

# DALIŞ FİZİĞİ

Öğr. Gör. Menderes ŞEREFİLİŞAN

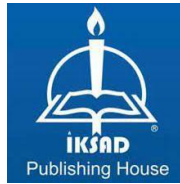


İKSAD  
Publishing House

# DALIŞ FİZİĞİ

ÖĞr. Gör. Menderes ŞEREFLİŞAN<sup>1</sup>

DOI: <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.14541583>



---

<sup>1</sup> İskenderun Teknik Üniversitesi, Denizcilik Teknolojileri Meslek Yüksekokulu, Sualtı Teknolojisi Programı, İskenderun, Hatay, Türkiye. Menderes.sereflisan@iste.edu.tr  
Orcid ID: [0000-0001-9936-7715](https://orcid.org/0000-0001-9936-7715)

Copyright © 2024 by iksad publishing house

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced, distributed or transmitted in any form or by any means, including photocopying, recording or other electronic or mechanical methods, without the prior written permission of the publisher, except in the case of brief quotations embodied in critical reviews and certain other noncommercial uses permitted by copyright law. Institution of Economic Development and Social

Researches Publications®

(The Licence Number of Publicator: 2014/31220)

TÜRKİYE TR: +90 342 606 06 75

USA: +1 631 685 0 853

E mail: iksadyayinevi@gmail.com

www.iksadyayinevi.com

It is responsibility of the author to abide by the publishing ethics rules.

Iksad Publications – 2024©

**ISBN: 978-625-378-028-9**

Cover Design: İbrahim KAYA

December / 2024

Ankara / Türkiye

Size: 16x24cm

## ÖNSÖZ

Canlıların doğal yaşam alanı olan biyosfer, okyanusların derinliklerinden (yaklaşık 10.000m), atmosferin troposfer katmanını (yaklaşık 10.000m) içine alan bir aralığı kapsar.

İnsanoğlu var olduğu günden beri, doğal yaşam alanı olan biyosfer içinde, yaşamı için normal olmayan koşullarda da hayatta kalabilmenin yollarını aramıştır. Bu arayışın amacı bazen merak, bazen de bir amaç için olmuştur. Bu arayış sayesinde günümüzde uzay gibi canlılığın olmadığı ortamlarda da yaşamını devam ettirebilecek yolları bulmuş, okyanusların en derin noktasını bile gözleri ile görebilmiştir. Gelişmeler göstermektedir ki insanoğlunun farklı yaşam ortamlarına uyum sağlayabilmesi ile ilgili faaliyetleri ve arayışları devam etmekte olup bundan sonra da var olduğu sürece devam edecektir.

Bizleri ilgilendiren konu ise insanın suyun altında yaşamını sürdürebilmesi ile ilgili faaliyetleridir.

İnsanlık, tarih boyunca su altında daha uzun süre kalabilmenin yollarını aramıştır. Bilinen en eski dalış kültürlerinden biri, MÖ 5000'lerde kuzey Şili ile Peru kıyılarında yaşayan Chinchorro kabilesidir. Bu kabile, herhangi bir ekipman kullanmaksızın, kendilerini dipte tutacak bir taş yardımıyla suyun altına inerek sünger, mercan ve sedef gibi ihtiyaçlarını karşılamaktaydı. Yapılan araştırmalarda, Chinchorro mumyalarının kulak kanallarında "Dış Kulak Yolu Ekzositozu" tespit edilmiştir.

MÖ 2250 yılında ise Çin İmparatoru'na dalgıçlar tarafından denizden çıkarılan bir inci hediye edilmiştir.

MÖ 800'lü yıllara ait Asur dönemine ait kabartmalarda, hayvan derisinden yapılmış tulumların içindeki havayı soluyarak su altında avlanan eski Yunan dalgıçlarının tasvirleri yer almaktadır.

Yunan tarihçi Herodot, MÖ 400'lerde Scyllis adında bir dalgıcın, Pers Kralı Xerxes tarafından görevlendirilip batık Pers gemilerinden dalış yaparak hazineler çıkardığını anlatır.

MÖ 330 yılında Büyük İskender'in, Colimpha adı verilen bir dalış çanını kullandığına dair bilgiler Aristoteles'in döneminden aktarılmıştır. Aristoteles, Problemata adlı eserinde, dönemin dalış sistemlerini şu şekilde tarif eder: Dalgıçlar için bir solunum yöntemi bulmuşlardı; onlara havayla dolu bir kap gönderiliyordu ve bu kap, su altında dalgıca nefes alıp vermede yardımcı oluyordu.

Bunu izleyen 1500 yıl boyunca dalış tekniklerinde çok az ilerleme kaydedilmiştir. Ancak 1500'lü yıllarda Guglielmo de Lorena, gerçek anlamda bir dalış çanı geliştirmiş ve dalış teknolojisinde yeni bir dönemin başlamasına öncülük etmiştir.

1691 yılında İngiliz astronom Sir Edmund Halley, günümüz dalış çanlarının atası kabul edilen bir cihazın patentini almış ve bu cihazı Royal Society'ye sunduğu bir raporla tanıtmıştır.

1774'te Freminent, yüzeyden körükle hava basılan ve dalgıca hortumla sürekli hava sağlanan bir sistem tasarlamıştır. Bu sistem, birçok kişi tarafından ilk başlıklı ve hortumlu dalış cihazı olarak kabul edilir. Freminent, bu cihazla 50 fit (15 metre) derinliğe dalarak bir saat su altında kalmasıyla ünlü olmuştur.

Augustus Siebe 1819'da, satıhtan hava destekli dalma giysisini üretti.

Henry Fleuss 1879'da, potasyum hidroksiti (kostik potas) kullanarak, biriken karbondioksiti temizleyen kapalı devre dalış sistemini geliştirdi.

1918 yılında Japon dalgıç Ohgushi, hava kaynağından gelen hortumu dişleriyle kontrol ederek dalış yapmayı başarmıştır. Bu yenilikçi yöntem, o dönemde dalış teknikleri açısından önemli bir gelişme olarak kabul edilmiştir.

1926 yılında Fransız deniz subayı Yves Le Prieur, günümüzdeki tüplü dalış ekipmanlarının öncüsü sayılabilecek bir buluşun patentini almıştır. Bu buluş, dalış teknolojisinde yeni bir dönemin kapılarını aralamıştır.

Dalış tarihinde en büyük devrim ise 1943 yılında Emile Gagnan ve Jacques-Yves Cousteau'nun, basınçlı hava tüpünden solunumu mümkün kılan regülatörü icat etmesiyle gerçekleşmiştir. "Aqua-Lung" (su ciğeri) adını verdikleri bu icat, dalgıçlara su altında teknik özgürlük sağlamış ve modern dalış ekipmanlarının temelini oluşturmuştur. Günümüzde bu sistem, "SCUBA"

(Self-Contained Underwater Breathing Apparatus), yani bağımsız su altı solunum cihazı olarak bilinmektedir.

1950'li yıllarda ABD Donanması tarafından satüre dalışlar geliştirildi.

1965 yılında Smith Mountain, personel transfer kapsülünü, sature dalışı ticari olarak kullandı.

NOAA tarafından, 1972-1985 yılları arasında Bahamalar ev Karaip adalarında, sualtı habitatu "Hidrolab" kullanıldı.

Dalış denemelerinin artmasıyla güvenli dalış temellerinin oluşturulması gerektiğini fark eden Jacques-Yves Cousteau ve çalışma arkadaşları, 1959 yılında gönüllülük esasına dayalı olarak "Dünya Sualtı Aktiviteleri Konfederasyonu"nu (Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques, CMAS) kurmuştur. Bu kuruluş, uluslararası düzeyde dalış standartlarının belirlenmesinde önemli bir rol oynamıştır.

Bu tarihten sonra, dünya genelinde rekreasyonel sualtı faaliyetleri hızla gelişmeye başlamıştır. Takip eden yıllarda, farklı dalış eğitim sistemleri ortaya çıkmış; dernekler, kulüpler, federasyonlar, konfederasyonlar ve çeşitli ekoller oluşmuştur. Bu gelişmelere paralel olarak, sualtı teknolojileri ve dalış teknikleri üzerine bilimsel teoriler ve kurallar geliştirilmiştir. Bu teorik bilgi ve kuralların büyük bir kısmı, dalış fiziği ile doğrudan bağlantılıdır ve dalış güvenliği ile performansını artırmaya yönelik önemli katkılar sağlamaktadır.

Uygulanan eğitim, dalışın türü, kullanılan teknik veya teknoloji ne olursa olsun, suyun altında canlı kalabilmenin değişmeyen temel kuralları vardır. Bu kurallar temel fizik kurallarıdır. Bu bilgilerin kullanımı, hesaplanması ve değerlendirmesi oldukça önemlidir. Yanlış hesaplamalar ve hatalı sonuçlandırmalar, insan yaşamını sonlandıracak veya kalıcı hasarlar bırakacak olumsuz sonuçların ortaya çıkmasına sebebiyet verir. Bu olumsuzlukları bertaraf edebilmek için dalış faaliyetinin çok iyi planlanması, hesaplanması gerekir.

"Dalış Fiziği," sualtında yaşamın sürdürülebilmesi için gerekli temel teori ve kuralların bir araya getirildiği en önemli başlıklardan biridir. Bu konunun taşıdığı önem nedeniyle, erişilebilir bir kaynağın eksikliği hissedilmiş

ve bu çalıŐmanın hazırlanmasıyla bilginin yaygınlaŐmasına katkıda bulunulması amaçlanmıŐtır. Bu alıŐma ile sualtında veya su dışı ortamlarda gerçekleştirilecek dalış faaliyetlerinde etkili olan fiziksel yasa ve kavramların tanımlanarak öğretici ve destekleyici bir kaynak sunulması hedeflenmiŐtir.

Ülkemizde son 20 yılda hızla geliŐen "Sualtı Teknolojisi" eğitimi veren kuruluşların öğrencileri, sualtında profesyonel olarak çalışan dalĐılar ve bu alana rekreasyonel amaçlarla ilgi duyan amatör dalĐılar bu çalıŐmanın hedef kitlesini oluşturmaktadır.

Bu eserin hazırlanmasında formüllerin kontrolünde katkılarından ötürü sevgili kızım Kumsal Şereflişan ile düzenlemedeki katkılarından ötürü sevgili eŐim Doç.Dr.Hülya ŞEREFLİŞAN'a, teŐekkür ederim.

ÖĞr.Gör. Menderes ŞEREFLİŞAN

Su Ürünleri Yüksek Mühendisi

Dalış EĞitmeni

**İÇİNDEKİLER**

ÖNSÖZ _____	i
İÇİNDEKİLER _____	v
GİRİŞ _____	1
1. FİZİK BİLİMİ ve FİZİĞİN ALT DALLARI _____	2
1.1. Fiziğin Alt Dalları _____	2
1.1.1. Mekanik _____	2
1.1.2. Termodinamik _____	2
1.1.3. Atom Fiziği _____	2
1.1.4. Optik _____	2
1.1.5. Elektromanyetizma _____	2
1.1.6. Nükleer Fizik _____	3
1.1.7. Katı Hal Fiziği _____	3
1.1.8. Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği _____	3
2. FİZİKSEL NİCELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI _____	3
2.1. Temel Büyüklükler _____	3
2.2. Türetilmiş Büyüklükler _____	4
3. FİZİKTE ÖLÇME, BİRİM VE BİRİM SİSTEMLERİ _____	5
3.1. Dünyada Yaygın Olarak Kullanılan Ölçme Sistemleri _____	5
3.1.1. İmparatorluk (İmperial, Royal, Kraliyet) Ölçü Sistemi _____	5
3.1.2. Uluslararası Birim Sistemi (SI) _____	5
3.2. Kütle ve Ağırlık Kavramı _____	8
3.3. Hacim Hesaplamaları _____	9
4. SICAKLIK ve ISI KAVRAMI _____	11
4.1. Sıcaklık Birimleri _____	11
4.1.1. Santigrad (Celsius) Derece _____	11



4.1.2. Fahrenheit (Fahrenayt) Derece	12
4.1.3. Kelvin Derece	12
4.1.4. Rankin Derece	12
4.2. Sıcaklık Ölçümü ve Termometreler	12
4.3. Sıcaklık Birimlerinde Dönüşüm Hesaplamaları	13
4.3.1. Örnek Problem	14
4.3.2. Örnek Problem	14
4.3.3. Örnek Problem	14
5. MADDE ve İLGİLİ KAVRAMLAR	14
5.1. Atom	15
5.2. Element	15
5.3. Molekül	15
5.4. Cisim, Nesne, Obje	15
5.5. Kütle	15
5.6. Hacim	16
5.7. Maddenin Fiziksel Özelliği	16
5.7.1. Maddenin Ortak Özellikleri	16
5.7.2. Maddenin Ayırt Edici Özellikleri	16
5.8. Maddenin Halleri	17
5.8.1. Katı Halin Özellikleri	17
5.8.2. Sıvı Halin Özellikleri	18
5.8.3. Gaz Halin Özellikleri	18
5.8.4. Plazma	19
6. ENERJİ	19
6.1. Enerji Çeşitleri	20
6.1.1. Kinetik Enerji	20

6.1.2. Potansiyel Enerji	20
6.1.3. Mekanik Enerji	21
6.1.4. İç Enerji	21
6.1.5. Nükleer Enerji	21
6.1.6. Elektrik Enerjisi	21
6.1.7. Kimyasal Enerji	22
6.1.8. Elektromanyetik Işınım (Işık) Enerjisi	22
6.1.9. Kütle Enerjisi	22
7. SU ALTINDA IŞIK	22
7.1. Kırılma	23
7.1.1. Örnek Problem	24
7.2. Görünür Derinlik	25
7.2.1. Örnek Problem	26
7.3. Yansıma ve Yayılma	27
7.4. Renkler	29
8. SU ALTINDA SES	30
8.1. Basınç Dalgaları	32
8.2. Sualtı Patlamaları ve Şok Dalgaları	32
8.2.1. Örnek Problem	34
9. SU ALTINDA ISI ve SICAKLIK	35
9.1. Isının Taşınımı	36
9.1.1. İletim (Kondüksiyon)	36
9.1.2. Yayılma (Konveksiyon)	36
9.1.3. Işıma (Radyasyon)	36
9.2. Isı Kaybından Korunma	37
10. DALIŞTA BASINÇ	38

10.1. Basınçla İlgili Diğer Birimler _____	39
10.1.1. mmHg (Torr) _____	39
10.1.2. mmSS _____	41
10.1.3. Pascal (Pa) _____	41
10.1.4. Barometrik Basınç _____	41
10.1.5. Psi _____	42
10.1.6. Teknik Atmosfer (At) _____	42
10.1.7. Atmosferik Basınç (Atm) _____	43
10.1.8. Atü (Geyç Basıncı) _____	44
10.1.9. Mutlak Basınç (Ata)(psia) _____	45
11. SUYUN KALDIRMA KUVVETİ _____	47
11.1. Örnek Problem _____	49
11.2. Örnek Problem _____	51
11.3. Örnek Problem _____	51
11.4. Örnek Problem _____	52
11.5. Örnek Problem _____	52
11.6. Örnek Problem _____	52
11.7. Örnek Problem _____	53
12. SUALTINDA KULLANILAN SOLUNUM GAZLARI _____	54
12.1. Oksijen _____	55
12.2. Nitrojen _____	55
12.3. Helyum _____	56
12.4. Hidrojen _____	57
12.5. Neon _____	58
12.6. Karbondioksit _____	58
12.7. Karbonmonoksit _____	59

12.8. Argon	59
13. SUALTINDA KULLANILAN SOLUNUM GAZ KARIŞIMLARI	59
13.1. Atmosferik Hava Karışımı	59
13.2. Nitroks Hava Karışımı	61
13.3. Trimix Hava Karışımı	62
13.4. HeliOx	63
13.5. Hydrox	63
13.6. Hydreliox	63
13.7. Neox / Neonox	64
13.8. TriOx (Trioks)	64
13.9. Helitrox (HOTx)	64
13.10. HeliAir	65
13.2. Solunum Gazları Maksimum Operasyon Derinliği (MOD)	65
13.2.1. Örnek Problem	67
14. GAZ ÖLÇÜMLERİ	68
15. İLGİLİ GAZ KANUNLARI ve İLKELER	68
15.1. Gazların Kinetik Teorisi	70
15.2. Boyle- Mariotte Kanunu	72
15.2.1. Örnek Problem	73
15.2.2. Örnek Problem	74
15.2.3. Örnek Problem	75
15.2.4. Örnek Problem	75
15.2.5. Örnek Problem	76
15.2.6. Örnek Soru	76
15.3. Charles Kanunu	77
15.3.1. Örnek Problem	77

15.3.2. Örnek Problem	78
15.3.3. Örnek Problem	78
15.4. Gay-Lussac Kanunu	79
15.4.1. Örnek Problem	80
15.4.2. Örnek Problem	80
15.4.3. Örnek Problem	81
15.4.4. Örnek Problem	82
15.5. Birleşik (Genel) Gaz Kanunu	82
15.5.1. Örnek Problem	83
15.6. Dalton Kısmi Basınç Kanunu	84
15.6.1. Örnek Problem	86
15.6.2. Örnek Problem	86
15.6.3. Örnek Problem	87
15.6.4. Örnek Problem	87
15.6.5. Örnek Problem	88
15.6.6. Örnek Problem	89
15.7. Satış Eşdeğer Hacminin / Yüzdesinin Hesaplanması	89
15.7.1. Örnek Problem	90
15.7.2. Örnek Problem	90
15.7.3. Karışımdaki Bir Gazın Yüzdesinin Değiştirilmesi	91
15.7.4. Örnek Problem	91
15.7.5. Örnek Problem	91
15.7.6. Örnek Problem	92
15.7.7. Örnek Problem	92
15.8. Karışım Kullanılarak Bir Karışım Oranının Değiştirilmesi	92
15.8.1. Örnek Problem	93

15.8.2. Örnek Problem	93
15.9. Birleşik Kaplarda Basınç Hesabı	94
15.9.1. Örnek Problem	94
15.10. Henry Kanunu	95
15.10.1. Henry Yasasıyla İlgili İlkeler	96
15.10.1.1. Gaz Gerilimi (Tansiyonu)	96
15.10.1.2. Gaz Emilmesi	96
15.10.1.3. Gaz Çözünürlüğü	97
15.10.1.4. Graham Difüzyon Yasası	98
15.10.1.4.1. Örnek Problem	100
15.10.1.4.2. Örnek Problem	100
16. HAVA HESAPLAMALARI / HAVA İKMALİ	101
16.1. İniş Süresi	102
16.2. Dip Süresi	103
16.3. Dipte Geçen Süre	103
16.4. Maksimum Derinlik	103
16.5. Çıkış Süresi	103
16.6. Güvenlik Durağı / Dekompresyon Stop Durağı / Deko Durağı	104
16.7. Toplam Dalış Süresi	104
16.8. Dakikada Tüketilen Havanın Hesabı (Litre/dk ve acfm)	105
16.8.1. Örnek Problem	106
16.8.2. Örnek Problem	107
16.8.3. Örnek Problem	107
16.9. Nominal Kapasite	108
16.9.1. Örnek Problem	110
16.9.2. Örnek Problem	110

16.10. Tüp Sayısı _____	110
16.10.1. Örnek Problem _____	110
16.11. Rezervli Hava / Rezerv Basıncı _____	111
16.11.1. Örnek Problem _____	111
16.12. Örnek Problem _____	111
16.13. Örnek Problem _____	113
17. BERNOULLİ PRENSİBİ _____	115
17.1. Akışkan maddeler _____	115
17.2. Akışkanlar Dinamiği _____	115
17.3. Debi _____	115
17.4. İç Akış _____	115
17.5. Dış Akış _____	115
17.6. Laminer (Düzenli, Kararlı) Akış _____	115
17.7. Türbülanslı (Düzensiz, Girdaplı) Akış _____	115
17.8. Bernoulli İlkesi ve Dalış _____	117
17.9. Örnek Problem _____	120
17.10. Örnek Problem _____	120
18. SÜREKLİLİK İLKESİ _____	121
18.1. Süreklilik İlkesi ve Sanayi Dalgıçlığı _____	121
18.2. Örnek Problem _____	122
19. KAVİTASYON _____	122
19.1. Kaviteasyon ve Dalış _____	123
KAYNAKLAR _____	124

## GİRİŞ

İkinci dünya savaşından sonra, savaş sürecinde elde edilen sualtı teknolojisi ile ilgili stratejik ve teknolojik bilgilerin, rekreasyonel ve profesyonel amaçlı dalışlarda kullanılması yaygınlaşmaya başlamıştır. Özellikle emekli Fransız deniz subayı Jacques-Yves Cousteau ve çalışma arkadaşlarının 1959 yılında “Dünya Sualtı Aktiviteleri Konfederasyonu”nu (Confédération Mondiale des Activités Subaquatiques, CMAS) kurmasının ardından, dünya genelinde rekreasyonel sualtı faaliyetleri hızlı bir gelişim sürecine girmiştir. Takip eden yıllarda farklı dalış öğretim sistemleri ortaya çıkmış; dernekler, kulüpler, federasyonlar, konfederasyonlar ve çeşitli ekoller oluşmuştur. Bu gelişmeler, sualtı teknolojileri ve dalış teknikleri alanında bilimsel teorilerin ve kuralların ortaya çıkmasını sağlamıştır. Ortaya konulan bu teorik bilgi ve kuralların büyük bir kısmı doğrudan Dalış Fiziği ile ilişkilidir.

Uygulanan eğitim, dalışın türü, kullanılan teknik veya teknoloji ne olursa olsun suyun altında canlı kalabilmenin değişmeyen temel kuralları vardır. Bu kurallar temel fizik kurallarıdır. Bu bilgilerin kullanımı, hesaplanması ve değerlendirmesi oldukça önemlidir. Yanlış hesaplamalar ve hatalı sonuçlandırmalar, insan yaşamını sonlandıracak veya kalıcı hasarlar bırakacak olumsuz sonuçların ortaya çıkmasına sebebiyet verir. Bu olumsuzlukları bertaraf edebilmek için dalış faaliyetinin çok iyi planlanması, hesaplanması gerekir.

Sualtı ve dalış, birçok fizik yasasının kendini hissettirdiği bir alandır. Bu nedenle dalıcının sağlığını ve yaşamını ciddi derecede etkiler. Fiziğin su altında etkili olduğu konular, basınç ve gazlarla ilgilidir. Basınç altında sıvı (su) ve gazların (hava) insan vücudu üzerindeki etkilerinin incelendiği fizik kolu “Dalış Fiziği” olarak isimlendirilir. Dalış Fiziği, sualtında yaşamı sürdürebilmenin temel teori ve kurallarının toplandığı temel eğitim başlıklarından birisidir.



