüldüğünden ölçme işleminin, akustik iskandilde olduğu gibi hidrografi botundan yapılması zorunlu olmuştur.

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

Günümüzde havadan laser kullanılarak gerçekleştirilen iskandil yöntemi LİDAR, helikopter veya uçaktan dalga boyları 0.48-0.55 mμ arasında olan kırmızı ve yeşil laser ışınları gönderilerek yapılan derinlik ölçme yöntemidir, (Cracknell, 1999). Gönderilen kırmızı laser ışını deniz yüzeyinden, yeşil laser ışını ise deniz tabanından yansımaktadır. Bu iki laser ışını arasındaki zaman farkı ölçülerek yeşil ışının su yüzeyinden su tabanına ulaştığı ve döndüğü zamanla karşılaştırılmaktadır, (Şekil-4.40).



Şekil-4.40 LİDAR iskandil yöntemi, (Guenther vd, 2000)

Boğaz, kanal vb sığ sularda kullanım olanağı bulabilen bu yöntem ile akustik derinlik ölçme yöntemlerinden daha hızlı sonuç alabilmek mümkündür, (Cracknell, 1999). Havadan lazer iskandil yönteminde üç farklı sistem bütünleşik olarak kullanılmaktadır. Bunlar;

LİDAR lazer tarayıcı,

İnersiyal konum belirleme sistemi ve

GNSS uydu sistemlerinin

entegrasyonu ile çalışmaktadır, (Kalkan ve Alkan, 2005).

4.1.2.5.1. Işığın su ortamında yayılma hızı

Işığın su ortamında yayılma hızı C^I , boşluktaki ışık hızı C ile suyun kırılma indisi n 'nin bir fonksiyonudur. Buna göre C^I yayılma hızı,

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

$$C^I = \frac{C}{n} \quad (4.47)$$

bağıntısı ile belirlenir. Işığın boşluktaki hızı $C = 299.729,5$ km/s olarak bilinmektedir. Su içindeki hızı ise suyun kırılma indisine, sıcaklığına, tuzluluğuna ve ışığın dalga boyuna bağlı olarak değişmektedir. % 1,75 tuzlulukta ve 20^0 C sıcaklıktaki bir su ortamında, dalga boyu $\lambda = 0,53$ mμ olan bir laser ışınının yayılma hızı ($n = 1,3354$),

$$C^I = \frac{299.729,5}{1,3354} = 224.496,4 \text{ km / s}$$

olur. Işığın dalga boyunun sabit tutulabilmesine karşın, suyun sıcaklığında ve tuzluluğundaki değişme, kırılma indisinde dn kadar bir değişmeye neden olur. Bu durumda ışık hızında da dC^I kadar bir değişme olur. Bu değişme miktarının belirlenmesi için (4.47) bağıntısının n değişkenine göre türevi alınarak,

$$dC^I = -\frac{C}{n^2} dn = -\frac{C^I}{n} dn \quad (4.48)$$

hesaplanır.

Ayrıca ışık ışınları su içinde yutulma ve dağılma nedeniyle önemli oranda zayıflamaya, diğer bir deyişle enerji kaybına uğrarlar. Özellikle derinlik ölçümü için gerekli olan kuvvetli demetlenme ve iyi yansıma özelliğine sahip kısa dalgalı ışınlarda bu olay daha çok görülür. Bu nedenle lidar derinlik ölçülerinde 0.48-0.55 mμ arasında dalga boyu olan laser ışınları kullanılarak olayın etkisinin en aza indirilmesine çalışılır.

4.1.2.5.2. Lidar iskandilde hata kaynakları ve duyarlık

Lidar iskandilin duyarlığı, öncelikle ışığın su ortamındaki yayılma hızı ile seyir süresini ölçme duyarlığına bağlıdır. Ayrıca sualtı zemininden dönen ışık ve alıcının ayırma gücü duyarlığı etkiler.

Genel derinlik hatası 4.47 bağıntısının değişkenlerine göre türevi alınarak,

$$dH = \frac{1}{2} \cdot C^I \cdot dt = \frac{1}{2} \cdot t \cdot dC^I \quad (4.49a)$$

4. Derinliklerin Ölçülmesi (İskandil)

veya,

$$dH = H \cdot \left(\frac{dt}{t} + \frac{dC^I}{C^I} \right) \quad (4.49b)$$

bağıntısı ile bulunur. Günümüzde $dt = \pm 10^{-9}$ s ve $dC^I = \pm 5.10^4$ m/s duyarlılıkla belirlenebildiğinden, derinlik ölçümü

$$dH = \pm (0.11 + 2.2 \cdot 10^{-4} H) m \quad (4.50)$$

duyarlılıkla belirlenebilmektedir.

Ayrıca, geri dönen ışık ile gönderilen ışığında alınması, alıcı ünitenin mükemmel olmaması, ölçülerde derinlik hatasına neden olur. Laser ışınlarının 30^{II} ile 30^{I} gibi çok dar açı içinde demetlenebilmesi ve ışık yoğunluğunun çok fazla olması nedeniyle sualtı zemininin eğimi ile ilgili eğim düzeltmesi gözardı edilebilir.