## 1. FİZİK BİLİMİ ve FİZİĞİN ALT DALLARI

**Bilim:** Nedensellik, merak ve belirli bir amaç doğrultusunda olguları ve iddiaları deney, gözlem ve düşünce yoluyla sistematik olarak inceleyen entelektüel ve uygulamalı disiplinler bütünü olarak tanımlanabilir.

**Fizik:** Madde ile enerji arasındaki ilişkiyi ele alan, doğa olaylarını açıklayan ve bu süreçte teorik, gözlemsel ve deneysel yöntemlerle çalışan bir bilim dalıdır.

### 1.1. Fiziğin Alt Dalları

#### 1.1.1. Mekanik

Kuvvet, hareket ve enerji ilişkisini inceler. Mekanik statik, dinamik ve kinematik olmak üzere üç alt başlığı vardır.

#### 1.1.2. Termodinamik

Fizik, ısı ve sıcaklık, hâl değişimi, enerjinin maddeler arasında aktarılması ve genleşme gibi temel konuları inceler. Aynı zamanda, bu süreçlerin çevresel etkilerini de ele alarak küresel ısınma gibi güncel sorunlarla da ilgilenir.

#### 1.1.3. Atom Fiziği

Maddeyi oluşturan atomları ve moleküllerin yapısı ile enerji düzeylerini inceler. Kuantum mekaniğinin temellerini açıklar.

#### 1.1.4. Optik

Optik, ışığın yapısını, madde ile etkileşimlerini ve ışıkla ilgili olayları inceler. Bu alan, gölge oluşumu, aydınlanma, yansıma, kırılma, renk oluşumu, görme, aynalar, mercekler ve prizmalar gibi konuları kapsar. Bu konular, ışığın doğası ve maddelerle olan etkileşimlerini anlamak için temel prensipler sunar.

#### 1.1.5. Elektromanyetizma

Maddenin elektriksel ve manyetik özelliklerini inceleyen bu alan, elektrik yüklerinin neden olduğu elektriksel ve manyetik olayları,

mıknatısların manyetik alanlarını ve bu alanların etkileşimlerini araştırır.

### **1.1.6. Nükleer Fizik**

Atom çekirdeğini inceleyen bu alan, radyoaktif çekirdeklerden yayılan enerji ve ışınmaları araştırır. Füzyon ve fisyon tepkimeleri de bu kapsamda incelenir.

### **1.1.7. Katı Hal Fiziği**

Maddenin kristal yapısını, atom dizilimlerini ve iç yapısını inceleyen bu alan, manyetik, elektriksel ve elastik özellikler gibi fiziksel özellikleri de araştırır.

### **1.1.8. Yüksek Enerji ve Plazma Fiziği**

Atom çekirdeğini oluşturan temel parçacıkları inceleyen bu alan, evrenin oluşumuna dair teoriler geliştirir. Büyük Patlama'ya benzer koşullar oluşturarak evrenin ilk anlarındaki temel kuvvetleri anlamayı hedefler.

## **2. FİZİKSEL NİCELİKLERİN SINIFLANDIRILMASI**

Fiziksel olayları tanımlamak için çeşitli büyüklükler kullanılır. Bu büyüklüklerden bazıları, bağımsız olarak bir anlam ifade edebilir ve temel kavramları açıklamada doğrudan kullanılır.

### **2.1. Temel Büyüklükler**

Tek başına anlam taşıyan ve diğer büyüklüklerin tanımlanmasında kullanılan büyüklüklere temel büyüklükler denir. Uluslararası Birim Sistemi'ne (SI) göre, yedi temel büyüklük tanımlanmıştır. Bu büyüklükler ve birimleri aşağıdaki tabloda verilmiştir.

**Tablo 1:** Temel Büyüklükler

Temel Büyüklükler	Birimler	Semboller	Gösterim	Ölçüm Aracı
Kütle	Kilogram	Kg	m	Terazi
Işık Şiddeti	Candela	Cd	l	Fotometre
Sıcaklık	Kelvin	K	T	Termometre
Akım Şiddeti	Amper	A	i	Ampermetre
Madde Miktarı	Mol	Mol	n	Yok
Uzunluk	Metre	m	L	Şeritmetre
Zaman	Saniye	s	t	Kronometre

## 2.2. Türetilmiş Büyüklükler

Türetilmiş büyüklükler, temel büyüklükler kullanılarak tanımlanan ve bir anlam ifade edebilmeleri için en az iki ya da daha fazla temel büyüklüğe ihtiyaç duyan büyüklüklerdir. Bu büyüklüklerin birimleri, Uluslararası Birim Sistemi'nde (SI) tanımlanmış olup aşağıdaki tabloda belirtilmiştir.

**Tablo 2:** Türetilmiş Büyüklükler

Türetilmiş Büyüklükler	Birimi	Sembolü	Gösterim
Hız	metre/saniye	m/s	v
Kuvvet	Newton	N	F
Enerji	Joule	J	E
Güç	Watt	W	P
Direnç	Ohm	$\Omega$	R
Elektrik Yükü	Coulomb	C	Q

### 3. FİZİKTE ÖLÇME, BİRİM VE BİRİM SİSTEMLERİ

**Ölçme:** Büyüklüklerin, uygun ölçüm araçları kullanılarak bir sayı ve birim ile ifade edilmesidir. Bir ölçümün anlamlı olabilmesi için sonuç mutlaka bir birimle belirtilmelidir.

**Birim:** Ölçülecek büyüklüğü karşılaştırmak için kullanılan, büyüklüğün cinsinden seçilen ve kişi, yer veya zamana bağlı olarak değişmeyen standart bir değerdir.

#### 3.1.Dünyada Yaygın Olarak Kullanılan Ölçme Sistemleri

##### 3.1.1. İmparatorluk (İmperial, Royal, Kraliyet) Ölçü Sistemi

1824 İngiliz Ağırlık ve Ölçüleri Yasası kapsamında tanımlanmış birimler sistemidir.

Birleşik Krallık başta olmak üzere, sömürgeleri olan devletlerde, ABD ve Kanada'da kullanılmaktadır. 1965 yılından itibaren resmî olarak yerini metrik sisteme bırakmış olmasına rağmen bu ülkelerde gayri resmî yaygın olarak kullanımda olan bir sistemdir. Uzunluk birimleri olarak inç, yarda, mil, kara mili, deniz mili gibi birimler; hacim birimleri olarak galon, ons, pint gibi birimler; kütle birimleri olarak ise libre, pound gibi birimler kullanılır (BWMA, 2010).

Bu sistemde temel birim inç olarak kabul edilir. Feet, bir ayak uzunluğuna eşdeğer bir mesafe olarak tanımlanır. Yarda, Kral I. Henry'nin burnundan ayakucuna kadar olan mesafeye dayanmaktadır. Galon, başlangıçta "bidon" anlamına gelirken, libre de eski zamanlarda gümüş para değerini ifade etmek için kullanılmıştır. Sonuç olarak, bu ölçü birimlerinin matematiksel bir temeli yoktur. Ticari (sanayi) dalgıçlıkta ölçümler genelde imperial sisteminde yapıldığı için bunları SI sistemine çevirebilmek önemlidir.

##### 3.1.2. Uluslararası Birim Sistemi (SI)

Fransızca Le Système International d'Unités (SI), kısaca Uluslararası Birim Sistemi olarak bilinen metrik sistem, 1795 yılında Fransızlar tarafından geliştirilmiş ve kısa sürede dünya genelinde, ülkemiz dâhil olmak üzere, çoğu ülke tarafından kabul edilmiştir. Bu sistem, metre ve kilogramı esas alarak

onluk tabanlı bir ölçü birimi sistemi sunar. Uzunluk, kütle ve diğer temel büyüklükler için standart birimler belirlenmiştir. Metrik sistemin temel birimi olan metre, 1983 yılında bilimsel bir temele dayandırılmıştır. Buna göre, 1 metre; vakumda, ışığın 1/299.792.458 saniyede kat ettiği mesafe olarak tanımlanmıştır. Metre birimi temel alındıktan sonra, diğer birimler 10'un katları veya bölümleri kullanılarak türetilmiştir. Aynı hesaplama yöntemi, ağırlık ölçüsü olarak kabul edilen kilogram için de uygulanmıştır.

Osmanlı İmparatorluğu, 1869 yılında bu sisteme geçiş için çalışmalara başlamış, 1881 yılında resmen metrik sisteme geçmiştir. Ancak yapılan itirazlar sonucunda, 1895 yılında eski sisteme dönmüştür. Türkiye Cumhuriyeti'nin kurulmasının ardından ise, 1931 yılında kabul edilen Ölçü Kanunu ile ülkenin resmi ölçü birimi olarak metrik sistem belirlenmiştir (IBWM, 2021).

**Tablo 3:** Uzunluk, Alan, Hacim ve Sıvı Ölçülerinin Karşılaştırılması

Uzunluk Ölçüleri	Çevrim Kati	Alan Ölçüleri	Çevrim Kati	Hacim Ölçüleri	Çevrim Kati	Sıvı Ölçüleri	Çevrim Kati
Kilometre (km)	↑÷10 ↓ X10	Kilometrekare (km <sup>2</sup> )	↑÷100 ↓ X100	Kilometreküp (km <sup>3</sup> )	↑÷1000 ↓ X1000	Kilolitre (kl)	↑÷10 ↓ X10
Hektometre (hm)		Hektometrekare (Hektar) (hm <sup>2</sup> )		Hektometreküp (hm <sup>3</sup> )			
Dekametre (dam)		Dekametrekare (ar) (dam <sup>2</sup> )		Dekametreküp (dam <sup>3</sup> )			
Metre (m)		Metrekare (m <sup>2</sup> )		Metreküp (m <sup>3</sup> )			
Desimetre (dm)		Desimetrekare (dm <sup>2</sup> )		Desimetreküp (dm <sup>3</sup> )			
Santimetre (cm)		Santimetrekare (cm <sup>2</sup> )		Santimetreküp (cm <sup>3</sup> )(cc)			
Milimetre (mm)		Milimetrekare (mm <sup>2</sup> )		Milimetreküp (mm <sup>3</sup> )			
Milimetre (mm)	↑÷10 ↓ X1000					Mililitre (ml)	
Mikrometre (µm)	↑÷1000 ↓ X1000						
Nanometre (nm)	↑÷1000 ↓ X10						
Angström (Å)	↑÷10						

**Tablo 4:** Denizcilikte Kullanılan Uzunluk Ölçülerinin Karşılaştırılması

Birimler	Fark	Dönüşüm
Linye		3,1 mm
	8,19	
Pus (inch)		2,54 cm
	12	
Feet (Kadem/foot)		30,48 cm
	3	
Yarda (yard)		91,5 cm
	2	
Kulaç (fathom)		183 cm
	101	
Gomina (cable)		185,2 m
	10	
Deniz Mili (nm)		1852 m

**Tablo 5:** İmperial ve SI Sistemde Sık Kullanılan Hacim ve Sıvı Ölçülerin Karşılaştırılması

Birim	Çevrim
1 Litre	0,03531 feetküp (ft <sup>3</sup> )
1 Litre	61,025 inçküp (inç <sup>3</sup> )
1 Litre	2,11 pint
1 Litre	0,056 Quart (qt)
1 Litre	0,264 Galon (gal)
1 Galon (sıvı galon)	3,78 L
1 Galon (imparatorluk)	4,55 L
1 Galon (kuru)	4,40 L
1 Galon (İngiliz)	1,20 gal (ABD)
1 Galon	4 quart
1 Galon	8 pint
1 quart	0,94 L
1 pint	0,47 L
1 feetküp	28,31 L
1 inçküp	16,38 cm <sup>3</sup>
1 m <sup>3</sup>	Yaklaşık 35 ft <sup>3</sup>

### 3.2. Kütle ve Ağırlık Kavramı

Gündelik hayatta aynı anlamda kullanılsa da aslında, kütle ve ağırlık birbirinden farkı kavramlardır. Ağırlık, cisim üzerine etki eden yerçekimi kuvveti olarak tanımlanır ve birimi Newton (N)'dur. Yani cismin kütlelerine bağlı olarak o cisme etkiyen yer çekimi kuvvetinin artıp azalmasına göre değişir. Örneğin cisim Dünya'da tartıldığında daha ağır ölçülürken, Ay'da tartıldığında daha hafif ölçülür. Kütle ise maddenin miktarı veya enerjisini tanımlayan bir büyüklük olup birimi kilogramdır ve tartıldığı yere göre değişiklik göstermez. Başka bir ifade ile cismin kütlesi, yerçekimi kuvvetiyle çarpılarak ağırlığı bulunur (Balbağ, 2018).

**Tablo 6:** SI Sistemde Kullanılan Kütle Ölçülerinin Karşılaştırılması

Ağırlık Ölçüleri	Çevrim Katı
Ton (t)	↓ X10
Kental (q)	↑ ÷10 ↓ X100
Kilogram (kg)	↑ ÷100 ↓ X10
Hektogram (hg)	↑ ÷10 ↓ X10
Dekaqram (dag)	
Gram (g)	
Desigram (dg)	
Santigram (cg)	
Miligram (mg)	

**Tablo 7:** İmperial ve SI sistemde sık kullanılan kütle eşitliklerinin karşılaştırılması

Birim	Çevrim
1 Kg	15432 Grain
1 Grain (GN)	64,798 mg
1 Kg	35,27 ons
1 Kg	2,204 paund (libre)
1 ons	28,34 gr
1 paund (libre)	453 gr
1 paund	7000 grain
1 ton	32000 ons
1 Kg	32 ons
1 Ton (metrik)	0,9842 long ton
1 Ton (metrik)	0,1023 short ton
1 Long ton	1,12 short ton

**Tablo 8:** Güç Eşitliklerinin Karşılaştırılması

Birim	Çevrim
1 HP	0,74 kW
1 HP	76,0708 Kgm/s
1 HP	550 ft.libre/s
1 kW	1,3412 HP
1 kW	1000 Jules/s
1 kW	101,989 Kgm/s

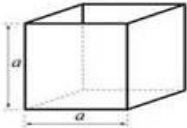
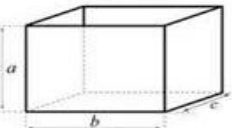
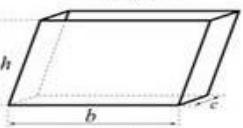
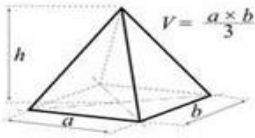
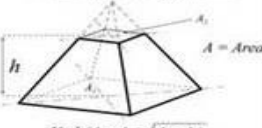
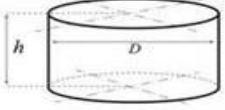
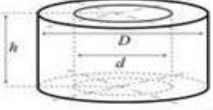

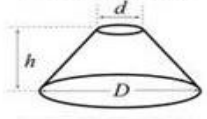
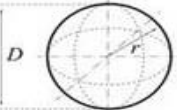

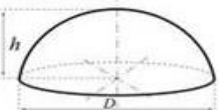
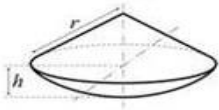
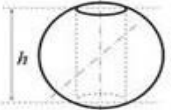
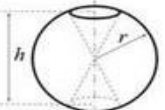


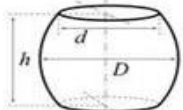
**Tablo 9:** Zaman Ölçülerinin Karşılaştırılması

Birim	Çevrim
1 saat	60 dk
1 dakika	60 s
1 saniye	100 sl
1 salise	10 milisaniye (Ms)
1 milisaniye	0,003 s
1 mikrosaniye	0,000006 s

### 3.3. Hacim Hesaplamaları

Aşağıdaki geometrik şekiller, deniz taşımacılığı sektöründe ve sualtı inşaat sektöründe; taşıma kabı, tonoz, sabitleme ayağı, birleştirme elemanı, yüzdürücü, şamandıra vb. amaçlarla kullanılan muhtemel hacimlerdir. Dalgıçlar tarafından bu geometriler genellikle yüzdürme amaçlı ağırlık hesaplamada, bazen de özel malzeme imalatında kullanılabilen şekiller olduğu için, burada formülleriyle birlikte verilmeye gerek duyulmuştur (Yakar vd., 2009).



<p>Cube</p>  <p><math>V = a^3</math></p>	<p>Cuboid</p>  <p><math>V = a \times b \times c</math></p>	<p>Parallelepiped</p>  <p><math>V = h \times b \times c</math></p>
<p>Pyramid</p>  <p><math>V = \frac{a \times b}{3} \times h</math></p>	<p>Frustrum of a pyramid</p>  <p><math>V = \frac{h(A_1 + A_2 + \sqrt{A_1 \times A_2})}{3}</math></p>	<p>Cylinder</p>  <p><math>V = \frac{1}{2} \pi D^2 h</math></p>
<p>Hollow Cylinder</p>  <p><math>V = \frac{1}{2} \pi (D^2 - d^2) h</math></p>	<p>Cone</p>  <p><math>V = \frac{1}{3} \pi r^2 h</math></p>	<p>Frustrum of a Cone</p>  <p><math>V = \frac{\pi h (D^2 + Dd + d^2)}{12}</math></p>
<p>Sphere</p>  <p><math>V = \frac{3\pi r^3}{3} = \frac{\pi D^3}{6}</math></p>	<p>Zone of a Sphere</p>  <p><math>V = \frac{\pi h (3r^2 + 3x^2 + h^2)}{6}</math></p>	<p>Segment of a sphere</p>  <p><math>V = \frac{\pi h (2D^2 + h^2)}{6}</math></p>
<p>Sector of a Sphere</p>  <p><math>V = \frac{2\pi r^2 h}{3}</math></p>	<p>Sphere with Cylinder</p>  <p><math>V = \frac{\pi h^3}{6}</math></p>	<p>Sphere with two cones</p>  <p><math>V = \frac{2\pi r^2 h}{3}</math></p>
<p>Sliced Cylinder</p>  <p><math>V = \frac{\pi D^2 h}{4}</math></p>	<p>Ungula</p>  <p><math>V = \frac{2r^2 h}{3}</math></p>	<p>Barrel</p>  <p><math>V = \frac{\pi h (2D^2 + d^2)}{12}</math></p>

Şekil 1: Farklı Geometrik Şekillerin Hacimsel Formülleri (Brickell, 1984)

## 4. SICAKLIK ve ISI KAVRAMI

Günlük kullanımda, sıcaklık ve ısı kavramları sıklıkla birbirine karıştırılmaktadır. Sıcaklık, maddelerin ne kadar sıcak veya soğuk olduğunu belirten bir özelliktir ve enerji olarak kabul edilmez. Sıcaklık, genellikle bir termometre ile ölçülür.

Isı ise, sıcaklıkları farklı olan iki madde arasında gerçekleşen enerji transferidir. Başka bir deyişle, bir maddeyi oluşturan taneciklerin toplam hareket enerjisine ısı denir. Isı, bir enerji biçimi olup, birimleri joule (J) ve kalori (cal) ile ifade edilir. (1 kalori = 4,18 joule olarak kabul edilir.) Isının doğrudan ölçülmesi mümkün değildir; yalnızca maddeler arasında gerçekleşen ısı transferi ölçülebilir.

Sıcaklıkları farklı olan cisimler birbirlerine temas ettiklerinde, aralarında ısı alışverişi başlar. Sıcak cisimdeki taneciklerin sahip olduğu kinetik enerji, soğuk cismin taneciklerinin kinetik enerjisinden daha yüksektir. Isı verildiğinde, bu enerji, moleküllere kinetik enerji olarak aktarılır ve bu enerjinin ortalaması sıcaklık olarak tanımlanır.

Sıcak cismin tanecikleri, soğuk cismin tanecikleriyle temas ettiklerinde, sıcak cismin tanecikleri enerjilerinin bir kısmını soğuk cismin taneciklerine aktarır. Bu durum, sıcak cisimden soğuk cisme ısı akışını sağlar. Sıcak cisim biraz soğurken, soğuk cisim biraz ısınır. Isı alışverişi tamamlandığında, her iki cismin sıcaklığı eşitlenir.

### 4.1. Sıcaklık Birimleri

#### 4.1.1. Santigrad (Celsius) Derece

Celsius ölçeği, 1742 yılında İsveçli astronom Anders Celsius tarafından geliştirilmiş bir sıcaklık ölçü birimidir. Bu ölçekte, suyun donma noktası  $0^{\circ}\text{C}$ , kaynama noktası ise  $100^{\circ}\text{C}$  olarak belirlenmiştir. Aradaki bu iki referans nokta, 100 eşit dereceye bölünerek sıcaklık ölçümü yapılır. Bu özellikleri nedeniyle Celsius, günlük yaşamda sıcaklık ölçmek için en yaygın kullanılan birimlerden biri olmuştur.

### 4.1.2. Fahrenheit (Fahrenayt) Derece

Fahrenheit ölçeği, Alman fizikçi Daniel Gabriel Fahrenheit tarafından 1724 yılında geliştirilmiş bir sıcaklık ölçü birimidir. Bu ölçeğe göre, suyun donma noktası 32 °F, kaynama noktası ise 212 °F olarak kabul edilmiştir ve bu iki nokta arasındaki fark 180 eşit dereceye bölünmüştür. Fahrenheit ölçeği, özellikle Amerika Birleşik Devletleri ve İngiltere gibi bazı ülkelerde yaygın olarak kullanılmaktadır.

### 4.1.3. Kelvin Derece

Kelvin (K), Uluslararası Birim Sistemi'ne (SI) göre temel sıcaklık ölçü birimidir. Sembölü K'dir. Bu birim, termodinamikte mutlak sıfır kavramını ilk kez gazlardan tüm maddelere uygulayan İskoç asıllı bilim insanı Lord Kelvin'in adını alır. Kelvin, sıcaklık ölçü birimi olarak SI tarafından tanımlanmıştır. Bu ölçekte, suyun donma noktası 273 K ve kaynama noktası 373 K olarak kabul edilir.

### 4.1.4. Rankin Derece

Adını 1859 yılında Glasgow Üniversitesi mühendis ve fizikçisi Macquorn Rankine'den alan Rankine ölçeği, mutlak bir termodinamik sıcaklık ölçeğidir. Rankine ölçeği, Fahrenheit ölçeğiyle aynı büyüklükte derecelere sahip bir başka mutlak sıcaklık ölçeğidir. Bu ölçeğe göre, suyun donma noktası 492 °R ve kaynama noktası 672 °R'dir. Kelvin ölçeğinin Fahrenheit ölçeğine dayalı bir versiyonu olarak kabul edilebilir. Fahrenheit ölçeğinin tanımı ve deneysel veriler göz önüne alındığında, mutlak sıfır yaklaşık olarak -460 °F olarak kabul edilir.

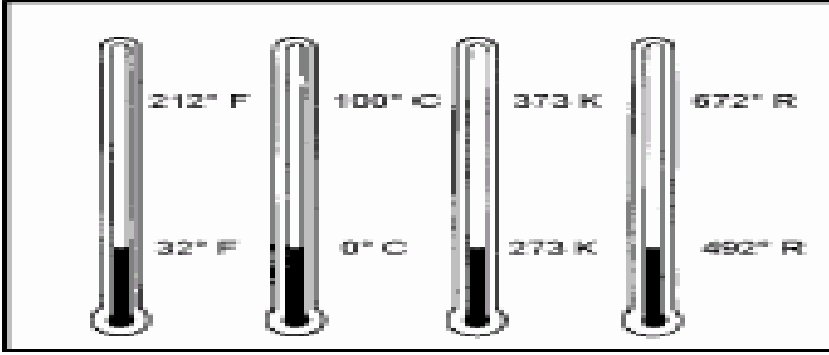
## 4.2. Sıcaklık Ölçümü ve Termometreler

Sıcaklık ölçümü termometre adı verilen araçlarla gerçekleştirilir. Termometreler çalışma prensibine göre genel olarak; sıvı düzenekli, metalik düzenekli ve infrared düzenekli olmak üzere üç temel sınıfa ayrılabilir. Sıvı düzenekli termometreler; içeriğinde sıvı olarak alkol veya cıva bulundurur. Ortam sıcaklığına göre içeriğindeki sıvının genleşmesi (ısınması) veya büzülmesine (soğuması) göre işaretli bir skala üzerinde okuma sağlar. Metalik düzenekli termometreler; metallerin genleşme ve büzülme özelliğine göre

çalışır. Dalış sektöründe genel olarak bu tip termometreler kullanılır. Su içi ölçümlerde, ortam sıcaklığına göre genleşme ve büzülme özelliği gösteren spiral formlu düzeneğin hareketi ile derecelendirilmiş skala üzerinde okuma sağlar. İnfrared düzeneekli termometreler ise nesnelere yaydığı kızılötesi ışınların ölçülmesine sağlayan sensörler aracılığı ile okuma imkânı sunar.

### 4.3. Sıcaklık Birimlerinde Dönüşüm Hesaplamaları

Farklı sıcaklık skalalarının birbirlerine kıyaslanması ile ilgili yaygın kullanılan görsel ve formüller aşağıda verilmiştir.



Şekil 2: Fahrenheit, Celsius, Kelvin ve Rankine Derecelerinin Karşılaştırması (Romer, 1982).

$$\text{Santigrat } (^{\circ}\text{C}) = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8$$

$$\text{Fahrenheit } (^{\circ}\text{F}) = (1,8 \times ^{\circ}\text{C}) + 32$$

$$\text{Fahrenheit } (^{\circ}\text{F}) = (\text{K} - 273) \times 1,8$$

$$\text{Kelvin } (^{\circ}\text{K}) = ^{\circ}\text{C} + 273$$

$$\text{Kelvin } (^{\circ}\text{K}) = ((^{\circ}\text{F} - 32) / 1,8) + 273$$

$$\text{Santigrat } (^{\circ}\text{C}) = ^{\circ}\text{K} - 273$$

$$\text{Santigrat } (^{\circ}\text{C}) = (^{\circ}\text{R} - 491,67) / 1,8$$

$$\text{Rankin } (^{\circ}\text{R}) = (1,8 \times ^{\circ}\text{C}) + 491,67$$

$$\text{Kelvin } (^{\circ}\text{K}) = ^{\circ}\text{R} / 1,8$$

$$\text{Rankin } (^{\circ}\text{R}) = ^{\circ}\text{F} + 460$$

$$\text{Rankin } (^{\circ}\text{R}) = ^{\circ}\text{K} \times 1,8$$

Sıcaklık birimlerinden ( $^{\circ}\text{K}$ ), ( $^{\circ}\text{C}$ ), ( $^{\circ}\text{F}$ ) arasındaki denklik aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak da birbirlerine dönüştürülebilir;

$$\frac{C}{100} = \frac{F - 32}{180} = \frac{K - 273}{100}$$

#### 4.3.1. Örnek Problem

200 Kelvin kaç santigrad dereceye eşittir?

$$^{\circ}\text{C} / 100 = (K-273) / 100$$

$$^{\circ}\text{C} = -73 \text{ } ^{\circ}\text{C} \text{ bulunur.}$$

#### 4.3.2. Örnek Problem

200 Kelvin kaç fahrenheit dereceye eşittir?

$$(F-32)/180 = (K-273)/100$$

$$^{\circ}\text{F} = -99,5$$

#### 4.3.3. Örnek Problem

200  $^{\circ}\text{F}$  kaç  $^{\circ}\text{C}$  eşittir?

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F}-32) / 1,8$$

$$^{\circ}\text{C} = (200-32) / 1,8 = 93,3$$

### 5. MADDE ve İLGİLİ KAVRAMLAR

Boşlukta yer kaplayan, kütlesi, hacmi ve eylemsizliği bulunan her varlık madde olarak tanımlanır. Çevremizde gözlemlenen her şey—örneğin içtiğimiz su, soluduğumuz hava ve kullandığımız nesnelere—maddeyi oluşturur. Maddeler, atom ve molekül gibi temel yapı taşlarından oluşur ve bu yapılar, maddenin temel bileşenlerini oluşturur. Madde, evrendeki tüm varlıkların yapı taşıdır. Maddenin hareket yönünü veya hızını değiştirebilmek için enerji gereklidir. Örneğin, bir dalgıcın soluduğu hava, çevresindeki su kütlesi ve kullandığı tüm ekipmanlar, maddenin örnekleri olarak değerlendirilebilir.

### 5.1. Atom

Atom maddenin en küçük partikülüdür ve ait olduğu elementin özelliklerini taşır. Atomlar elektriksel olarak yüklenmiş proton, nötron ve elektron olarak bilinen parçalardan oluşmuştur. Protonlar pozitif, nötronlar nötr, elektronlar negatif yüklüdür.

### 5.2. Element

Ait olduğu maddenin, fiziksel ve kimyasal özelliklerini taşıyan en basit şeklidir. Element kimyasal yollarla daha küçük şekline ayrılamaz. Evrende 100'den fazla element olduğu bilinmektedir. Elementler çeşitli şekillerde birleşerek 4 milyondan fazla bileşik maddeyi oluştururlar.

### 5.3. Molekül

Moleküller atomların bir grup oluşturmasıyla meydana gelmişlerdir. Moleküller genelde kendilerini oluşturan atomlardan farklı özellik gösterirler. Örneğin, iki hidrojen atomu bir oksijen atomuyla birleştiğinde yeni bir madde, su oluşur. Bazı moleküller aktiftir ve onları çevreleyen diğer birçok molekülle birleşmeye çalışırlar. Moleküllerin bir kısmı ise pasif (asal, inert) olup çevresindeki moleküllerle doğal koşullar altında birleşmezler. Solunum karışımlarında pasif, moleküllerin bulunması, dalgıcın dekompresyon ihtiyacının hesaplanması açısından önemlidir.

### 5.4. Cisim, Nesne, Obje

Maddelerin şekil almış haline denir. Bir başka anlamda; dönme ve çevirme hareketiyle hareket ettirilebilen, sıkıştırılmış maddenin toplamı şeklinde tanımlanmaktadır. Sıvılar ve gazlar madde olmalarına rağmen, belli bir şekilleri olmadığı için cisim değildir. Genellikle cansız varlıklar için kullanılan bir kavramdır.

### 5.5. Kütle

Parçacık veya nesnelere oluşturan madde miktarına kütle denir ve genellikle "m" harfiyle gösterilir. Kütle, terazi gibi ölçüm araçlarıyla belirlenir ve temel bir fiziksel büyüklük olarak kabul edilir. Kütle, sıcaklık, basınç ve

çevresel koşullardan etkilenmez. SI birim sisteminde kütle, kilogram (kg) birimi ile ifade edilir. Kütle, tüm maddelerin ortak özelliğidir ve bir maddenin bulunduğu yerden bağımsız olarak değişmeyen, sabit bir miktardır.

## 5.6. Hacim

Bir maddenin uzayda kapladığı alana hacim denir. Hacim, sıcaklık ve basınç gibi çevresel faktörlerden etkilenir. Katıların hacmi belirli olup, şekli bilinen cisimlerin hacmi özel formüllerle hesaplanabilir; şekli bilinmeyen cisimlerin hacmi ise dereceli silindir veya taşırma yöntemiyle ölçülür. Sıvıların hacmi genellikle dereceli kaplarla ölçülür. Gazların ise sabit bir hacmi yoktur; buldukları kabın hacmi kadar yer kaplarlar. SI birim sistemine göre hacmin birimi metreküp ( $m^3$ ) olup, simgesel olarak V ile gösterilir. Sıvıların hacim ölçü birimi ise litre (L) olarak ifade edilir.

## 5.7. Maddenin Fiziksel Özelliği

Maddenin dış yapısına dair özellikler—örneğin renk, şekil, koku, tat, saydamlık, sertlik, yumuşaklık, fiziksel hâl, hacim, kütle, öz kütle ve iletkenlik—fiziksel özellikler olarak adlandırılır.

### 5.7.1. Maddenin Ortak Özellikleri

Tüm maddelerin sahip olduğu özelliklere ortak özellik denir. Bunlar;

Kütle

Hacim

Eylemsizlik (Bir maddenin hareket durumunu koruma isteğine denir.)

Tanecikli yapı

Boşluklu yapı

### 5.7.2. Maddenin Ayırt Edici Özellikleri

Maddeleri birbirinden ayırt etmek için kullanılan özelliklerine ayırt edici özellik denir. Bunlar;

Öz kütle

Çözünürlük

Genleşme katsayısı

İletkenlik

Erime sıcaklığı

Erime noktası

Kaynama noktası

Öz ısı

## 5.8. Maddenin Halleri

Madde, katı, sıvı ve gaz olmak üzere üç farklı doğal durumda bulunabilir. Katı maddeler, belirli bir şekle, ağırlığa ve hacme sahiptir. Sıvılar ise belirli bir ağırlığa ve hacme sahip olmalarına rağmen, buldukları kabın şekline uyum sağlarlar. Gazlar, belirli bir ağırlığa sahip olsalar da, şekilsizdirler ve sabit bir hacimleri yoktur; buldukları kabın şeklini alarak homojen bir şekilde yayılırlar. Gazlar ve sıvılar, akışkanlar olarak sınıflandırılır.

Bir maddenin fiziksel hali, öncelikle sıcaklığa ve kısmen de basınca bağlıdır. Katı hal, maddenin en soğuk olanıdır ve moleküller belirli desende rijit olarak yayılmıştır. Moleküller hareket eder fakat hareketleri sabit titreşim gibidir. Sıcaklık yükseldikçe moleküllerin titreşimi artarak, birbirinden ayrılmaya başlar ve hareket etmeye geçerler. Böylece katı madde belli bir sıcaklıktan sonra sıvı hale geçer. Sıcaklık daha da artarsa sıvının molekülleri daha da hareketlenerek, bir kısmı sıvının yüzeyini terk ederek gaz haline geçerler. Madde kaynama noktasına ulaştığında moleküllerin hareketi her yöne olacak şekilde daha da hızlı biçimde olurken, sıvı hızlıca gaza dönüşür. Sıcaklığı düşürmek reaksiyonu tersine çevirir. Gaz molekülleri soğudukça hareketleri yavaşlar ve gaz sıvı hale, oradan da donma noktasına ulaşarak katı hale dönüşür (Alwan, 2011; Caleon ve Subramaniam, 2010).

### 5.8.1. Katı Halin Özellikleri

Tanecikler arası boşluk azdır



Belirli bir şekilleri vardır

Maddenin en düzenli hâlidir

Tanecikler arası çekim kuvveti fazladır

Tanecikler titreşim hareketi yapar

Kolay sıkıştırılmaz, şekilleri dış etki olmadan değişmez

Taneciklerin enerjisi en azdır

Sıvı, gaz ve plazma haline dönüşebilir

### **5.8.2. Sıvı Halin Özellikleri**

Tanecikler arası boşluk katılara göre fazladır

Belirli bir hacmi vardır

Belirli bir şekilleri yoktur

Katılara göre düzensizdir

Buldukları kabın şeklini alırlar

Tanecikleri birbiri üzerinden kayar

Sıkıştırılmaz kabul edilir

Aynı sıcaklıkta taneciklerin enerjisi katılara göre fazladır

### **5.8.3. Gaz Halin Özellikleri**

Molekülleri daima hareketlidir

Belirli bir şekilleri yoktur

İçinde buldukları kabı doldurur

Tanecikler arası çekim kuvveti en azdır

Maddenin en düzensiz hâlidir

Kolay sıkıştırılırlar

Taneciklerin enerjisi en fazladır

Gazlar birbirleriyle her oranda karıştırılabilir

Tüm gazların genleşme ve sıkışma katsayıları aynıdır

#### 5.8.4. Plazma

Plazma, kimya ve fizikte iyonlaşmış gaz olarak tanımlanır. 1920'li yıllardan itibaren fizik literatüründe yer edinmeye başlamıştır. Kendine özgü özellikleri nedeniyle, plazma hali maddeyi katı, sıvı ve gaz hallerinden ayrı olarak inceleyen bir kavramdır. Plazma hali, gazların bir alt grubu olarak düşünülebilir, ancak gaz ve plazma, farklı davranışlar sergiler. Şimşek, yıldırım, mum ve kibrit alevi, kutup ışıkları, volkanik lavlar, Güneş ve diğer yıldızlar, floresan lambalar, neon ışıkları, plazma topları ve plazma televizyonları, maddenin plazma haline örnek teşkil eder.

Plazmanın özellikleri şunlardır:

- Elektriksel açıdan nötrdür.
- Serbest elektronlar sayesinde iyi bir ısı ve elektrik iletkenidir.
- Serbest elektronlar ve pozitif iyonlar nedeniyle elektrik ve manyetik alanlardan etkilenir.
- Yüksek enerjiye sahiptir.
- Evrende en yaygın bulunan madde hali plazmadır.
- Kimyasal reaksiyonlar, maddenin diğer halleriyle kıyaslandığında plazma halinde daha hızlı gerçekleşir.

## 6. ENERJİ

Enerji, en basit tanımıyla iş yapabilme, ısıtabilme ve aydınlatabilme kapasitesine sahip bir olgudur. Enerji, tek başına bir varlık değildir; bir cismin ya da sistemin özelliğidir. Enerji her yerde mevcuttur ve evrenin tamamı enerjiden oluşur. Tüm varlıkların bir tür enerjisi bulunmaktadır, ancak soyut bir kavram olduğu için tanımlanması güçtür. Enerji, bir sistemden başka bir sisteme aktarılabilir. Bu aktarım iş veya ısı yoluyla gerçekleşebilir. Eğer bir

çevre, bir sistem üzerinde iş yaparsa, o zaman çevre sisteme enerji aktarır.

Kapalı bir sistemde, enerji bir biçimden diğerine kayıp olmadan dönüşebilir. Örneğin, evren bir kapalı sistem olarak kabul edilir ve bu nedenle evrende enerjinin toplam miktarı her zaman sabit kalır; evrenin başlangıcından itibaren enerji miktarı değişmemiştir. Bu duruma “**Enerjinin Korunumu Kanunu**” denir. 1840'larda formüle edilen bu kanuna göre, evrende bulunan enerji ne yok edilebilir ne de yoktan var edilebilir. Enerji yalnızca bir biçimden başka bir biçime dönüşebilir. Bir olay ya da sürecin başındaki ve sonundaki enerji miktarı aynı olmalıdır. Bu kanun, olayları açıklamada ve tahminlerde kullanılmak açısından çok önemlidir. Enerji yaratılmaz, yok edilemez veya üretilmez, fakat bir biçimden diğerine dönüştürülebilir. Örneğin, hidroelektrik santrallerinde elektrik enerjisi üretilmez; suyun potansiyel enerjisi, türbinleri çeviren kinetik enerjiye ve oradan da elektrik enerjisine dönüştürülür. Benzer şekilde, doğal gaz santrallerinde, doğal gazın kimyasal enerjisi, elektrik enerjisine dönüşür (Al-Shibli, 2011).

## 6.1. Enerji Çeşitleri

### 6.1.1. Kinetik Enerji

Hareket halinde olan bir cismin veya sistemin sahip olduğu enerji türü, kinetik enerjidir ve bu enerji, cismin hızına ve kütlesine bağlıdır. Bir cismin kinetik enerjiye sahip olabilmesi için hareket etmesi gerekmektedir; dolayısıyla duran bir cismin kinetik enerjisi yoktur. Örneğin, hareket eden bir aracın kinetik enerjisi vardır. Eğer bu araç, duran bir başka araca çarparsa, çarpışma sonucu çarpan araç üzerinde istenmeyen bir iş yapmış olur.

### 6.1.2. Potansiyel Enerji

Bir cismin ya da sistemin konumuna bağlı olarak sahip olduğu enerji türü, potansiyel enerjidir. Potansiyel enerji, özellikle korunumluyak kuvvetlerin etkisiyle depolanabilir. Korunumsuz kuvvetler ise potansiyel enerji yaratmaz. Potansiyel enerjiye sahip olabilmek için bir cismin hareket etmesi gerekmez. Yer çekimi potansiyel enerjisi en sık karşılaşılan örneklerden biridir ve bir cismin kütlesi ile yerden yüksekliği ile ilişkilidir. Örneğin, bir aracın tekerleğinin altına yerleştirilen taş, ona potansiyel enerji kazandırır. Taş

kaldırıldığında, bu enerji serbest kalır ve araç hareket etmeye başlar.

### 6.1.3. Mekanik Enerji

Bir cismin veya sistemin sahip olduğu toplam enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerinin birleşiminden oluşur ve buna mekanik enerji denir. Örneğin, düz bir yolda hareket eden bir aracın mekanik enerjisi yalnızca kinetik enerjisine eşittir. Bir saksı, dördüncü katta pencerede durduğunda ise sadece potansiyel enerjiye sahip olduğu için mekanik enerjisi potansiyel enerjisine eşittir. Ayrıca, yüksek bir uçurumdan düşen bir taşın hareketi sırasında, taşın mekanik enerjisi, potansiyel enerjisi ile kinetik enerjisinin toplamına eşittir.

### 6.1.4. İç Enerji

İç enerji, bir sistemdeki atom ve moleküllerin rastgele hareketlerinden ve aralarındaki bağlardan kaynaklanan enerjidir. Bu enerji genellikle termal enerji olarak da adlandırılır. İç enerji, sistemin sıcaklığı ile doğrudan ilişkilidir; sıcaklık arttıkça iç enerji de artar, çünkü moleküllerin hareketi hızlanır ve bağlardaki enerji değişir.

### 6.1.5. Nükleer Enerji

Nükleer enerji, atom çekirdeğinin bölünmesi (filyon) veya iki atom çekirdeğinin birleşmesi (füzyon) sonucu ortaya çıkan büyük miktarda enerjidir. Nükleer elektrik santralleri ve atom bombaları, füzyon veya filyon reaksiyonları ile enerji üretir. Örneğin, Güneş'in enerji üretimi, çekirdek füzyonuyla gerçekleşir; bu süreçte, hidrojen atomları birleşerek helyum oluşturur ve bu reaksiyon sırasında ısı ve ışık yayılır.

### 6.1.6. Elektrik Enerjisi

Elektrik enerjisi, elektrik yüklerinin birbirini çekmesi, itmesi veya hareket etmeleri sonucu ortaya çıkan bir enerji türüdür. Evlerimizde kullandığımız tüm elektrikli cihazlar, elektrik enerjisinden yararlanarak çalışır. Bu enerji, elektrik akımının iletilmesiyle elde edilir ve aydınlatma, ısınma, soğutma ve diğer pek çok uygulama için kullanılır.

### 6.1.7. Kimyasal Enerji

Kimyasal enerji, moleküller arasındaki kimyasal bağların oluşması ve yıkılması sırasında ortaya çıkan enerji farkından kaynaklanır. Bu enerji, yakıtlar, besinler ve diğer kimyasal bileşiklerde depolanır. Örneğin, arabaların yakıtları ve canlıların besinleri, kimyasal enerjiyi içerir. Bu enerji, uygun koşullar altında serbest bırakılarak, çeşitli işlerin yapılmasını sağlar.

### 6.1.8. Elektromanyetik Işınm (Işık) Enerjisi

Elektromanyetik dalgalar, ışığın da dahil olduğu, enerji taşıyan dalgalardır. Bu dalgalar, farklı frekanslara sahip olup, çeşitli enerji formlarına dönüşebilir. Örneğin, güneş panelleri, güneş ışığından aldığı ışık enerjisini elektrik enerjisine dönüştürür. Benzer şekilde, Güneş'in Dünya'yı ısıtması, yaydığı ışık enerjisinin Dünya yüzeyine ulaşarak ısının ortaya çıkmasına yol açmasından kaynaklanır.

### 6.1.9. Kütle Enerjisi

Kütle enerjisi, kütlesi olan her cismin içinde devasa bir enerji potansiyelinin bulunduğunu ifade eder. Albert Einstein'ın ünlü denklemi " $E=mc^2$ " ile kütle ile enerji arasındaki ilişki açıklanır. Bu denklemde " $E$ " enerji, " $m$ " kütle ve " $c$ " ışık hızıdır. Yani, bir cismin durgun hâlde sahip olduğu enerji, cismin kütlesiyle ışık hızının karesinin çarpımına eşittir. Bu, kütlelerin enerjiye dönüşebileceğini ve çok küçük bir kütlelerin bile büyük miktarda enerji taşıyabileceğini gösterir.

## 7. SU ALTINDA IŞIK

Güneşten yeryüzüne ulaşan ışığın özellik ve davranışları, sualtına girdiğinde farklı davranışlar gösterirken dalgıçta da farklı algılara neden olur. Işığın suya girerken uğradığı kırılma, suyun içindeki erimiş maddeler (tuz vs.), bulanıklığa ve kirliliğe neden olan askıdaki katı maddeler, dalgıcın görüşü ve algısı üzerinde oldukça etkilidir. Sualtından bakılan bir göz; nesnelerin uzaklığını, boyutunu, şeklini ve rengini gerçekten daha farklı görür. Deniz suyunun optik özelliği olarak açıklanan bu durum sadece suyun özelliği değil aynı zamanda ortamda oluşan biyolojik, fiziksel ve kimyasal olaylara bağlı olup bölgesel ve mevsimsel olarak da değişiklikler gösterir. Dalgıçlar ışığın

sualtındaki davranışından dolayı ortaya çıkan bozulma ve farklılıkları çok iyi anlamalı ve buna uygun planlama yapmalıdır.

## 7.1.Kırılma

Işığın farklı yoğunluktaki ortamlarda hareket ederken hızının ve yönünün değişmesi olayı, fiziksel olarak kırılma olarak tanımlanır. Kırılma, ışığın bir ortamdan başka bir ortama geçtiğinde, ortamların kırıcılık indislerine bağlı olarak doğrultusunun ve hızının değişmesidir.

Bir maddenin kırılma indisi, o ortamda ışığın hızının, boşluktaki ışık hızına oranı olarak tanımlanır. Bu katsayı, genellikle "n" ile gösterilir ve matematiksel olarak  $n=C/v$  formülüyle ifade edilir; burada "C" boşluktaki ışık hızını, "v" ise madde içindeki ışık hızını temsil eder. Örnek olarak, vakumlu ortamın kırılma indisi 1, havanın kırılma indisi ise yaklaşık olarak 1.0002931 (pratikte 1 olarak kabul edilir) iken, suyun kırılma indisi 1.33'tür. Bu durum, ışığın boşlukta, sudan daha hızlı hareket ettiğini ve hızının suya göre yaklaşık 1.33 kat daha fazla olduğunu gösterir.

Kırılma, ortamların yoğunluğuna bağlı olarak, nesnelerin olduğundan daha yakın veya daha uzak gözükmeye sebep olur. Işık ışınlarının su içindeki hızı, havadaki hızının  $\frac{3}{4}$ 'ü oranındadır. Dolayısıyla hava ortamından, suyun içine bakan gözün yanılma oranı da  $\frac{3}{4}$ 'tür. Maske camından bakan bir dalıcı, sualtında gerçekte kendisinden A mesafedeki nesneyi, bu uzaklığın  $\frac{3}{4}$ 'ü kadar mesafede algılar. Yani  $A \times (\frac{3}{4})$  veya  $A \times 0,75$  uzaklıktaymış gibi algılayacaktır. Aynı şekilde yüzeyden (su dışından) bakıldığında sığ olarak görülen bir derinlik, gerçekten daha derinde olabilir. Uzak mesafelerde ise kırılmanın etkisi tam tersidir. Nesnelere gerçektekinden daha uzaktaymış gibi görünür. Parlaklığın azalması ve kontrast kırılma ile birleşerek görme mesafesi ilişkilerini etkiler (Poddubny vd., 2013).

Işığın boşluktaki hızı, fiziğin birçok alanında önemli bir fiziksel sabittir ve değeri saniyede 299.792.458 metre (yaklaşık olarak saniyede 300.000 km veya saatte 1.080.000.000 km) olarak kabul edilir. Işık, daha yoğun ortamlar (örneğin su) ile daha az yoğun ortamlar (örneğin hava) arasında geçiş yaptığında, hızında bir değişiklik gözlemlenir. Yoğun ortama geçişte hızı azalırken, az yoğun bir ortamdan yoğun bir ortama geçişte ise hızı artar. Kırılma

olayını daha anlaşılır hale getirmek için bir örnek verelim:

Işığın, kırılma indisi 1,33 olan sudaki hızı nedir?

$$n = C / v \text{ ise}$$

$$v = C / n$$

$$v = 300.000 / 1,33 = 225.563 \text{ km/saat}$$

Cisimlerin suyun içinde daha yakın görünmesini bir örnekle açıklarsak;

### 7.1.1. Örnek Problem

Dalgıç, kırılma indisi 1,33 olan suyun içinde, gerçekte 120 cm mesafede olan bir cisimi, kaç cm mesafede algılar.

$$n = C / v \text{ ise}$$

$$n = \text{Kırılma indisi veya mesafe oranı}$$

$$C = \text{Gerçek mesafe}$$

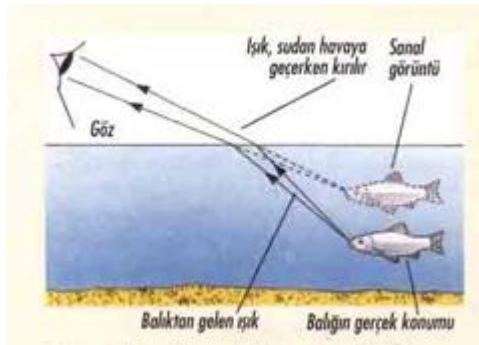
$$v = \text{Algılanan mesafe}$$

$$v = C / n$$

$$v = 120 \times \frac{3}{4} (\text{mesafe oranı}) = 90 \text{ cm}$$

veya

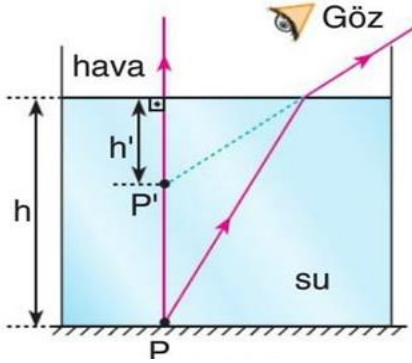
$$v = 120 / 1,33 (\text{kırılma indisi}) = 90 \text{ cm}$$



Şekil 3: Cisimler Işık Kırılması Nedeniyle Olduğundan Daha yakın ve Büyük

Görünürler (Sternbach vd., 2023)

Aşağıdaki şekilde suda  $h$  derinliğindeki  $P$  cismine bakan gözlemci cismi “ $h'$ ” derinliğindeymiş gibi algılar. Farklı ortamdaki cisme bakan göz, cismin hep sanal görüntüsünü görür.



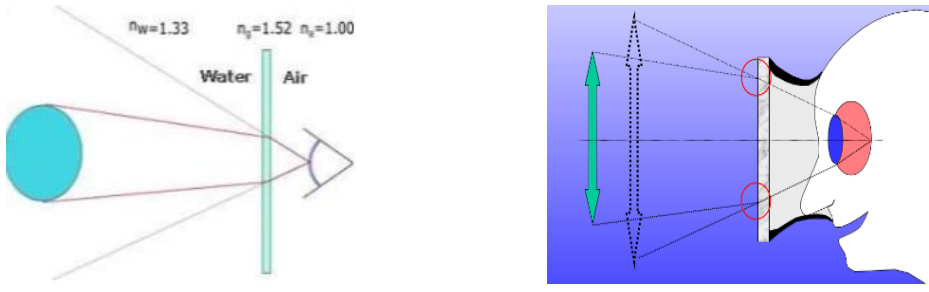
**Şekil 4:** Dışarıdan Cisme Bakan Göz, Cismin Hep Sanal Görüntüsünü Görür (Duntley, 1963).

Farklı kırılma indisine sahip saydam ortamlarda bir cisme bakıldığında, cisim normalde olduğundan daha yakın veya daha uzak bir mesafede algılanır. Bu durum, ışığın geçiş yaptığı ortamın yoğunluğuna bağlı olarak kırılmasından kaynaklanır. Göz, göze gelen ışığın doğrultusunda cismi algılar; ancak ışık kırıldığından, cisim aslında bulunduğu yerde değil, ışığın kırıldığı doğrultuda bir noktada görülür. Eğer bir kişi, kırılma indisi düşük (daha az yoğun) bir ortamdan, kırılma indisi yüksek (daha yoğun) bir ortamda bulunan bir cisme bakıyorsa, ortamları ayıran yüzey düz (doğrusal) ise, cisim daha yakın görünür. Tam tersine, kırılma indisi yüksek ortamdan düşük ortamda bulunan bir cisme bakıldığında, cisim daha uzak olarak algılanır.

## 7.2. Görünür Derinlik

Işığın havadan suya geçişindeki kırılma gibi, su ortamından ve dalgıcın kullandığı maske camından, maske içindeki havaya geçişinde de yeniden bir kırılma gerçekleşir. Su ile hava arasında geçiş yapan ışınların kırılması sonucunda nesnelerin boyutları ve yeri hakkında yanıltıcı algı oluşur. Bu durum, fizikte “Görünür Derinlik” kavramı olarak açıklanır (Lüders ve Otto Pohl, 2018).





Şekil 5: Maske camında kırılma (Slıney, 2016).



Şekil 6: Görünür Derinlik (Slıney, 2016).

Görünür Derinlik:

$h$  = gerçek derinlik (uzaklık)

$h'$  = görünür derinlik (yakınlaşma veya uzaklaşma miktarı)

$n_g$  = gözün bulunduğu ortamın kırıcılık indisi

$n_c$  = cismin bulunduğu ortamın kırıcılık indisi

Görünür Derinlik:  $h' = h \times (n_g/n_c)$

Yukarıdaki örneği bir de bu formülle çözersek;

### 7.2.1. Örnek Problem

Dalgıç, kırılma indisi 1,33 olan suyun içinde, gerçekte 120 cm mesafede olan bir cismin görünür derinliği nedir (kaç cm mesafede görür)?

$n_g$  = gözün bulunduğu ortamın (maske içindeki hava) kırıcılık indisi: 1

$n_c =$  cisimin bulunduğu ortamın (su) kırıcılık indisi: 1,33

$$h' = hx(n_g/n_c)$$

$$h' = 120x(1/1,33) = 90 \text{ cm}$$

Her ne kadar su ve dalgıcın maskesindeki hava arasında oluşan kırılma istenmeyen bir algılama yanlışlığına sebep olsa da sualtında görebilmek için, insan gözünün önünde hava tabakasının olması çok önemlidir. Aksi halde, suyun doğrudan gözle temas etmesi durumunda, nesnenin görüntüsü, gözün ağ tabakası (retina) yerine daha gerisinde odaklandığı için net olarak görülemez. Bir nevi Hipermetrop etkisi oluşur. Yani nesnenin mesafesiyle ilgili kırılma olmazken, doğru odaklanamadığı için görüntünün netliği buzlu camdan bakıyormuşçasına düşer.

Konuyu toparlarsak, genel anlamda, sualtında maskeyle bakan bir dalgıç, nesnelere olduğundan %33 daha büyük ve %25 daha yakın görür. Kırılmanın etkisi, merkezden uzaklaştıkça yani görüş alanının yan taraflarında kalan cisimler üzerinde daha da artar. Görüş algısındaki bozulma, el göz koordinasyonunu da olumsuz etkiler. Bu durum sualtında bir cismi tutabilmenin veya hedef noktaya dokunabilmenin, karaya göre daha zor gerçekleşmesine neden olur. Dalgıçlar, kırılmadan dolayı oluşan mesafe ve boyutlardaki algı bozukluğunu, zaman içinde tecrübe ve eğitim ile giderirler.

Bu konunun detayı optik bilimine girdiği için daha fazla ayrıntıya girilmemiştir.

### 7.3. Yansıma ve Yayılma

Güneşten gelen ışınların yaklaşık %30'u atmosfer tarafından geri yansıtılırken, %50'si atmosferi geçerek Dünya yüzeyine ulaşır. Yeryüzüne ulaşan ışınların ortalama %20'si, yalnızca 10 metre derinliğe kadar yayılabilir. Bununla birlikte, suda bulunan yüksek konsantrasyondaki partiküller (bulanıklık) ışığın bu derinliğe kadar ulaşmasında bir azalmaya yol açar.

Sualtında ışığın dağılması ve yayılması yüksektir. Işık ışınları, su molekülleri ve sudaki partiküllere çarparak saçılır (yayılır, dağılır). Aydınlanma bakımından bu durum olumludur ancak sualtı fotoğrafçılığı bakımından nesnelere gölgede kalan arka planları da ışıklandığı için

kontrastın düşük olması, fotoğraf kalitesini düşürür. Sualtındaki görüşün havadan daha kısıtlı olmasının ana sebebi kontrast kaybıdır. Su dışında yani havada, yayılmadan kaynaklı kontrast kaybı, sadece ağır sis ya da duman gibi normal olmayan şartlarda oluşur (Gilbert, 2022).

Suda asılı halde bulunan partiküllerin oluşturduğu yoğunluğa bulanıklık denir. Bu partiküller, organik yapıdaki planktonlar gibi biyolojik kökenli olabileceği gibi, inorganik maddeler (örneğin çamur) veya insan kaynaklı atıklardan (sanayi, evsel atıklar vb.) da meydana gelebilir. Suyun altında kontrast ve parlaklığın azalması, dışarıdan bakıldığında algılamayı olumsuz etkiler. Suyun bulanıklığı da sualtı görüşü ve mesafe anlayışını oldukça fazla etkiler. Cisimler bulanıklığa göre bazen daha uzaktaymış gibi algılanabilir. Berrak suda gerçekte 15-20 m uzaktaki cisimler daha yakında algılanırken, çok bulanık suda ortalama 1 m mesafedeki nesnelere daha uzakta algılanır. Orta bulanık suda ise yaklaşık 5-10 m mesafedeki cisimler daha uzakta algılanır. Genel olarak konuşmak gerekirse, cisim ne kadar yakınsa, o kadar daha yakın görünür ve su ne kadar bulanık ise aynı cisim daha uzakta algılanır.

Suyun yüzeyine ulaşan ışınlar tamamen su tarafından soğurulmaz, bir kısmı yüzeyden yansır. Yansımanın oranı, su yüzeyinin düz, çalkantılı veya dalgalı olmasına bağlı olarak değişir. Işık yansıma oranı, güneşin gökyüzündeki konumuna ve doğrudan veya dolaylı yansıma koşullarına göre farklılık gösterir. Örneğin, güneşin en yüksek olduğu saatlerde bile, doğrudan gelen güneş ışığının yansıma açısı sabit olmayıp, dalgaların eğimine bağlı olarak değişir. Ayrıca, güneş ışınlarının deniz yüzeyine belirli bir açıyla geldiği durumlarda, dalgaların arka yüzeylerinden de yansıma meydana gelebilir.

Yüzeylerin güneş ışığını yansıtma gücüne veya başka bir ifadeyle, bir yüzeyin üzerine düşen elektromanyetik enerjiyi yansıtma kapasitesine, fizikte albedo (yansıtılabilirlik) denir. Kısacası; yüzeye gelen ışın ile yüzey tarafından tutulan ışın arasındaki farka albedo olarak tanımlanır. Yani yansıtılan ışın miktarını tanımlar. Albedo, yansıtıcı yüzeyin, dokusuna, rengine ve ışının geliş açısına bağlı olarak değişir. Güneş ışınlarının suya dik girdiği öğle vakti veya yaz mevsiminde albedo değeri düşük iken, gün doğumu, gün batımı veya ışınların dünyaya düşük eğimle geldiği zamanlarda albedo yüksektir.

Işığın suda kırılması, yüzeyden yansıyan ışın a açısıyla, kırılarak suya

geçen ışın ise  $b$  açısıyla gösterildiğinde; Az yoğun ortamdan (havadan) çok yoğun ortama (suya) geçişte  $a > b$ , çok yoğun ortamdan (sudan) az yoğun ortama (havaya) geçişte ise  $b > a$  olur.

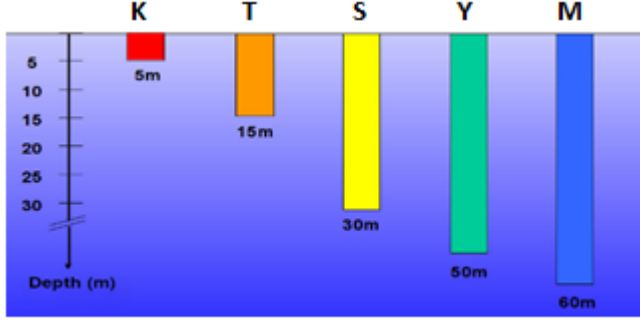


Şekil 7: Gelen Işın, Yansıyan Işın, Kırılan Işın ve Albedo (Riveros, 2019)

#### 7.4. Renkler

Deniz suyunun optik özelliği güneş spektrumunun su tarafından absorpsiyonuyla oluşur. Işınlardan soğurulması, görülebilir ışık spektrumunun kırmızı ucundaki dalga boyunun filtre edilmesi ile başlar. Su içinde derinlikle birlikte önce kırmızı renk kaybolmaya başlar. Ardından derinlik arttıkça sırasıyla turuncu, sarı, yeşil ve mavi renkler tutulmaya başlar. Yani bu sayılan renkler yavaş yavaş solarak kaybolmaya başlar. Bu renkler, dalga boylarına göre; uzun dalga boyundan (kırmızı ve ötesi), kısa dalga boyuna (mavi ve ötesi) doğru, göze ulaşmadan su tarafından soğurulmuş olur. Mavi ve tonlarındaki kısa dalga boyuna sahip ışınlar, daha derinlere ulaşır, suda daha fazla saçılabilir (yayılabildiği) için, tüm denizlerin mavi tonlarında görünmesine neden olur. Renklerin kaybolmasına veya renk özelliğini değiştirmesinde etkili olan sadece su derinliği değildir. Suyun içeriğindeki erimiş tuzlar, bulanıklığa neden olan askıdaki katı maddeler ve partiküller, renklerin emilmesini etkiler. Dalgıç ile cisim arasındaki su kütlesi arttıkça renk değişikliği kendini belli eder. Sualtıdaki birbirinden farklı canlılar, bitki örtüsü ve kayalık zemin, derinliğin artması ile birlikte birbirine benzer renklere bürünürler. Bu da görünürlük ve ayırt ediciliği zorlaştırır. Renkler kaybolmaya başladıkça, cisimlerin parlaklığındaki farklılıklar ayırt edici olarak ön plana çıkar. Kontrast ve renk

kaybı olduğu için, parlaklıkların da aynı olduğu durumlarda, büyük nesnelere bile fark edilemeyebilir (Asano vd., 2021).



**K: Kırmızı, T: Turuncu, S: Sarı, Y: Yeşil, M: Mavi**

**Şekil 8: Renklerin Su İçinde Derinliğe Bağlı Olarak, Soğurulması**

## 8. SU ALTINDA SES

Ses, bir maddedeki moleküllerin titreşimi ile oluşan, canlıların işitme organları ile algılanan, periyodik dalgalar halinde yayılan basınç değişimlerine sahip bir enerji türüdür. Fizik açısından el aldığımızda ses, mekanik düzensizliktir. Sıvılar, gazdan daha yoğun olduğundan, sesin oluşması için daha fazla enerjiye ihtiyaç duyulur. Ancak ses suda oluştuğundan sonra, havaya göre daha hızlı bir şekilde, daha uzağa yayılabilir.

Sualtında ortaya çıkan ses, havaya göre yaklaşık 4 kat daha hızlı ilerler. Havada, belirli standartlarda yaklaşık 340 m/s hızla ilerleyen ses, tatlı suda yaklaşık 1500 m/s, deniz suyunda ise yaklaşık 1600 m/s hızla yayılır. Sesin havaya göre suda bu denli hızlı olması nedeniyle, insan kulağı, her iki kulağına sesin varış zamanı arasındaki farkı algılayamaz. Sonuç olarak dalıcı, ses kaynağının yönünü belirleyemez. Bu durum, süratli bir teknenin, yerini belirleyemediği için, dalgıçlar için tehlikeli olabilir. Ses dalgalarının su içerisinde bu kadar yüksek bir hızla yayılabilmesinden ötürü, çok uzaktan geçen (örneğin 1 Nm) bir geminin çıkardığı pervane sesini çok yakınımızdaymış gibi duyarak korkuya kapılabiliriz (Hollien vd., 1986).

Sesin yayılım hızı yoğunlukla orantılı arttığı için, su soğudukça yoğunluğu ve ses iletimi artar. Soğuk sular, sıcak sularından daha derinde olduğu için derinlikle beraber sesin hızı da artar.

Ses hızı; bir ses dalgasının birim zamanda kat ettiği mesafeyle tanımlanır. Ses hızı frekansa bağlı olarak değişmez, her frekansta ses aynı hızda gider.

Deniz, yansıtıcı bir yüzey oluşturduğu için, sakin bir denizde ses normale göre çok daha ileriye yayılabilir. Hareketli bir cisim, çıkardığı sestten daha yüksek hıza çıkarsa, patlama sesi oluşur. Yani konik bir duvar yaratarak, ses hızını geçer. Bir ortamdaki cismin hızının, aynı ortamdaki ses hızına oranına Mach sayısı denir.

Suda, termoklin olarak adlandırılan sıcaklık tabakaları arasında da ses iletimi zayıflar. Termoklin tabakalar arasında sıcaklık farkı arttıkça yoğunluk farkı da artar. Yoğunluk farkının artması, tabakalar arasında ses iletim enerjisini de düşürür. Buna bağlı olarak; dalgıç, kaynağının çok yakında olduğu bir sesi, farklı bir tabakada ise duymakta güçlük çeker. Yani normalde suyun altında 100 m mesafede duyacağı bir sesi, farklı bir tabakada olduğu için birkaç m ötesinde olsa bile duymakta zorlanabilir.

Sığ sularda, koy gibi yarı kapalı veya tam kapalı denizel ortamlarda, mercan kayalıklarında suyun altında olan bir dalgıç, yankılar ve kırılmalardan dolayı, sesleri olduğundan çok daha farklı şekillerde duyulabilir. Aynı şekilde bu tür ortamlardaki dalgıçlar, akustik muhabere sinyallerinde bozulmalar ve kayıplar yaşayabilir. Sinyal frekansı arttıkça problem daha da büyüyebilir.

Açık devre SCUBA donanımı ile dalan bir dalgıç, regülatör egzozundan çıkan, hava kabarcıklarından kaynaklı, başının etrafında oluşan düşük yoğunluklu ve yüksek gürültülü hava perdesi nedeniyle, sesleri duymakta zorlanır. Aynı bölgede dalan birçok dalgıç söz konusu olduğu zaman, ortaya çıkan bu gürültülü ve yalıtkan hava kabarcıkları, dalgıcın pozisyonuna bağlı olarak bazı dalgıçların haberleşmesini daha az, bazılarınınkini ise daha çok etkileyecektir. Yaş tip neopren başlık, 1000 Hertz'in üstündeki seslerin iletiminde engelleyici bir perde oluştururken, etkisi frekans arttıkça artar. Başlığın kulak kısımlarına delikler açarak bu problem giderilebilir (Smith, 1985).

## 8.1. Basınç Dalgaları

Ses suyun içerisinde yoğunluğuna bağlı olarak, (yüksek yoğunlukta ses, yüksek yoğunlukta basınç dalgaları) yayılır. Ses dalgaları, sudan vücudun açık alanlarına ve hava boşluklarına basınç dalgaları şeklinde yayılır. Yüksek yoğunluklu dalgalar, özellikle vücudun boşlukları üzerinde yüksek basınç etkisi ile fiziksel hasarlara neden olabilir. Özellikle yüksek yoğunluklu ses dalgaları yayan, sonar ve sualtı patlayıcıları, yüksek ses ve basınç dalgası yaratır. Balıkçılıkta kullanılan alçak yoğunlukta sonar cihazları, dalgıçları tehdit edecek yoğunlukta basınç dalgaları yaratmaz ve tehlike oluşturmaz. Ancak denizaltı tespit sonarıyla donatılmış savaş gemileri, tehlikeli ve yüksek yoğunlukta ses / basınç dalgası yayarlar. Eğer dalış bölgesinde yüksek güçte bir sonar transdüseri çalışıyorsa, dalış yapılmaması gerekir. Düşük yoğunluklu el sonraları kullanırken, dalgıçların kulaklarını korumak için ¼ inç kalınlığında standart neopren başlık kullanmaları tavsiye edilir. Yapılan deneylerde, saniyede bir kez 4 milisaniye süreyle tekrarlanan ve 100 watt güce kadar ultrasonik sinyal üreten akustik kaynaklar ile dalgıç arasındaki mesafe 0,5 feet kadar olduğunda, bu tür bir başlık, yeterli korumayı sağlamakta başarılı olmuştur.

## 8.2. Sualtı Patlamaları ve Şok Dalgaları

Sualtındaki bir patlama, hidrolik şok dalgaları ve deniz yatağında sismik dalgalar yaratır. İlk yüksek yoğunluklu ve basınçlı şok dalgası en tehlikelisi olup, yüksek sıcaklık ve hacimli gazın, serbest bırakılması ile oluşur. Ardından gelen daha zayıf basınç dalgaları ise, sıkıştırılmayan sıvı ortamdaki gazın genleşmesi ile oluşur. Gaz su yüzeyine yaklaştıkça, genleşme ile etkisi gücünü artırır. Patlama merkezinden uzaklaştıkça gücün etkisi azalır. Patlamanın ardından bir süre sudaki türbülans ve benzeri hareketler oluşur (Salazar vd., 2020).

Patlayıcılar, yakın çevrelerinde yıkıcı etkiler oluşturmak veya uzak hedeflerde yıkıcı sonuçlar elde etmek amacıyla farklı şekillerde tasarlanıp üretilmektedir. Yıkıcı etkisi yüksek olan patlayıcılar, genellikle dar bir alanda, kısa mesafelerde, ani ve güçlü şok dalgaları üreterek kırma ve yıkma işlemleri için tercih edilir. Gücü yüksek ancak kırıcı etkisi düşük patlayıcılar, daha zayıf

ama daha uzun süreli şok dalgaları yaratarak, çok yakın olmayan geniş alandaki hedeflerin imhasında (su bombası ve mayınlar gibi) kullanılır.

Sığ sularda yerleştirilen patlayıcılar, kaya veya diğer dip elemanlarını su içinde hareket ettirebilir ya da su dışına fırlatabilir. Ayrıca, dip koşulları, patlamadan kaynaklanan basınç dalgalarının yayılmasını ve etkilerini değiştirebilir.

Patlamanın gerçekleştiği sualtı dip yapısının sert kayalık zemin oluşu, oluşan şok dalgalarının yansıtılması ve etkisinin artırılmasını sağlarken, yumuşak kum bir zemin şok ve basınç dalgalarını emerek zayıflatır. Aynı zamanda dip topografyası, şok ve basınç dalgalarının yönüne ve yansıma ile ikinci bir dalga oluşumuna etki yaratabilir.

Suda nötr yüzerlikte asılı sabitlenen patlayıcıların ortaya çıkardığı şok dalgaları, kayalık bir zemin içine yerleştirilmiş patlayıcıların şok ve basınç dalgalarından daha büyüktür. Aynı mantıkla bakıldığında, açık ve derin sudaki patlayıcıların yıkıcı basınç dalgalarının etkisi, sığ sudaki patlamanın etkisinden daha zayıf kalır.

Patlamadan kaynaklı basınç ve şok dalgaları, genel anlamda suyun içindeki dalgıçların tüm vücudunu olumsuz etkiler. Sudaki patlama etkisi vücudun su dışında kalan kısmını fazla etkilemez. Bu nedenle, patlamanın etkilerini minimize etmek amacıyla, özellikle insan vücudunun baş ve üst beden kısmını suyun dışında tutmak, şok ve basınç dalgalarının akciğerler, kulaklar ve sinüsler üzerindeki zararlarını azaltabilir. İnsan vücudunun patlamadan en fazla etkilenecek kısımları, baş, akciğerler ve bağırsaklardır. Yaklaşık 500 psi (34 bar) gücünde bir basınç dalgası, akciğer ve bağırsaklarda ciddi zararlara neden olurken (bazen ölüme de neden olabilir), 2000 psi (136 bar) ve üzerindeki bir basınç dalgası ise, insan yaşamına kesin olarak son vermeye yeterlidir (Xue vd., 2018).

Olası bir sualtı patlaması durumunda, dalgıcın mümkünse sudan çıkması ve patlamanın etki alanından uzaklaşması gerekmektedir. Eğer dalgıcın sudan çıkma imkânı yoksa veya suda kalması gerekiyorsa, patlamadan kaynaklanan basıncın 50 psi'nin altına düşürülmesi zorunludur. Etkileri en aza indirmek için, dalgıç patlamanın yönüne karşı ayaklarını, başını ise tam tersine yönlendirecek



şekilde pozisyon alabilir. Ayrıca, baş ve vücudun üst kısmı suyun dışında kalmalı ya da sırtüstü yüzerek baş kısmı dışarıda kalacak şekilde hareket etmelidir (Na vd., 2014).

TNT (trinitrotoluen) patlamalarından kaynaklanan basınç dalgalarının şiddetini tahmin etmek için çeşitli formüller bulunmaktadır. Bu formüller birbirinden farklı olup, sonuçlar çoğunlukla tahmini bir yaklaşım içerir. Ayrıca, bu formüller yalnızca TNT gibi patlayıcılar için geçerlidir ve diğer patlayıcılara uygulanamaz. Aşağıdaki formül, tetril veya TNT patlamalarından kaynaklanan basınç dalgasının dalgıç üzerinde oluşturduğu hasarı hesaplamak için kullanılan bir yöntemdir (Frey vd., 1982).

$$P = (13.000 \sqrt[3]{W}) / r$$

P: Dalgıç üzerindeki basınç (libre/inç<sup>2</sup>)

W: Patlayıcının ağırlığı, TNT (libre)

r: Dalgıcın patlayıcıdan olan mesafesi (feet)

### 8.2.1. Örnek Problem

50 libre ağırlığındaki ve 100 feet uzaklıktaki bir patlayıcının oluşturduğu basıncı hesaplayınız.

$$P = (13.000 \sqrt[3]{W}) / r$$

$$P = (13.000 \sqrt[3]{50}) / r$$

$$P = (13.000 \times 3,68) / 100$$

$$P = 47.840 / 100$$

$$P = 478 \text{ psi yaklaşık } 500 \text{ psi basınç dalgası}$$

Yorum: Dalgıç, yaklaşık 500 psi güçte basınç dalgasına maruz kaldığı için akciğer ve bağırsakları ciddi zarar görecektir olup, yaşamını yitirmesi söz konusu olabilir.

## 9. SU ALTINDA ISI ve SICAKLIK

Öncelikle sıcaklık ve ısı kavramlarının kullanımında sık olarak yapılan hatayı düzelterek, konuya açıklık getirelim. Sıcaklık ve ısı aynı şey değildir. Gündelik yaşamda aynı anlamda kullanılsalar da fizik biliminde iki kavram birbirinden farklıdır.

Sıcaklık, bir cismin sıcaklık derecesinin ya da soğukluk seviyesinin ölçüsüdür. Sıcaklığı duyularımızla algılar ve sıcak veya soğuk kelimeleri ile ifade ederiz. Sıcaklık, maddenin genleşme özelliğinden faydalanılarak çalışan termometreler ile ölçülerek, derece olarak ifade edilir. Bir cismin, çevresine enerji verebilme eğiliminin ölçüsüdür. Çevresine veya temas ettiği bir başka cisme enerji (ısı) verebiliyorsa sıcaklığı yüksektir. Farklı iki sıcaklıktaki cisim birbirine temas ediyorsa, temas ettiği sürece, sıcaklıkları eşitleninceye kadar, sıcak olandan soğuk olana bir ısı transferi (enerji) gerçekleşir. Yani sıcak olan cisim ısı kaybederek soğurken, soğuk olan cismin ısı kazanarak sıcaklığı yükselir. Sıcaklık, enerji değildir.

Yani özetlersek; sıcaklık, bir maddenin ısı durumu hakkında fikir veren, ısı transferine neden olan etkidir.

Isı; direkt olarak değil, sıcaklık aracılığı ile ölçülür. Birimi joule (j) ve kalori (cal) olup, kalorimetre ile ölçülür. 1 kalori = 4,18 joule eşittir. Maddenin sıcaklığını değil, temas ettiği çevresine veya başka bir cisme aktardığı veya aldığı enerjiyi temsil eder. Isı bir maddenin moleküler hareketi sonucu ve bu harekete orantılı olarak oluşan bir enerji çeşididir. Farklı maddeler sıcaklıkları aynı olsa bile aynı ısı enerjisine sahip değildir. Sıcaklıkları aynı olan iki cisim arasında ısı (enerji) aktarımı olmaz. Farklı iki sıcaklıktaki cisim birbirine temas ediyorsa, temas ettiği sürece, sıcaklıkları eşitleninceye kadar, sıcak olandan soğuk olana enerji aktarımı gerçekleşir. Isı, bir maddeyi oluşturan atomların toplam kinetik enerjisi olarak tanımlanır ve bu tanım, maddenin her hali (katı, sıvı, gaz) için geçerlidir. Özellikle gazlar söz konusu olduğunda, bu kinetik enerji, mutlak sıcaklıkla doğru orantılıdır.

Isı özellikle sıcakkanlı canlıların çevreye uyumu için yaşamsal bir öneme sahiptir. İnsanın normal yaşamsal fonksiyonlarının yerine getirebilmesi için gerekli olan sıcaklık aralığı oldukça sınırlıdır. İnsanoğlu, vücut sıcaklığını

koruyabilmek için kendi iç fizyolojik mekanizmaları ile donatılmış olup, bu mekanizmaların yeterli olmadığı yerde fiziksel olarak örtünerek korunur (Gerth vd., 2007).

Isı birçok şekilde üretilebilir. Yanan yakıtlar, kimyasal reaksiyonlar, sürtünme ve elektrik hepsi ısı üretirler. Isı bir yerden başka bir yere iletim (kondüksiyon), yayılma (konveksiyon) ve ışıma (radyasyon) yollarıyla taşınır.

## **9.1. Isının Taşınımı**

### **9.1.1. İletim (Kondüksiyon)**

Isının cisimler veya ortamlar arasındaki direkt temasıyla gerçekleşen taşınımıdır. Su, havaya göre yoğunluğundan ötürü, çok iyi bir iletken olup, kondüksiyon yoluyla enerji aktarımında çok etkilidir. Bu nedenle su ortamındaki bir dalgıç, eğer bir koruyucu elbise giymediyse, vücut sıcaklığı hızlı bir şekilde su ortamına aktarılır. Su ortamının sıcaklığı ne kadar düşükse, vücudun ısı aktarımı (kayıbı) da o denli hızlı olur. Sıcak olduğu düşünülen tropik sularda (30 °C ve üzeri) bile, adaptasyon ve vücut yağ oranına bağlı olarak değişmekle birlikte, yaklaşık 3-6 saatten sonra hipotermi belirtileri görülebilir.

### **9.1.2. Yayılma (Konveksiyon)**

Isının, ısınmış akışkanların (sıvı ve gaz) hareketiyle transfer edilmesidir. Su içindeki bir dalgıcın tenine temas eden soğuk su, vücudundan ısı alarak yükselirken, yerine alttan gelen daha soğuk su, vücuda temasını ve ısı alımını aralıksız şekilde devam ettirir. Bu çevrim, dalgıcı içine alarak devam ettiği için, dalgıçta bir süre sonra üşümeye neden olacak kadar ısı kaybı gerçekleşir. Evlerimizdeki kalorifer petekleri de sıcak havanın yükselmesi mantığıyla ısı transferine aracılık ederek, evlerimiz ısıtır.

### **9.1.3. Işıma (Radyasyon)**

Enerjinin elektromanyetik dalgaları aracılığı ile taşınımıdır. Yukarı kısımlarda da belirttiğimiz üzere ısı, sıcak cisimlerden, soğuk cisimlere doğru taşınır. Aynı mantıkla sıcak her cisim, soğuk cisimler ve ortamlar tarafından emilen elektromanyetik enerji dalgaları yayarlar. Güneş bu konudaki en büyük

örnek iken, elektrikli ısıtıcılar veya ateş de buna örnek gösterilebilir. Su altındaki dalgıcın ısı kaybetmesinde çok etkin olmasa da bu tip taşınım maruz kalınır.

## 9.2. Isı Kaybından Korunma

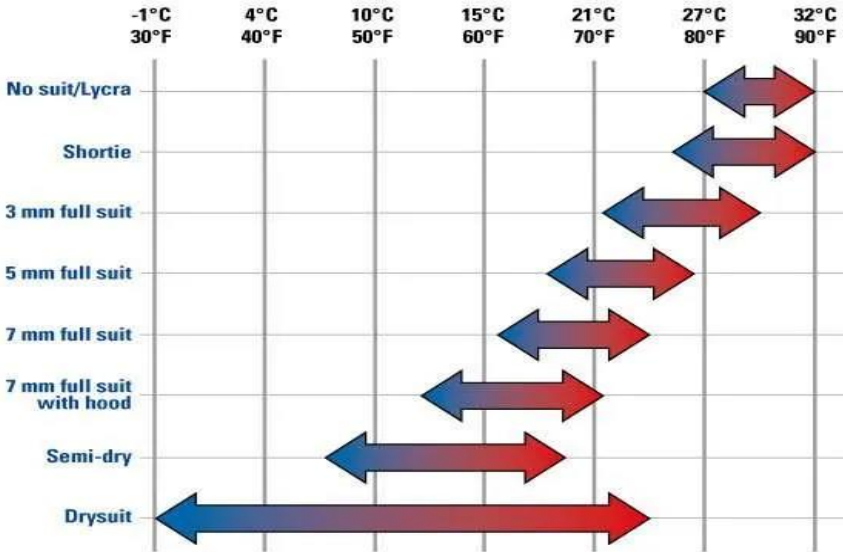
İnsan vücudu fizik kuralından kaçamaz. Yaklaşık 37,5 derece olan vücut sıcaklığı, bu derecenin altındaki tüm sularda, sıcaklık farkı ile orantılı hızda ısı kaybedecektir. Bu ısı kaybı, sonu ölümle bitse de vücut sıcaklığı ile su sıcaklığı eşitleninceye kadar devam edecektir. İnsan vücudun bir koruma mekanizması olarak, kaybettiği ısıyı telafi etmek için çeşitli metabolik işlemlerle elde etmeye, üretmeye çalışır. Ancak su ortamının sıcaklığının, vücut sıcaklığının 10-15 derece altında olması, yani su sıcaklığının 25 derecenin altında olması, korumasız dalgıcın metabolik ısı üretim ile ısı kaybını telafi etmesi mümkün değildir. Yani dalgıcın vücudu, üreteceğinden daha fazla ısıyı suya verir.

Sualtıdaki dalgıcın ısı kaybetmesindeki en etkili ısı transfer yöntemi, iletim yani kondüksiyondur. Bir dalgıç için ısı kaybının önlenmesinde iki önemli husus vardır. Bunlar; suyun sıcaklığı ve koruyucu elbisenin termal izolasyon (yalıtım) özelliğidir (kalınlığı, materyali). Bilindiği üzere, bütün malzemeler ısıyı aynı oranda iletmez. İletkenlik özelliği önemlidir. Isı kaybını önlemek için, vücudun yalıtım yeteneği yüksek (iletim özelliği düşük) malzemelerden üretilmiş elbiselerin kullanımı önem taşır. Su mükemmel bir iletken iken, hava kötü bir iletkenidir. Tabii ki hava da kendi içinde ayrılmalıdır. Örneğin Helyum iyi bir iletken iken, Argon çok daha kötü bir iletkenidir, yani Helyuma göre yalıtım özelliği çok daha yüksektir. Dalgıcın kendi sıcaklığını koruması için, ısı iletim özelliği düşük, yalıtım özelliği yüksek materyallerden üretilmiş sıkıştırılmış hava kabarcıklı elbiseler (neopren) veya elbise ile vücudu arasına Argon gibi gazlar kullanarak, dış ortamdan vücudunu izole etmelidir. Vücudun ısı kaybı sadece, suyun vücut yüzeyi ile temasından değil, aynı zamanda solunan gazların termal iletkenliği nedeni ile de yaşanır.

Dalış derinliği arttıkça, kullanılan koruyucu elbisenin sıkışmadan dolayı izolasyon özelliğini kaybetmesi, solunan gazlar ve yoğunluğunun artması ile solunum yoluyla ısı kayıpları da dikkate alınması gereken konulardır. Bu durumda farklı elbise ve gaz donanımları veya satıhtan ısıtma destekli donanımları kullanmak gerekebilir. Gazların ısı transfer özellikleri basınç ve

dolayısı ile yoğunluklarıyla doğrudan orantılıdır. Soluma gazı olarak Helyum ve Oksijen gibi termal iletkenliği yüksek gazların kullanılması, dalgıcın ısı kaybına neden olur. Helyum ve Oksijen solunan dalışlarda, 1 Ata basınçta solunum yoluyla ısı kaybı, vücudun ısı üretim kapasitesinin %10' u kadar, 7 Ata basınçta %25 ve 21 Ata basınçta %50'si kadar artar. Bu şartlar altında vücudun sıcaklığını korumak için standart yalıtım materyalleri yetersiz kalır, vücudu ve solunum gazını ısıtmak gerekir (Watkins, 1984).

Unutmamalıdır ki; üşüyen bir dalgıç verimli çalışamaz, mantıklı düşünemez ve dekompresyon hastalığına daha yatkındır.



Şekil 9: Su Sıcaklığına Göre Koruyucu Elbise Seçimi (Ducharme vd., 1998)

## 10. DALIŞTA BASINÇ

Bir yüzeye dik olarak etki eden kuvvetin birim alana düşen miktarına basınç denir. Katılar, sıvılar ve gazlar, buldukları yüzeylere basınç uygularlar. Birim yüzeye etki eden dik kuvvet basınç olarak tanımlanırken, yüzeyin tamamına etki eden dik kuvvet ise Basınç Kuvveti olarak adlandırılır. Sert maddeler, yerçekimi doğrultusunda üzerine kondukları yüzeylerde basınç oluştururken, sıvılar buldukları kabın tabanına ve yanlarına basınç uygularlar. Gazlar ise, kaplarının her yönüne doğru basınç uygularlar.

İnsan vücudu iç basınç ile dış basınç arasındaki farkın çok küçük olması

veya eşitliğin sağlanması halinde hayati faaliyetlerine devam edebilir. Gerek havada gerek suyun altında gerekse de soluduğu havada basınç eşitliğinin muhafazası mutlaka sağlanmalıdır.

Sualtında basınç; suyun ağırlığı ve suyun üzerindeki atmosfer tabakasının ağırlığı ile ortaya çıkar. Dalgıç, üzerindeki su kütesinin ağırlığı ve suyun üzerindeki havanın ağırlığı kadar bir kuvvetin altında, basınca maruz kalır.

Dalgıç üzerinde en etkili basınç türü hidrostatik basınçtır. Okyanusların 11.000 metre derinliğinde, su sütununun ağırlığı nedeniyle basınç 1100 kg/cm<sup>2</sup>'ye kadar çıkabilir. Bu basınç, suyun derinliğinden kaynaklanan ve suyun kendi ağırlığıyla oluşan hidrostatik basınç olarak tanımlanır.

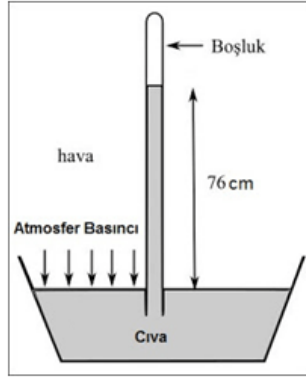
Deniz suyu için 33 feet (fsw) veya tatlı su için 34 feet (fw veya ffw) derinlik, ya da 10,33 metre (10,33mss, yaklaşık 10 mss kabul edilir) derinlikte, suyun basıncı 1 atmosfer olarak kabul edilir. Bu derinlikteki su basıncı ile atmosferik basıncın toplamı ise 2 atmosferlik bir mutlak basınç oluşturur. Hidrostatik basıncı hesaplamak için her 33 feet derinlik için 1 atmosferlik basınç (yaklaşık 14,7 psi) eklenir. Örneğin, 66 feet derinlikte hidrostatik basınç 2 atmosfer olurken, toplam mutlak basınç ise 3 atmosferdir. Derinlikle birlikte artan bu basınç etkisi vücutta hissedilmeye başlar. Vücut boşluklarının bu basınca göre eşitlenmesi gerekir. Su altında ayakta duran bir dalgıcın ayağına uygulanan basınç, başına uygulanan basınçtan 2,5 psi daha fazladır.

İmperial sistemde birimi psi (libre/inc<sup>2</sup>) (pounds per square inch), uluslararası sistemde (SI) N/cm<sup>2</sup> (Newton per square centimetre)'dir. Çoğunlukla santimetrekareye etki eden kilogram cinsinden kuvvet (kg/cm<sup>2</sup>) olarak ifade edilir ve kısaca "bar" ya da "atm" olarak yazılır.

## 10.1. Basınçla İlgili Diğer Birimler

### 10.1.1. mmHg (Torr)

0 °C'de, 1 mm yüksekliğindeki cıva sütununun tabanına uyguladığı basınca bir torr denir.



**Şekil 10:** Toricelli Deneyi (West, 2012.)

Evangelista Torricelli, İtalyan bir fizikçi ve matematikçi olarak, barometre üzerinde yaptığı çalışmalar sırasında açık hava basıncını keşfetmiştir. Deneyinde, 1 metre uzunluğundaki bir cam boruyu cıva ile doldurup, hava aldırılmadan ağzını kapatarak, boruyu cıva dolu bir kaba ters çevirerek daldırmıştır. Tüpün ağzını açtığı anda, deniz seviyesinde ve 0 °C'de cıva seviyesinin 76 cm olduğunu gözlemlemiştir. Bu deney, açık hava basıncının 0 °C'de 76 cm Hg (Cıva) olduğunu göstermiştir. Deneyin sonucunda cıva seviyesinin, borunun şekli ve kalınlığına bakılmaksızın değişmediği görülmüştür. Eğer Torricelli su kullanmış olsaydı, suyun yoğunluğunun daha düşük olması nedeniyle tüpteki su seviyesinin yaklaşık 10,5 metreye kadar yükseldiği gözlemlenirdi. Bu keşif, cıva sütunu kullanılarak yapılan basınç ölçümleri için "torr" biriminin adının verilmesine yol açmıştır. Ayrıca, Torricelli'nin yasası, bir kaptaki sıvının çıkış hızını, sıvının yüksekliğiyle ilişkilendiren önemli bir akışkanlar dinamiği yasası olarak bilinir.

$$1 \text{ Torr} = 1 \text{ mmHg}$$

Açık Hava Basıncı = Atmosfer Basıncı = 1 atm = 760mmHg olarak kabul edilir.

Not: Sualtı fiziğinde, düşük basınçların ifade edilmesinde mmHg birim yaygın olarak kullanılır. Yüksek basınç uygulamalarında birim olarak mutlak atmosfer (ata) tercih edilirken, 1 atmosferden düşük basınçlar için psi birimi, 0,1 atmosfer değerinden düşük basınçlar için ise genellikle milimetre cıva (mmHg) basınç birimi kullanılır.

### 10.1.2. mmSS

+4 °C'de, 1 mm yüksekliğindeki su sütununun tabanına uyguladığı basınç, 1 mmSS (milimetre su sütunu) olarak kabul edilir.

Metrik sistemde, yaklaşık 10 mSS 1 Bar olarak tanımlanır.

Msw'dan fsw'a basınç çevirmek istenirse;

$$10 \text{ msw} = 32.6336 \text{ fsw}$$

$$10 \text{ m} = 32.80083 \text{ feettir.}$$

Veya

$$33 \text{ fsw veya } 34 \text{ fw (ffw)} = 10,33 \text{ m} = 10,33 \text{ mss}$$

Pratikte rakamlar yuvarlanır.

### 10.1.3. Pascal (Pa)

Adını Fransız bilim adamı Blaise Pascal'dan alan birim, SI (Uluslararası Sistem) basınç birimidir. "Pa" ile simgelenen 1 pascal basınç birimi, bir metrekairelik alan üzerine etkiyen bir Newtonluk kuvvet olarak ifade edilir.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

$$1 \text{ Bar} = 100.000 \text{ Pa} = 1000 \text{ kPa}$$

$$1 \text{ N yaklaşık } 0,1 \text{ kg}$$

$$10 \text{ N Yaklaşık } 1 \text{ kg}$$

### 10.1.4. Barometrik Basınç

Barometrik basınç, atmosferin cıva sütununa karşı oluşturduğu direnç olarak tanımlanır ve hava koşullarına bağlı olarak değişkenlik gösterebilir. Bu basınç, atmosferik basınçla benzer bir tanıma sahip olmakla birlikte, hava durumuna göre küçük değişiklikler gösterebilir.

Deniz seviyesindeki barometrik basınç genellikle çok büyük dalgalanmalara uğramaz. Şimdiye kadar kaydedilen en yüksek değer, Sibirya'da 1084 mb, en düşük değer ise Güney Pasifik'teki bir tayfunda 877 mb



olarak ölçülmüştür. Bu küçük basınç farkları, Dünya üzerindeki fırtına ve rüzgarların oluşumunu etkileyen önemli bir faktördür.

Standart barometre basıncı, 1 atmosfer basıncı ile eşdeğer olup, 760 mmHg, 29,92 inç cıva veya 1013 milibar olarak kabul edilir. "Bar", 100.000 Pa (Pascal) olarak tanımlanan bir basınç birimidir. Bu birim, 1 cm<sup>2</sup> yüzeye dik olarak uygulanan 1 kg'lık kuvvetin yarattığı basınç ile yaklaşık olarak deniz seviyesindeki atmosfer basıncına eşittir.

1 Bar = 0,98 Atm yaklaşık 1 Atm olarak kabul edilir.

1 Atmosfer = 1,013 Bar = 1013 yaklaşık 1 Bar olarak kabul edilir.

1 Bar = 1000 mbar

### 10.1.5. Psi

Pounds per square inch. İmperial (ingiliz) ağırlık ve uzunluk sistemindeki birimlerden oluşmuştur. İnçkare alan başına 1 paundluk ağırlığın oluşturduğu kuvvet, 1 psi basınca eşittir. Buradaki paund, libre ile aynı olduğu için birim olarak gösteriminde; lbf/in<sup>2</sup> kullanılır. Dahısta yaygın olarak kullanılan bir basınç birimidir. Sualtı fiziğinde, yüksek basınç uygulamalarında birim olarak mutlak atmosfer (ata) tercih edilirken, 1 atmosferden düşük basınçlar için genellikle Psi birimi, 0,1 atmosfer değerinden düşük basınçlar için ise genellikle milimetre cıva (mmHg) basınç birimi kullanılır.

1 psi, yaklaşık olarak 6895 N/m<sup>2</sup>'ye eşittir.

1 psi = 0,068 Bar = 0,68 Atm yaklaşık 0,07 kabul edilir.

1psi = 0,07 At

1 Bar = 14,5 psi pratik kullanımda yaklaşık 15 kabul edilir.

### 10.1.6. Teknik Atmosfer (At)

1 cm<sup>2</sup> 'lik alan üzerine dik olarak etki eden, 1 kp (kilopascal)'lık kuvvetin (yaklaşık 1 kg kabul edilebilir) bu alanda oluşturduğu basınç bir teknik atmosfer olarak tanımlanmıştır. Bir SI birimi değildir. Dalısta kullanılmayan bir birim olmasına rağmen, bazı kaynaklarda okuyucunun karşısına

çıkabileceği ihtimaline karşın, bilgi olarak verilmiştir.

$$1 \text{ At} = 1 \text{ Bar} = 0,98 \text{ Atm} = 98,0665 \text{ kPa}$$

Yaklaşık değerler alınırsa

$$1 \text{ At} = 1 \text{ Bar} = 1 \text{ Atm} = 100 \text{ KPa} = 760 \text{ mmHg} = 10 \text{ mSS}$$

### 10.1.7. Atmosferik Basınç (Atm)

Açık hava basıncı, atmosferik basınç veya barometrik basınç, Dünya yüzeyinde, belirli bir alana dik olarak etki eden atmosfer kolonunun oluşturduğu kuvveti ifade eder. Bu basınç, genellikle civalı barometreler veya sıvısız aneroid barometreler aracılığıyla ölçülmektedir.

Deniz seviyesindeki atmosfer basıncı, genellikle büyük değişimlere uğramaz ve sabit bir değerde kalır. Bununla birlikte, yükseklik arttıkça atmosfer basıncı azalır; her 30 metrede yaklaşık 3,5 mb'lik bir düşüş gözlemlenir. 1500 ila 3000 metrelik yüksekliklerde, atmosfer basıncının düşmesi, irtifa hastalığı ve diğer fizyolojik problemleri tetikleyebilir. Bu nedenle, yüksek irtifalarda iklime uyum sağlamak için çeşitli tekniklerin uygulanması gerekebilir.

Deniz seviyesindeki 0 °C sıcaklığındaki atmosferik basınç, 760 mmHg olarak ölçülmüş ve bu değeri 1 atmosfer olarak kabul edilmiştir. Hava durumu kaynaklı küçük değişiklikler genellikle ihmal edilebilir düzeydedir. Atmosferik basınç, her yöne etki eden bir kuvvet olduğundan, dalış uygulamalarında da dikkate alınması gereken önemli bir parametredir. Özellikle yüksek irtifa dalışlarında, atmosferik basınç hesaplamalarının doğru yapılması, dalgıçların güvenliği açısından kritik bir öneme sahiptir (Mcknight, 1996).

Atmosfer basıncının ifadesinde kullanılan birimler, ülkelere ve kullanım amacına göre farklılık gösterebilir. Bu birimler arasında en yaygın olanlar şunlardır:

Milimetreciva (mmHg veya torr)

İnçkareye etki eden pound (psi)

Bar, Milibar (mb)

Standart atmosfer (atm)

Paskal (kilopaskal veya hektopaskal)

Deniz seviyesindeki standart atmosfer basıncı;

10 N/cm<sup>2</sup>, 14.7 psi, 1 mutlak basınç (ata), 760 mmHg, 1013,25 mb, 101,325 kpa.

1 Atm = 760 mmHg = 760 Torr

1 Atmosfer = 1,013 Bar yaklaşık 1 Bar olarak kabul edilir.

1 Bar = 0,98 Atm. yaklaşık 1 Atm olarak kabul edilir.

1 At = 1 Bar = 0,98 Atm = 98,0665 kPa

1 Atm = 33 fsw = 34fw (yoğunluk farkından dolayı yaklaşık değerdir)

1 Atm = 14,7 psi pratikte yaklaşık 15 psi kabul edilir.

Yaklaşık değerler alınır

1 At = 1Bar = 1Atm = 15 psi = 100kPa = 760mmHg = 10.000mmSS  
=10mSS = 33fsw = 34 fw

### 10.1.8. Atü (Geyç Basıncı)

Atmosfer üstü veya bağıl basınç, genellikle manometrik gösterge basıncı olarak tanımlanır ve atmosfer basıncının etkisi dışında kalan, sadece sistemdeki ek basıncı ölçen bir değeri ifade eder. Deniz seviyesinde, atmosferik basınç, manometrelerin gösterdiği değerin sıfır olduğu noktadır. Bu, sualtı dünyasında "geyç basıncı" terimiyle eşdeğerdir. Geyç basıncı, mutlak basınçtan atmosferik basıncın çıkarılmasıyla elde edilen değerdir.

Basınç ölçüm cihazlarının çoğu, ölçme noktasını atmosfere açık tuttuğundan, sıfır değeri gösterir. Bu tür cihazlar, gösterge basıncını verir. Örneğin, bir manometre veya basınç göstergesi, ortamın atmosferik basıncını göz önünde bulundurmaz ve sadece cihazın ölçtüğü, atmosfer basıncına eklenen basıncı gösterir. Bu durum, cihazın basınç ölçümünde atmosferik basıncın etkisini dışlar ve "geyç basıncı" olarak adlandırılır. Bu tür bir gösterge, genellikle dalış gibi uygulamalarda yeterlidir çünkü çevresel atmosferik basıncın zaten sabit olduğu kabul edilir.

Deniz seviyesinde atmosferik basınç, 1 atmosfer (atm) olarak kabul edilirken, bağıl basınç ya da geyç basıncı bu seviyede sıfır olarak ölçülür. Ancak sualtında, örneğin 10 metrelik bir derinlikte, bağıl basınç (geyç basıncı) 1 atm değerine ulaşır. Bu durumda, atmosfer basıncına ek olarak suyun sağladığı ek basınç da ölçülür.

Dalış uygulamalarında sıklıkla kullanılan psi (pound per square inch) birimiyle ifade edilen basınç ise, genellikle geyç basıncı olarak kabul edilir ve bu değeri belirtmek için "psig" (pound per square inch gauge) kullanılır. "Psi" tek başına kullanıldığında da, bağıl basınç (geyç basıncı) olduğu anlaşılmalıdır.

### 10.1.9. Mutlak Basınç (Ata)(psia)

Mutlak basınç, sıfır basıncın (vakum ortamı veya uzay gibi) temel alındığı bir referansa dayalı olarak ölçülen basınçtır. Bu tür bir basınç, mutlak sıfır noktasında, yani basıncın tamamen yok olduğu ortamda ölçülür. Mutlak basınç, tüm atmosferik etkilere ve dış koşullara bağılı olmayan bir ölçüm sağlar. Bir başka deyişle, mutlak basınç, basıncın yokluğu olarak kabul edilen mutlak sıfır noktasına göre yapılan ölçümlerdir.

Gösterge veya bağıl basınç ise, atmosferik basıncın üzerinde ölçülen basınçtır. Bu tür bir basınç, belirli bir ortamda ölçülen basınç ile o ortamın atmosferik basıncı arasındaki farkı gösterir. Bağıl basınç, genellikle cihazlarda gösterilen değerdir ve çevresel atmosfer koşullarına bağılı olarak değişebilir.

Bazı basınç ölçüm cihazları, mutlak sıfırı referans alacak şekilde tasarlanmıştır. Bu cihazlar, ortamın atmosferik basıncına maruz kaldıklarında yaklaşık 14.7 psi (100 kPa) civarında bir okuma verirler. Bu okuma, atmosferin basıncı dahil olmak üzere tüm dış etkilere karşı, mutlak basınç olarak kabul edilir. Mutlak Basınç = Bağıl basınç (ortam basıncı) + Atmosferik Basınç

$$Ata = Atü + Atm \text{ veya Bar}$$

Yukarıdaki eşitlik, psi cinsinden ele alındığında aşağıdaki gibi de kurulabilir;

$$psia = psig + psi$$

Kapalı kapların basıncından bahsederken Atm daha doğrudur.

Açık hava basıncından bahsederken Bar daha doğrudur.

**Tablo 10:** Sıklıkla Kullanılan Basınç Birimlerinin Karşılaştırması

Atmosfer	Bar	10 N/cm <sup>2</sup>	Psi
1	0,0132	1,0333	14,696
0,9869	1	1,0197	14,5032
0,9678	0,9806	1	14,2234
0,0680	0,0689	0,0703	1

**Tablo 11:** Su Derinliğine Göre Atmosferik Ve Mutlak Basınç Değerleri

Su Derinliği fsw/m	Atmosferik Basınç Atm / psi	Hidrostatik (Geyç) Basınç Atm / psi	Mutlak Basınç ata/psia
0 / 0	1 atm / 14,7psi	0 / 0	1 ata /14,7 psi)
33 / 10	1 atm / 14,7psi	1 / 14,7psi	2 ata /29,4 psi
66 / 20	1 atm / 14,7psi	2 / 29,4 psi	3 ata /44,1 psi
99 / 30	1 atm / 14,7psi	3 / 44,1 psi	4 ata /58,8 psi
-	-	-	-

Atm ve psi cinsinden mutlak basınç hesaplamayı formüllerle ifade edersek aşağıdaki gibi denklemler elde ederiz:

$$P_{ata} = (\text{Derinlik (fsw)} + 33) / 33 \text{ veya } (\text{Derinlik (fsw)} / 33) + 1$$

$$P_{ata} = (\text{Derinlik (m)} + 10) / 10 \text{ veya } (\text{Derinlik (m)} / 10) + 1$$

$$P_{ata} = (\text{Basınç (psig)} + 14,7) / 14,7 \text{ veya } (\text{Basınç (psig)} / 14,7) + 1$$

$$P_{psia} = P_{psig} + 14,7$$

$$P_{psia} = (P_{atm} \times 14,7) + 14,7 \text{ veya } (P_{atm} + 1) \times 14,7$$

$$\text{Derinlik (fsw)} = (P_{ata} - 1) \times 33$$

$$\text{Derinlik (fsw)} = \text{Ppsig} / 0,445$$

$$\text{Ppsig} = \text{Derinlik (fsw)} \times 0,445$$

$$\text{Ppsig} = (\text{Pata} - 1) \times 14,7$$

## 11. SUYUN KALDIRMA KUVVETİ

Suyun kaldırma kuvveti; batmama kuvveti, yüzme kuvveti, yüzdürme kuvveti, sephiye, batmazlık gibi kelimelerle günlük hayatta da karşımıza çıkmaktadır. Hava ve su gibi akışkanlar, içindeki cisme ağırlığının karşı yönünde bir kuvvet uygularlar. Bu olay su için, kaldırma kuvveti olarak ifade edilir.

Herhangi bir akışkan içindeki basınç, derinlikle orantılı olarak artar. Cismin daha derinde kalan kısımları daha fazla basınca maruz kalırken, daha yüzeye yakın kısımları daha az basınca maruz kalırlar. Aradaki basınç farkı, akışkan tarafından cisme yukarı doğru bir kuvvet uygulanmasına neden olur. Uygulanan kuvvetin büyüklüğü, cismin kapladığı hacimde bulunması gereken akışkanın ağırlığına eşittir. Yani cisim, akışkanın yerini işgal eden, cismin hacmi kadarlık bir akışkan ağırlığı (akışkanla yer değiştiren ağırlık) kadarlık bir kuvvetle yukarı doğru itilir. Kütle/hacim oranı, akışkan yoğunluğundan fazla olan cisimler batarken, bu oran akışkanın yoğunluğundan düşük olan cisimler ise yüzerler. Örneğin demirin yoğunluğu sudan daha ağırdır ve batar. Ancak, demirin kütlesi şekillendirilerek hacimsel olarak büyütülürse, yani sıvı içindeki kapladığı hacmi, kütesinden daha büyük olacak form kazandırılırsa, cisim yüzebilir bir pozisyona geçecektir. Gemiler bunun için en iyi örnektir. Bir başka ifadeyle; metal bir geminin yapı materyali olan demirin yoğunluğunun değiştiremeyiz ancak demirden elde edilecek metal geminin genel kütle yoğunluğunu düşürecek şekilde, hacmini akışkanın yerini alacak kadar büyütürsek, yoğunluğu düşecek ve yüzecektir.

Yunan matematikçi Arşimet, M.Ö. 2. yüzyılda sıvılarla ilgili yaptığı çalışmalarla ünlüdür. Arşimet, bir cismin sıvıya tamamen veya kısmen batması durumunda, cismin sıvı tarafından taşıdığı suyun ağırlığı kadar bir kuvvetle yukarı doğru itildiğini keşfetmiştir. Bu durum, tüm sıvılar ve cisimler için geçerlidir ve Arşimet Kanunu olarak bilinir.

Bu kanuna göre, bir cismin yüzerliği, cismin taşıdığı sıvının ağırlığı ile cismin kendi ağırlığının farkı ile belirlenir. Eğer taşırılan sıvının ağırlığı, cismin ağırlığından daha büyükse, cismin üzerine etkiyen kaldırma kuvveti pozitif olur ve cisim yüzeye çıkar. Eğer iki kuvvet birbirine eşitse, cismin denge durumu nötr olur ve cisim sıvı içinde asılı kalır. Eğer taşırılan sıvının ağırlığı cismin ağırlığından küçükse, kaldırma kuvveti negatif olur ve cisim batar.

Kaldırma kuvvetinin hesaplanmasında, akışkan sıvının yoğunluğu (özgül ağırlığı), önemlidir. Tatlı suyun yoğunluğu  $1 \text{ g/cm}^3$  ( $62,4 \text{ libre/feet}^3$ ) iken, deniz suyu içerdiği tuz minerallerinden dolayı değişiklik gösterse de yoğunluğu ortalama olarak  $1,025 \text{ g/cm}^3$  ( $64 \text{ libre/feet}^3$ ) olarak kabul edilir. Yani deniz suyu tatlı suya göre daha yoğun, daha ağır ve kaldırma kuvveti de daha fazladır.

İnsanların sudaki yüzerliği de bu prensibe göre gerçekleşir. İnsanların yüzerliğinde, donanımsız değerlendirildiğinde, en büyük etken yoğunlukları üzerinde etkili olan akciğer kapasiteleri ve yağ oranlarıdır. Akciğerler hava ile doldurulup boşaltıldığında değişken yüzerlik değerlerine sahip olurken, vücudun kas, yağ ve kemik oranı insanın yüzerliğindeki sabit unsurlardır. İnsan vücudundaki kişisel farklılıklar, yüzerliklerinde de değişiklikler gösterir (Gearhart vd., 2006).

Dalış ve dalgıç kavramı ön plana çıktığında, nötr yüzerlik veya çok hafif negatif yüzerlik önem kazanır. Dalgıç, vücut özellikleri (yağ, kas, kemik oranı) ve dalış donanımına göre portatif ağırlıklar veya yüzdürücüler kullanır. Değişken hacimli BC veya kuru tip elbise giyerek yüzerliğini ayarlamaya ve sabitlemeye çalışır. Satıhtan ikmali dalışlarda dipte çalışmayı kolaylaştırmak için genellikle negatif sepiye istenirken, SCUBA dalışlarında rahat yüzme için nötr sepiye istenir.

Kaldırma kuvvetinin hesaplanması aşağıdaki şekilde formüle edilebilir:

$$F (\text{Kaldırma kuvveti}) = V (\text{Batan Hacim}) \times d (\text{Sıvının yoğunluğu})/\text{cm}^3$$

Neopren dalış elbiselerinde (ıslak veya kuru fark etmez), su derinliğe bağlı olarak gerçekleşen basınç değişimleri, elbisenin hacmini ve dolayısı ile dalgıcın yüzerliğini etkiler. Bu durum atmosferik hava basıncında da kendini hissettirir. Özellikle irtifa dalışlarında, düşen hava basıncının elbise hacmini

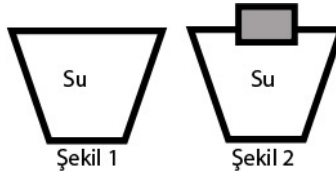
artıracağı ve dalgıcın yüzerliğini etkileyeceği dikkate alınmalıdır. Pratikte, yaklaşık her 300 m atmosferik yükselişin (rakım yüksekliği, irtifaya çıkış) elbise hacmini, dalgıç ağırlığının % 0.2'si kadar pozitif yüzerlik yönünde etkileyeceği kabul edilir.

Yukarıda değinildiği gibi, tatlı sular (göller, nehirler) deniz suyuna göre daha düşük yoğunluk ve dolayısı ile dalgıç için daha düşük yüzerlik özelliğine sahiptir. Pratikte, dalgıçtaki yüzerlik azalması, dalgıcın ağırlığının yaklaşık %2.5'i kadar kabul edilir. Pratikte elbisenin irtifa ile genişlemesinin kazandırdığı yüzerlik, bunu kısmen dengeler.

### 11.1. Örnek Problem

Aşağıdaki şekil 1 de ağzına kadar su dolu olan kaba, şekil 2 deki gibi bir cisim bırakılıyor.

Cisimle ilgili olarak aşağıdaki ifadelerden hangisi ya da hangileri doğrudur?



1. Cisme etki eden kaldırma kuvveti, cismin ağırlığıyla eşdeğerdir.
2. Cismin yoğunluğu, suyun yoğunluğundan daha düşük bir değere sahiptir.
3. Cisimden küçük bir parça koparılsa suda batar.
4. Cisme uygulanan kaldırma kuvveti, cismin ağırlığının yönüne zıt yöndedir.
5. Cisim, ağırlığına eşdeğer miktarda suyu yerinden kaldırır.
6. Cismin hacmi, taşıdığı suyun hacminden büyüktür.
7. Cisme etki eden kaldırma kuvveti, taşın suyun ağırlığına eşittir.



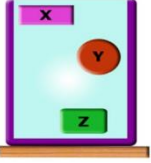
8. Kapta herhangi bir ağırlık artışı meydana gelmez.
9. Daha büyük bir kapta, cisim suyun içinde daha fazla batma eğilimindedir.
10. Eğer su yerine alkol kullanılsaydı, cismin alkolde batma durumu farklı olabilirdi. (Su yoğunluğu =  $1 \text{ g/cm}^3$ , alkol yoğunluğu =  $0.8 \text{ g/cm}^3$ )

Cevap:

1. Doğru: Cisim suyun yüzeyinde dengede kaldığından, kaldırma kuvveti ile ağırlığı birbirini dengeler.
2. Doğru: Yüzen cisimlerin ağırlığı, sıvının kaldırma kuvvetinden daha düşük olur.
3. Yanlış: Cismin yoğunluğu sabit kaldığı için, su üzerinde yüzecektir.
4. Doğru: Kaldırma kuvveti yukarıya doğru, cismin ağırlığı ise aşağıya doğru etki eder.
5. Doğru: Yüzen cisimler, ağırlıkları kadar sıvı taşır.
6. Doğru: Cismin tamamı batmadığı için taşan suyun hacmi daha az olur.
7. Doğru: Yüzen cisimlerde, kaldırma kuvveti ile cismin ağırlığı ve taşan sıvının ağırlığı eşit olur.
8. Doğru: Cismin taşıdığı sıvı kadar, kapta bir değişiklik olmaz.
9. Yanlış: Suyun yoğunluğu miktarına göre değişmediği için, cisim yine suda yüzer.
10. Doğru: Alkol, sudan daha düşük yoğunluğa sahip olduğu için, cisim alkolde batabilir. (Cismin yoğunluğu bilinmediğinden, bu durum kesin olarak söylenemez.)

## 11.2. Örnek Problem

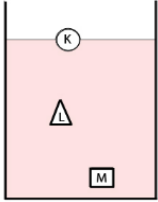
Şekildeki X, Y, Z cisimlerinin yoğunluklarını karşılaştırınız.



Cevap: X, Y, Z cisimlerinin hepsi de sıvı içerisinde askıda kalmaktadır. Bu nedenle cisimlerin yoğunlukları eşittir. Not: Askıda kalan cisimler sıvı içerisinde çeşitli konumlarda bulunabilir (Yerer ve Armağan, 2015).

## 11.3. Örnek Problem

Şekildeki K, L ve M cisimlerinin hacimleri aynıdır. Bu cisimlere uygulanan kaldırma kuvvetlerini karşılaştırınız. Ayrıca, cisimlerin yoğunluklarını birbirleriyle karşılaştırınız (Ünal ve Coştu, 2005).



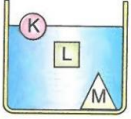
Cevap:

1.Kaldırma kuvveti, cisimlerin suya batmış kısımlarının hacmiyle doğru orantılıdır. Bu nedenle, L ve M cisimlerinin batma hacimleri birbirine eşit olduğundan, bu cisimler üzerindeki kaldırma kuvvetleri de eşit olur. K cisminin ise batma hacmi daha küçük olduğu için kaldırma kuvveti de daha düşüktür. Yani,  $L = M > K$ .

2.L ve M cisimleri askıda dururken, K cisimi suyun yüzeyinde kalmaktadır. Yoğunluk sıralaması ise  $L = M > K$  şeklinde olur

### 11.4. Örnek Problem

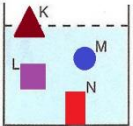
Kabın içindeki K, L ve M cisimlerinin ağırlıkları eşit olduğunda, her bir cisme uygulanan kaldırma kuvvetini nasıl karşılaştırırsınız?



Cevap: Yüzen ya da askıda kalan cisimler, ağırlıklarıyla kaldırma kuvvetine denge sağlar ( $G = F_k$ ). Batan cisimlerde ise, cismin ağırlığı, kaldırma kuvvetinden daha büyüktür. Bu durum, K ve L cisimlerinin kaldırma kuvvetlerinin eşit olmasına karşın, M cisminin kaldırma kuvvetinin daha düşük olmasına yol açar (Kırtak ve Kocakülah, 2018).

### 11.5. Örnek Problem

Aşağıdaki şekildeki K, L, M ve N cisimlerinin hacimleri eşittir. Bu cisimlere uygulanan kaldırma kuvvetlerini karşılaştırınız?



Cevap: Kaldırma kuvveti, cismin batmış kısmının hacmiyle doğru orantılıdır. K cismi tamamen batmadığı için batma hacmi küçüktür. Oysa L, M ve N cisimleri tamamen batmış olduğundan, batma hacimleri birbirine eşittir (Yerer ve Armağan, 2015).

Cisimlere etki eden kaldırma kuvvetleri  $L=M=N>K$  dir.

### 11.6. Örnek Problem

100 kg ağırlığında bir dalgıç, denizden 3000 m irtifadaki bir göle dalarken üzerine alacağı ağırlık yaklaşık kaç kg'dır?

Öncelikle, bir dalgıcın deniz seviyesinde yaklaşık olarak kütlelerinin %10'u kadar ağırlık kullanacağını kabul ederek başlayalım.

$100 \text{ kg} \times 0.1 = 10 \text{ kg}$  ağırlık almalıdır.

Diğer sabit değer: yaklaşık her 300 m atmosferik yükselişin (rakım yüksekliği, irtifaya çıkış) elbise hacmini, dalgıç ağırlığının % 0.2'si kadar pozitif yüzerlik yönünde etkilemesi

Bu durumda; Yüzerlik değişiminin dalgıcın kütlesine oranı

$$3000\text{m} / 300\text{m} = 10$$

$$10 \times 0.2 = \% 2 \text{ olacaktır.}$$

Yüzerliği  $100 \times 0.02 = 2 \text{ kg}$  artmıştır.

Ayrıca tatlı su dalışı olduğu için; dalgıçtaki yüzerlik azalması, dalgıcın ağırlığının yaklaşık %2.5'i kadar kabul edilir. Bu durumda;

$$100 \text{ kg} \times 0.025 = 2,5 \text{ kg} \text{ yüzerlik azalması görülür.}$$

Sonuç olarak dalgıcın genel yüzerliği;

$$2,5 - 2 = 0,5 \text{ kg} \text{ daha az ağırlık alması yeterli olacaktır.}$$

### 11.7. Örnek Problem

1x1x1 m ölçülerinde, küp biçiminde bir beton tonozu, 20 m derinliğinde deniz tabanından kaldırmak (yüzdürmek) için en az kaç litrelik kaldırma balonu kullanılmalıdır (veya kaldırma balonuna en az kaç Litre hava doldurulmalıdır).

Deniz suyun yoğunluğu  $1,025 \text{ g/cm}^3$  ( $1,025 \text{ kg/dm}^3 = 1,025 \text{ kg/L}$ ) olarak daha önceki konularda verilmiştir. Yani her bir litre deniz suyu  $1,025 \text{ kg}$  ağırlık kaldırır. Başka bir anlamda, her  $1,025 \text{ kg}$  ağırlığı kaldırmak için 1 L hacme ihtiyaç vardır.

Bu durumda kaldırılacak beton tonozun hacmi hesaplanmalıdır.

$1 \text{ m}^3$  hacimli bir beton, içinde bir miktar demir varsa yoğunluğu ortalama  $2,5 \text{ g/cm}^3$  olarak kabul edilirse;

$2,5 \text{ g/cm}^3$  yoğunluk birimi, sahada kullanılan bir birime dönüştürülürse;  $2500 \text{ kg/ m}^3$  olur

$$1 \text{ m}^3 \times 2500 \text{ kg/ m}^3 = 2500 \text{ kg} \text{ ağırlığında bir tonozumuz var.}$$

$1 \text{ m}^3$  hacme uygulanan toplam kaldırma kuvveti =  $1000 \text{ L} \times 1,025 \text{ kg/L} = 1025 \text{ kg}$

Kaldırılması gereken son ağırlık = Gerçek ağırlık  $2500 \text{ kg}$  – Kaldırma kuvveti  $1025 \text{ kg} = 1475 \text{ kg}$

Gerekli hava hacmi = Kaldırılması gereken son ağırlık  $1475 \text{ kg} / 1,025 \text{ kg/L} =$  yaklaşık  $1439 \text{ L}$  hava gerekir.

Eğer  $20$  metrede bir balonun içine  $1439$  litre havayla doldurmak gerekirse,

$20$  metrede mutlak ortam basıncı  $3$  ata olacağından, hava sıkışmasını ve hacmin küçülmesini dikkate almamız gerekir. Hacim  $3$  kat küçülecek demektir. Yani  $1439 \text{ L}$  hava /  $3$  bar = yaklaşık  $480 \text{ L}$  (yetersiz)

Ancak, kaldırma kuvveti için yeterli hacim gerekli olduğu için, balona;

$1439 \text{ L}$  sıkışmış hava  $\times 3$  bar basınç =  $4317$  litre korunmuş (sıkışsa bile yeterli) hacme sahip sıkışmış hava doldurulmalıdır.

O halde  $2500$  kilogramlık bir ağırlığı  $20 \text{ m}$ 'den yüzdürmek için en az  $4317 \text{ L}$  hava gerekir.

## 12. SUALTINDA KULLANILAN SOLUNUM GAZLARI

Sualtında solunan hava, bir insanın yaşamsal faaliyetlerini yerine getirebilmesi için, oransal olarak karadaki soluduğumuz havadan çok da farklı değildir. Solunan havanın içeriğinde, insan yaşamı için elzem olan oksijen başta olmak üzere, diğer gazlar da sorun oluşturmayacak düzeyde sistemde bulunur. Dalışta kullanılan gazlar ve karışımları, derinlik ve süreyle ilişkili olarak planlanır. Bu planlama belirli bir disiplin, eğitim ve özen gerektirir. Gazların, zamanın veya derinliğin planlanmasındaki hatalar dalgıcın yaşamını doğrudan etkiler. Bu nedenle dalgıcıların, özellikle de bu işi meslek edinecek olan profesyonel dalgıçların, sualtında solunacak gazları, bu gazların davranışlarını, birbirileri ile etkileşimlerini, insan fizyolojisi ve solunum metabolizmasındaki reaksiyonlarını çok iyi bilmesi ve buna göre dalış planlanması gerekmektedir. Tabii ki bu gazların, filtrelenmesi, tüplere doldurulması ve depolanması da oldukça önemli bir konudur. Dalış planına uygun olmayan

gazlar veya bu gazların istenmeyen konsantrasyonu, kirletici olarak değerlendirilir. Örneğin yaşamsal öneme sahip, havadaki ve dalış tüpündeki oranı %21 olan Oksijen gazı, 70 m' den daha derine yapılacak bir dalış için, istenmeyen kirletici bir gaz sayılır. Bu konunun detayları ileriki kısımlarda ayrıntılarıyla işlenecektir (Dries ve Endorf, 2013; Walker vd., 2015).

### 12.1. Oksijen

Oksijen ( $O_2$ ), yaşamı için, vazgeçilemez bir gazdır. Dalış gaz karışımı ne olursa olsun, oksijensiz olmaz. Atmosferik havada bol miktarda olup, renksiz, kokusuz, tatsız, aktif gazlarla kolayca birleşebilen, molekül olarak (iki oksijen atomunun birleşmesiyle) serbestçe hareket eden %21 bileşime sahip bir gazdır. İnsan metabolik faaliyetleri için %21'lik oksijenin sadece yaklaşık % 4-5'i kullanılırken, tedavi amaçlı olarak hastaneler ve hiperbarik oksijen tedavilerinde %100'lük saf oranlar kullanılmaktadır. Bazı özel dalış işlemlerinde, özellikle sığ su dalışları ve karışım gaz dalışlarında, belirli aşamalarda %100 saf oksijen kullanılması gerekebilir. Ancak, bu gazın yüksek basınç altında solunması, oksijen zehirlenmesi gibi tehlikeli sağlık sorunlarına yol açabilir. Saf oksijen, %100 oksijen içeren bir gaz karışımıdır ve dekompresyon (DECO) sürelerini kısaltmak amacıyla, özellikle 6 metreden daha sığ derinliklerde DECO beklemelerinin son aşamalarında tercih edilir. Bu uygulama, genellikle askeri, ticari ve teknik dalışlar için özel olarak tasarlanmış dalcılar tarafından kullanılır.

Kompresör yağlarında ve yakıtlarında bulunan hidrokarbonlar, yüksek oksijenli gaz karışımlarının hazırlanmasında ve kullanımında önemli bir tehlike oluşturur. Bu hidrokarbonlar, oksijenle temasa girdiğinde patlama riskini artırarak, yanıcı bir maddeye dönüşebilir ve ciddi tehlikeler yaratabilir.

### 12.2. Nitrojen

Azot ya da diğer adıyla Nitrojen, sembolü " $N_2$ " çift atomlu moleküler yapıda, renksiz, kokusuz, tatsız, atom numarası 7 olan kimyasal bir element olup, evrende en fazla bulunan 5 elementten birisidir. Atmosferin yaklaşık %78'ini oluştururken, tüm canlıların yapısında bulunmasına rağmen, yer kabuğunda çok az bulunur. Oksijen gibi yaşamsal olmayıp, metabolik reaksiyonlarda kullanılan bir gaz değildir. Havada serbest durumda asılı, asal

bir gazdır. Bazı durumlarda dezavantajlara sahip olsa da genel anlamda dalışlarda, oksijenin seyreltilmesinde kullanılır. Dezavantajlı olduğu dalışlarda yerine, farklı gazlarla ikame edilir. Yüksek basınç altında bulunduğu, anestezi (narkotik) özelliğinden dolayı ciddi problemlere neden olabilmektedir. Dalışta “Nitrojen Narkozu” (Martini Etkisi) olarak adlandırılan bu durum; yön bulma, muhakeme ve doğru karar verebilme yeteneklerinin kaybolmasına neden olur. Ayrıca dalış için önemli kısıtlamaların öncüsü olan “Vurgun” hastalığı da, bu gazın basınç altında uzun süre solunması ile ortaya çıkar. Bu nedenle derin dalışlarda nitrojenden kaynaklı yaşamsal olumsuzlukların ortadan kaldırılmasına yönelik olarak, solunum gazındaki azotun azaltılarak, yerine farklı gazların konulmasıyla, yeni solunum hava karışımları elde edilmektedir.

### 12.3. Helyum

"He" sembolüyle bilinen helyum, renksiz, kokusuz ve tek atomlu bir asal gazdır ve atmosferde oldukça düşük bir konsantrasyona (yaklaşık 5 ppm) sahiptir. Bu nedenle, doğadan elde edilmesi zordur ve pahalı bir süreç gerektirir. Helyum, doğada %7'ye kadar yer alan doğal gaz yataklarından, fraksiyonel damıtma yöntemiyle ekstrakte edilir. Kimyasal olarak inert bir gaz olan helyum, diğer gazlarla reaksiyona girmez ve patlayıcı veya yanıcı özellikler göstermez; bu nedenle güvenli bir şekilde taşınabilir ve depolanabilir. Dünyadaki en büyük tedarikçiler ise ABD, Kanada ve Rusya'dır, ancak her geçen yıl arz sorunları artmaktadır.

Derin dalışlarda, özellikle nitrojenin narkotik etkilerini ortadan kaldırmak için helyum tercih edilir. Dalış gaz karışımlarında, nitrojenin yerine ikame edilerek, vurgun ve nitrojen narkozu gibi tehlikelerin önüne geçilir. Nitrojenin narkotik etkisi için endeks değeri 1 olarak kabul edilirse, helyumunki 0,23'tür ve bu değer genellikle hesaplamalarda göz ardı edilebilecek kadar düşüktür.

Helyum ayrıca oksijen zehirlenmelerinin önlenmesi amacıyla da seyreltici gaz olarak kullanılır. Ancak, bu gazın kullanımında belirli bir derinlik sınırı vardır; 100-150 metre gibi bir derinlik aşıldığında, dalışta Yüksek Basınç Sinirsel Sendromu (HPNS) adı verilen bir rahatsızlık gelişebilir. HPNS, titreme, kas spazmları, mide krampları, bulantı, baş dönmesi, zihinsel ve motor

becerilerde azalma, nöbetler gibi belirtilerle ortaya çıkar ve ağır durumlarda ölüme yol açabilir. Bu rahatsızlıkla başa çıkabilmek için, helyum-oksijen karışımına, düşük bir oranda nitrojen eklenerek heliox (Helyum-Oksijen) karışımı ya da Trimiks adı verilen karışımlar kullanılır.

Helyum (He), düşük yoğunluğu nedeniyle dalgıçların dokularında daha hızlı çözünür ve vücuttan atılır. Bu özellik, kısa süreli dalışlarda dekompresyon süresini uzatırken, uzun dalışlarda havaya göre daha kısa dekompresyon süreleri sağlayarak olumsuz etkilerini dengelemektedir. Özellikle dekompresyon sırasında Nitroks 50 ya da saf oksijen (%100 O<sub>2</sub>) kullanıldığında, helyumun dokulardan atılma süreci büyük ölçüde hızlanır ve dekompresyon süreleri en aza indirilir.

Ancak helyumun kullanımında bazı dezavantajlar da bulunmaktadır. Bunlardan biri, dalgıcın sesinin normalden daha ince çıkmasına neden olmasıdır. Helyumun sesin hızını artıran akustik özelliği, dalgıcın sesini tizleştirir. Bu durum, sesin gaz içindeki hızının gazın yoğunluğuyla ters orantılı olmasından kaynaklanır. Helyumun, havaya göre çok daha düşük yoğunluğu nedeniyle, ses helyum içinde havadakinden çok daha hızlı hareket eder ve bu da insan sesinin ördek sesi (Donald Duck tarzında) şeklinde çıkmasına yol açar.

Bir diğer dezavantajı ise, helyumun ısı iletkenliğinin oldukça yüksek olmasıdır. Helyum, havaya göre ısıyı 5 kat daha iyi ilettiğinden, dalgıcın vücut ısısını kaybetmesi hızlanır. Dalgıç, solunum yoluyla akciğerleri aracılığıyla daha fazla ısı kaybeder. Bu, derin dalışlarda dalgıcın ısınma zorluğu yaşamasına neden olabilir.

Son olarak, helyumun nitrojene kıyasla daha hafif olması, derin dalışlarda ve basınç altında solunumu kolaylaştırır, çünkü soluma direnci düşer. Bu, özellikle uzun süreli derin dalışlarda daha verimli bir solunum sağlar.

## 12.4. Hidrojen

Hidrojen (H<sub>2</sub>), renksiz, kokusuz, çift atomlu bir gaz olup, evrende en bol bulunan elementtir. Ancak, saf hidrojenin oksijenle karıştığında patlayıcı özellik göstermesi nedeniyle, %4-5'ten fazla oksijen içeren havayla karıştığında patlama



riski oluşturur. Bu özelliği, hidrojenin güvenli kullanımını zorlaştırır. Hidrojen, geçmişte dalışlarda nitrojenin yerine kullanılmışsa da, patlayıcı özellikleri ve diğer tehlikeleri nedeniyle bu kullanım, deneysel aşamaları aşamamıştır. Nitrojen kadar olmasa da yine de hafif bir narkotik potansiyele sahiptir ve hidrojen narkozuna neden olabilir. Derin dalışlarda yüksek basınçlı sinir sendromunun (HPNS: high pressure neurological syndrome) semptomlarını hafiflettiği düşünülmektedir. Hidrojen en hafif gazdır (helyumun yarısı kadardır). Bu nedenle yoğunluğu çok düşük olduğu için yüksek basınç altında solunum direnci düşüktür. Hidrojen karışımı dalışlarla yüzlerce metre derinliğe dalmabilmektedir.

### 12.5. Neon

Ne ile sembolize edilen Neon gazı bir asal gaz olup, ağır, renksiz, kokusuz, tatsız ve tek atomludur. Atmosferde çok az miktarda bulunması ve havadan damıtma yoluyla elde edilindeki zorluk maliyetini artırmaktadır. Derin dalışlarda Nitrojen gibi narkotik etki göstermezken, Helyum gibi de ses iletişiminde bozulmaya ve ısı kaybına neden olmaz. Maliyetinin yüksekliği (Helyumdan 50-60 kat daha fazla olabiliyor) ve üzerindeki çalışmaların devam etmesi nedeniyle, rekreasyonel dalışlarda kullanılmasa da profesyonel dalışlarda zaman zaman kullanılmaktadır. Şimdilik iyi bir dalma gazı özelliği gösteren Neon gazı üzerindeki çalışmalar devam etmektedir.

### 12.6. Karbondioksit

CO<sub>2</sub>, yani karbondioksit, atmosferde düşük seviyelerde bulunduğu renksiz, kokusuz ve tatsız bir gazdır. Konsantrasyonu arttıkça asidik bir tat ve koku hissedilir. Solunum sonucu ortaya çıkan doğal bir gazdır. Hayvanlarda enerjinin elde edilmesi için, besinlerin oksijenle parçalanması sonucu ortaya çıkar. Dalışta, solunum sonucu dışarı atılan (egzoz) gazın tekrar solunması veya soluma sistemine karışması, derinliğin artması ile birlikte tehlikeye neden olabilir. Özellikle kapalı veya yarı kapalı devre sonumun cihazlarında karbondioksitin sistemden uzaklaştırılması dalgıcın yaşamı için önemli bir konudur. Küçük bir miktar karbondioksit yaşam için gerekliyken, derinlikle birlikte kısmi basıncının artması ile bilinç kaybına, bayılmaya ve hatta konsantrasyonun artmasıyla zehirlenme ve ölüme kadar götüren bir süreç

oluşabilmektedir.

### **12.7. Karbonmonoksit**

CO ile simgelenen karbonmonoksit gazı, renksiz, kokusuz, tatsız ve son derece zehirli bir gazdır. Karbon monoksit, tam olarak yanmamış fosil yakıtların yanması sonucu ortaya çıkar. Özellikle içten yanmalı motorların egzoz gazında yoğun olarak bulunur. Dalgıç tüplerinin doldurulması sırasında, hava kompresörünün egzozundan çıkan havanın, emiş manifoldundan tekrar sisteme girerek, tüplerin içine basılması halinde, derinlikle birlikte artan karbonmonoksit kısmi basıncı ile çok küçük dozlar bile ölümcül etiler yaratabilir. Karbon monoksit vücutta, eritrosit (alyuvarlar) dediğimiz kan hücrelerinin yapısında bulunan hemoglobin denilen proteinlere, oksijenden daha hızlı (yaklaşık 210 kat) bağlanarak dokulara taşınırlar. Böylece dokular oksijensiz kalırken karbonmonoksitle zehirlenme gerçekleşir. Bununla birlikte karbonmonoksitin hemoglobinden ayrılması da oksijene göre daha yavaş olur.

### **12.8. Argon**

Argon, yağ dokusunda, yukarıda anlatılan diğer solunum gazlarına göre çok fazla çözünebilen bir gazdır. Yağ dokusunda öldürücü seviyede dekompresyon kabarcığı üretir. Bu nedenle solunum gazı olarak kullanılmaz. Termal olarak, yalıtkan özelliği nedeniyle, kuru tip elbiselerde, dalgıcın soğuk sudan izole edilmesi için, elbise içine basılarak kullanılır.

## **13. SUALTINDA KULLANILAN SOLUNUM GAZ KARIŞIMLARI**

Dalış gazları ayrı ayrı ele alınsalar da aslında karışım olarak kullanılırlar. Bir veya birkaç gazın oksijen ile karıştırılması sonucu elde edilen özel karışımlar, dalış uygulamalarında solunum gazı olarak kullanılmaktadır.

### **13.1. Atmosferik Hava Karışımı**

Atmosferik hava, oksijen, azot, su buharı, duman, polenler ve çeşitli kirletici atık gazların yanı sıra düşük miktarlarda diğer gazlardan oluşur. Dalış faaliyeti ile ilgilenmeyen kişilerin çoğunlukla sandığı gibi, dalışta saf oksijen değil, atmosferik hava karışımı, en yaygın kullanılan gaz karışımıdır. Bu

havanın temini atmosferden emilerek gerçekleştirilir. Bu nedenle kullanılacak hava karışımının, bölgeye ve hava durumuna bağlı olarak, kirleticilerden uzak veya arındırılmış olması gerekir. Derinlikle orantılı olarak solunan gaz konsantrasyonundaki artış nedeniyle, yüzeyde insan vücudu için zararlı olmayan gazlar, derinlerde dalgıcın yaşamı için tehlikeli bir duruma geçebilirler. Özellikle endüstriyel bölgelerde, havadaki gazların bileşiminde karbonmonoksit başta olmak üzere zararlı baca gazları, sualtında dalgıcın yaşamı açısından tehlike arz edebilir. Ayrıca akaryakıtla çalışan tüp dolup kompresörlerinin egzoz gazındaki karbon monoksit de kompresör emiş valfinden emilerek, tüplerin içine girebilir. Bununla birlikte, elektrikli kompresör olsa dahi tüm kompresör silindirlere ve pistonları etrafındaki motor yağı, ısınma ile karbonmonoksit ve benzeri zararlı gazlar çıkartabilir. Filtreleme ile bu zararlı gaz ve buharların tutularak sistemden uzaklaştırılması gerekir. Hava içindeki su buharının da yüksek basınç altında sıkışması nedeniyle yoğunlaşarak, korozyona neden olması bakımından önem teşkil eden filtrelenmesi gereken bir kirleticidir (Benton ve Glover, 2006; Bove, 2014; Edmonds vd., 2015).

Genel ortalama anlamında, normal hava kütlesi içinde %78 Nitrojen, %21 Oksijen ve %1 diğer gazlar bulunur. Azot ve oksijene dayalı teorik hesaplamalarda kolaylık bakımından atmosferik hava bileşeni %79 Nitrojen, %21 Oksijen kabul edilir. 'den meydana geldiği varsayılır.

**Tablo 12:** Dalışta Kullanılan Gazların, Atmosferik Havadaki Yüzdeler Bileşimleri

Gaz	Yaklaşık Yüzdeler (%) Hacim
Nitrojen	78
Oksijen	21
Argon	0,1
Karbondioksit	0,033
Neon	0,0018
Helyum	0,0005
Kripton	0,0001
Hidrojen	0,00005
Xenon	0,000008

Atmosferik hava karışımındaki %21 orana sahip oksijenin, kısmi basıncının 1,6 bar seviyesine ulaşması, oksijen zehirlenmesine neden olabileceği için, 66 m derinlikten daha aşağıya inilmemesi kural olarak kabul

edilir. Yani kısaca MOD: 66 m şeklinde tanımlanır.

### 13.2. Nitroks Hava Karışımı

Atmosferik havadan sonra karışım gazlarının en yaygını nitroks karışımıdır. Kısaltma olarak EAN şeklinde tanımlanır. Açılımı Enriched Air Nitrox olup, Zenginleştirilmiş Hava Nitroks şeklinde Türkçeleştirilebilir. Nitroks karışımında amaç; vurgun hastalığına neden olan nitrojenin olumsuz etkisinden korunmak için, dalış derinlik ve zaman sınırlamalarını genişletebilmektir. Bu nedenle karışım içindeki Nitrojenin eksiltildiği kadar yerine oksijen ilavesi yapılır. Tabii ki bu yer değiştirmenin de belirli bir kuralı ve sınırlamaları vardır. Aksi halde oksijenin de derinlikle orantılı olarak insan vücudunda zehirleyici etkisi ortaya çıkacaktır. Nitroksun daha derine inmeyi sağladığı yönündeki algı yanlıştır. Örneğin; EAN<sub>32</sub> ile yaklaşık 34 metrenin (MOD:34) altı, oksijen zehirlenme riski nedeniyle güvenli değildir. Aynı şekilde EAN<sub>36</sub> yaklaşık 30 m altı (MOD:30) için risklidir. Bu nedenle genellikle rekreasyon amaçlı, 30-40 metreyi geçmeyen dalışlarda nitroks yaygın olarak kullanılmaktadır. Karışımındaki nitrojen oranının azaltılması, dekompresyon sürelerini azaltırken veya ortadan kaldırırken, dip sürelerini de artırma yönünde avantajlar sunmaktadır. Bunun yanı sıra, karışımındaki yüksek oksijen seviyelerinin solunması, dalgıcın vücudundaki yorgunluk ve bitkinlik gibi dalış sonrası etkileri hafifleterek, dinçleştirici bir etki yaratır. Nitroks, yalnızca rekreasyonel dalışlarda ana gaz olarak kullanılmakla kalmaz, aynı zamanda teknik dalışlarda geçiş gazı ve dekompresyon gazı (deko duraklamalarında) olarak da önemli bir rol oynamaktadır.

Her geçen gün kullanımı yaygınlaşan nitroks karışımında rekreasyonel dalışlarda %22 - %40 (Nitroks I) arası oranlar kullanılırken, teknik dalışlarda bu oranlar çok daha yüksek (%40-99, Nitroks II) olabilmektedir. Karışımındaki oksijen gazı oranı EAN<sub>x</sub> kısaltmasında x yerine konulan rakamla gösterilir. Örneğin EAN<sub>32</sub> kısaltmasında karışımında %32 oranında oksijen bulunduğunu ifade eder. Rekreasyonel dalışlarda en yaygın olarak EAN<sub>32</sub> ve EAN<sub>36</sub> kullanılır.

Nitroks dalışları, oksijen oranı artırılmış hava karışımlarının kullanıldığı dalışlardır ve bu nedenle özel eğitim ve dikkatli bir ekipman seçimi gerektirir. Nitroks karışımının kullanıldığı dalışlarda, ekipmanların oksijenle güvenli bir

şekilde etkileşime girebilmesi için belirli temizlik standartlarına uygun olması zorunludur. "Oxygen clean" terimi, oksijenin reaksiyona girerek yangın ya da patlamaya neden olmasını önlemek amacıyla, ekipmanların özel temizlik işlemlerinden geçirilmesini ifade eder. Bu temizlik işlemi, ekipmanın üzerindeki yağ, kir, oksitler ve hidrokarbon kalıntılarını ortadan kaldırmayı amaçlar.

Özellikle, nitroks karışımında oksijen oranı %50'nin üzerinde olduğunda, kullanılan tüm ekipmanlar, oksijenle uyumlu ve patlama riskini minimize edecek şekilde temizlenmelidir. Çünkü yüksek oksijen basıncı, regülatör, kompresör ve hortumlarda bulunan yağlar ve diğer hidrokarbonlarla birleştiğinde, sıkıştırılma esnasında ısınarak patlama ya da yangın riski oluşturabilir. Bu sebeple, kullanılan tüm ekipmanlar, "oxygen clean" (oksijenle temizlenmiş) işaretiyle sahip olmalı ve yalnızca bu standartlara uygun ürünler kullanılmalıdır. Bunun yanı sıra, nitroks dolumu yapılacak hava, özel filtreleme sistemleriyle temizlenmeli ve hidrokarbonlardan arındırılmalıdır. Bu, özellikle kompresörler aracılığıyla yapılan dolumlarda büyük önem taşır. Kompresörlerin, oksijenle uyumlu olacak şekilde, yağsız ve hidrokarbonlardan tamamen arındırılmış olmaları gereklidir. Aksi takdirde, oksijenin yüksek konsantrasyonu ve ekipmanlarda bulunan yağlar arasındaki etkileşim patlamaya ve yangına yol açabilir.

### 13.3. Trimix Hava Karışımı

Özellikle derin ve teknik dalışlarda, zaman ve derinlik sınırlamalarını esnetirken, gazların basınç altındaki olumsuzluklarını da bertaraf edecek farklı karışımlar kullanılmaktadır. Bunlardan birisi de Trimix gaz karışımıdır. Adından da anlaşıldığı üzere içeriğinde üç farklı gaz karışım halinde bulunmaktadır. Bu karışımın en sık kullanılan gazlar Oksijen, Nitrojen ve Helyumdur. Basınç altında nitrojenin narkotik etkisini, oksijenin zehirleyici etkisini ortadan kaldırmak için karışıma, narkotik etkisi (narkotik endeksi) nitrojene göre yok denecek kadar az olan belirli oranlarda Helyum ilave edilir. Bu karışımın kodlanmasında, karışımdaki oksijen (ilk rakam) ve helyum (ikinci rakam) belirtilir. Genellikle üçüncü gaz olan nitrojen belirtilmez ve oranı, önceki iki gazın toplamından geriye kalan yüzdelik dilimdir. Örneğin Trimix 10/70 veya T 10/70 değeri, karışımda %10 oksijen, %70 helyum ve %20

nitrojen olduğunu ifade eder.

Genellikle T 19/30 gibi normoksik oranlar 30-60 m derinlikler için kullanılırken, T 10/50 gibi hipoksik oranlar ise 60 m üzerindeki derinlikler için, T 10/70 gibi oranlar ise genellikle 100 metre civarındaki derinliklerde yapılacak dalışlar için kullanılır.

Üçlü karışımın dalış tüplerine doldurulmasında, OCA (Oxygen Compatible Air) kalitesine sahip hava kullanılır. OCA, yüksek oksijen içeren gaz karışımları, örneğin Nitrox, ile güvenli bir şekilde karıştırılabilecek şekilde temizlenmiş ve oksijenle uyumlu hale getirilmiş havayı ifade eder.

### 13.4. HeliOx

Derin dalışlarda (100-130 m üzerinde) nitrojenin narkoz etkisinden tamamıyla kurtulmak için kullanılan bir gaz karışımıdır. Helyum ve Oksijen gazlarının karışımından oluşan bir dalış gazıdır. İlk olarak oksijenin yüzdesi, sonra helyumun yüzdesi belirtilir. Örneğin, %20 oksijen ve %80 helyum karışımı HeliOx 20/80 şeklinde ifade edilir.

### 13.5. Hydrox

Dalış solunumu için kullanılan bu gaz karışımı, hidrojen ve oksijen gazlarının birleşiminden meydana gelir. Nitrojenin ve helyumun narkotik etkisinden korunmak için 100 m den daha derin dalışlarda kullanılmaktadır. Saf hidrojen içinde %4-5'den fazla oksijen bulunan hava ile karıştığında patlama riskinden dolayı çok dikkatli doldurulması ve kullanılması gereken bir karışımıdır. Bu nedenle, karışım çok düşük oranda (%4 ve aşağısı) oksijen içerir. Hipoksik bir gaz karışımı olduğu için çok derin dalışlarda kullanılabilir. Hydrox 4/96 kodlu karışımında %4 oksijen %96 Hidrojen bulunmaktadır. Tehlikeli oluşundan dolayı pek tercih edilmemektedir.

### 13.6. Hydreliox

Aslında 3 farklı gazın karışımıyla hazırlandığı için, bir tür trimiks karışımı sayılır. Yüksek orandaki hidrojen ile oksijenin birleşmesinden kaynaklı patlamaya karşı, derin dalışlarda Hidrojen, Helyum ve Oksijen karışımı tercih edilmektedir. Örneğin; 530 msw, 50 atmosfer ortam

basıncındaki Hydra VIII (Hidrojen Açık Deniz Dalışı: Hydra 8) görevi için kullanılan karışım %49 hidrojen, %50,2 helyum ve %0,8 oksijendir. Hydreliox ( $H_2/He/O_2$ ) 49/50,2/0,8 şeklinde kodlanmaktadır. 700 m ye kadar basınç odasında deneysel dalışlar gerçekleştirilse de çok riskli derinlikler ve çok ender kullanılan gaz karışımıdır.

### **13.7. Neox / Neonox**

Oksijen ve neon gazlarının karışımı, yüksek maliyet ve temin zorlukları nedeniyle pek tercih edilmeyen bir gaz karışımıdır.

### **13.8. TriOx (Trioks)**

Nitrox karışımına eklenen düşük bir Helyum (%20-30) ilavesiyle elde edilen bir tür Trimiks karışımıdır. Trimiks karışımına göre Helyum oranı daha az ama oksijen oranı daha fazla olduğu için derinlik limiti oksijen içeriğine bağlı olarak 40 m ile sınırlandırılır. Aslında TriOx, hiperoksik özellikli bir trimiks karışımıdır. TriOx karışımı genellikle rekreasyonel dalışlarda kullanılır ve trimiks dalışlarına geçiş öncesi bir ön basamak gözüyle bakılır. TriOx dalışında genellikle sırtta standart konumlu tek bir tüp kuşanırken, Trimiks dalışlarında sidemount tipi yana kuşanmış birden fazla tüpler bulunur. Triox 25/25 veya Triox 30/30 oranları GUE ve UTD eğitim sistemleri tarafından TriOx adıyla yaygın olarak kullanılan karışımıdır.

### **13.9. Helitrox (HOTx)**

Nitrox karışımına eklenen düşük bir Helyum ilavesiyle elde edilen bir tür Trimiks karışımıdır. Trimiks karışımına göre Helyum oranı daha az (%13-20, maksimum %35) ama oksijen oranı daha fazla (%21-26) olduğu için derinlik limiti oksijen içeriğine bağlı olarak 40-50 m ile sınırlandırılır. Aslında Helitrox, hiperoksik özellikli bir trimiks karışımıdır. Genellikle rekreasyonel dalışlarda kullanılır ve trimiks dalışlarına geçiş öncesi bir ön basamak gözüyle bakılır. HOTx 25/25 veya HOTx 30/30 oranları Helitrox adıyla yaygın olarak kullanılan karışımıdır. NAUI, TDI, GUE sistemlerinde eğitimi verilerek kullanılan bir gaz karışımıdır. HOTx: high oxygen trimix şeklinde bir açılıma sahiptir.

### 13.10. HeliAir

HeliAir, atmosferik hava karışımına yaklaşık %20'den fazla helyum eklenerek elde edilen bir solunum gazıdır. Bu karışım, bir çeşit Trimiks karışımına benzer özellikler taşır. Ancak, oksijen oranı %21'in altına düştüğü için hipoksik özellik gösterir ve bu nedenle yüzeyde solunmamalıdır. HeliAir, oksijen, nitrojen ve helyumdan oluşan bir gaz karışımıdır ve özellikle derin dalışlarda, teknik dalışlarda kullanılır. TDI (Teknik Diving International) gibi dalış organizasyonları tarafından yaygın olarak tercih edilmektedir. HeliAir karışımının hazırlanması, oksijen içeriği değişken olan Trimiks karışımlarına göre daha basittir. Karışım, helyumun gerekli kısmi basıncını göz önünde bulundurarak, normal dalış kompresöründen elde edilen hava ile karıştırılarak hazırlanır.

### 13.2. Solunum Gazları Maksimum Operasyon Derinliği (MOD)

İngilizcesi "Maximum Operating Depth" olan "Maksimum Operasyon Derinliği" kavramı; dalışların soluduğu gazların insan sağlığı açısından sorun yaratmayacağı derinliği ifade eder. İnsan yaşamı için en önemli gaz Oksijen olduğu için, bu kavram özellikle solunum gaz karışımındaki yüksek oksijen yüzdesinden kaynaklı olumsuz zehirlenme etkisinin ortaya çıkma durumuna karşı sınır derinlik limitini belirtir.

MOD kavramı, helioks, nitroks ve trimix gibi gazların kullanıldığı dalışları planlarken çok önemli olup, solunacak gaz karışımındaki kısmi oksijen basıncının ( $pO_2$ ), kabul edilebilir sınır derinliği ifade etmekte kullanılır. Bu sınır, merkezi sinir sistemi oksijen toksisitesi belirtilerinin ortaya çıkma riskinin yüksek olduğu derinliktir. Bu belirtiler normalde oksijen kısmi basıncının 1,4 ile 1,6 bar sınırına ulaşmasıyla ortaya çıkarken, derinliğe, kişiye, süreye ve harcanan efora göre birazcık esneklik gösterebilir. NOAA Dalış Kılavuzu'nda önerilen maksimum maruz kalma limitleri 1,6 bar'da 45 dakika, 1,5 bar'da 120 dakika, 1,4 bar'da 150 dakika, 1,3 bar'da 180 dakika ve 1,2 bar'da 210 dakikadır. (NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) (Ulusal Okyanus ve Atmosfer Dairesi). NOAA, Amerika Birleşik Devletleri'nin Dünya'daki hava ve deniz olaylarını araştıran, dalış ilke ve prensipleri konusunda da yetkin ve



saygın bir kurumudur).

MOD değeri aşılrsa, akut oksijen toksisitesi riski ortaya çıkar. Merkezi sinir sistemi oksijen toksisitesi, görsel değışiklikler (özellikle tünel görüşü), kulak çınlaması (tinnitus), bulantı, seğirme (özellikle yüzde), davranış değışiklikleri (sinirlilik, anksiyete, konfüzyon) ve baş dönmesi gibi semptomlarla kendini gösterir (Clark ve Thom, 2003).

Bunu iki aşamadan oluşan bir tonik-klonik nöbet izleyebilir. Tonik aşamada; birkaç saniye boyunca yoğun kas kasılması meydana gelir. Klonik aşamada ise; dönüşümlü kas gevşemesi ve kasılmasından oluşan hızlı spazmlar takip eder ve konvülsif sarsıntılara neden olur. Nöbet bir bilinç kaybı ile sona erer.

Nöbetin başlangıcı, solunum gazındaki kısmi oksijen basıncına, maruz kalma süresine, bireylere göre ve aynı kişide günden güne çeşitlilik gösterir. Ayrıca soğuga maruz kalmak, efor sarf etmek gibi birçok dış faktör merkezi sinir sistemi semptomlarının ortaya çıkma süresini etkiler. Toleransın azalması, karbondioksitin tutulmasıyla yakından bağlantılıdır.

Yüksek oksijen kısmi basıncından kaynaklı konsantrasyonları solumak, oksijen zehirlenmesine ve hatta ölüme neden olabilir. Özellikle derin dalış ve karışım gaz soluyan dalgıçları ilgilendiren bir konu gibi görünse de, bir dalgıcın derinliğe göre solunum gazındaki oksijen konsantrasyonunu ve MOD değerini, dalış bilgisayarları aracılığı ile öğrenebilse de ve MOD değerini hesaplayabilmesi gerekir. Elde edilen MOD değeri dalış tüplerinin üzerine görünür şekilde etiketlenmelidir. Eğer dalgıç, tüpte yazılı etiket değerini yanlışlıkla geçerse dalış eşi tarafından uyarılabilir. Aynı zamanda yanlışlıkla tüplere farklı hava oranlarının doldurulması önlenmiş olur.

Teknik dalışlarda, dekompresyon veya geçiş gazı olarak, kısmi basıncı 1,4 atm'nin üzerinde olan saf oksijen sıklıkla tercih edilmektedir. Dalış eğitim ekolleri ve otoritelerine göre çok küçük değışiklikler olsa da, oksijen toksisitesine karşılık, oksijen kısmi basıncı güvenli limit değeri yaklaşık 1,4 ata iken riskli limit değer yaklaşık 1,6 ata arasında kabul edilir. Ancak dalgıç kendisine, dalış koşullarına ve derinliğe göre bu değeri biraz değıştirebilmektedir.

Hesaplama için; karışımın solunacağı mutlak basıncı ve karışımdaki oksijen yüzdesini bilmek gerekir. Mutlak basınç daha önceki kısımlarda belirtildiği gibi hidrostatik basınç ve atmosferik basıncın toplamıdır. Eğer atmosferik hava karışımını soluyorsanız, tüpünüzdeki oksijen oranı genellikle %21 olarak kabul edilir. Ancak, nitroks veya trimiks gibi zenginleştirilmiş hava karışımlarını kullanıyorsanız, tüpünüzdeki oksijen oranını doğru bir şekilde belirlemek için bir oksijen analizörü kullanmak gereklidir. Bu, tüpün içindeki oksijen yüzdesini hassas bir şekilde ölçmek için en güvenilir yöntemdir.

### 13.2.1. Örnek Problem

%30 oksijen yüzdesine sahip bir gaz karışımı ile oksijen toksisitesine neden olmayacak şekilde güvenli bir dalış planlayan dalgıcın MOD değeri msw ve fsw cinsinden nedir?

Çözüm:

Oksijen toksisitesine neden olmayacak kısmi basınç 1,4 ata'yı geçmemelidir. (kural)

$$\text{MOD fsw} = 33 \text{ fsw/atm ise } ((p_{\text{O}_2 \text{ ata}} / \% \text{O}_2) - 1) \times 33$$

$$\text{MOD fsw} = ((1.4 \text{ ata} / 0.30 \text{ ata}) - 1) \times 33 \text{ feet} = 121 \text{ fsw}$$

$$\text{MOD msw} = 10 \text{ msw/atm ise } ((p_{\text{O}_2 \text{ ata}} / \% \text{O}_2) - 1) \times 10$$

$$\text{MOD msw} = ((1.4 \text{ ata} / 0.30 \text{ ata}) - 1) \times 10 \text{ m} = 36,6 \text{ msw}$$

Yaygın Kullanılan Dalış Gaz Karışımlarında, 1.6 Ata Kısmi Oksijen Basıncı İçin MOD Değerleri

Hava . . . . . % 21 Oksijen.....MOD 218 feet (66 m)

Nitroks 32 . . . . . % 32 Oksijen.....MOD 132 feet (40 m)

Nitroks 36 . . . . . % 36 Oksijen.....MOD 113 feet (35 m)

Saf Oksijen . . . . . % 100 Oksijen..... MOD 20 feet (6 m)

## 14. GAZ ÖLÇÜMLERİ

Bir gazın, bir ortamdaki miktarından bahsederken, o ortamın özelliğine göre gazın gerçek feet<sup>3</sup>'ü, yani ACF değeri kullanılır (ACF: actual cubic feet). Aslında, gazların bir ortamdaki bulunma miktarını, basınç ve sıcaklık etkiler. Yani her gazın standart hacmi için, standart bir basınç ve sıcaklık sabit değeri baz alınmalıdır. Ancak bu şekilde miktarı ölçülen gazların karşılaştırması yapılabilir. Bu değer kıyaslamalar için bir temel standarttır. Buna SCF değeri denir (SCF: standart cubic feet). Örneğin; hava için SCF, 60 °F sıcaklıkta ve 14,696 psia basınçta yapılan ölçümdür. A.B.D. 'de en çok kullanılan gaz birimi standart feet<sup>3</sup>'dür. Kısacası: ACF = Dahıcı veya cihaz tarafından tüketilen/kullanılan basınçlı havanın Gerçek Fit Küpü

SCF= ACF nin elde edilmesi için kullanılan (emilen veya sıkıştırılan) hava

ACFM: (actual cubic feet minute) Dakikadaki gerçek fit küp, zamana bağlı hacimsel bir birimdir. Bir hava üretici kompresör veya su altındaki bir dalgıcın dakikada tükettiği hava olarak ifade edilir.

Yukarıdaki açıklamaları dönüşüm formülü haline getirirsek;

$$\text{ACF} = \text{SCF} / \text{mutlak basınç (ata)}$$

$$\text{SCF} = \text{mutlak basınç (ata)} \times \text{ACF}$$

## 15. İLGİLİ GAZ KANUNLARI ve İLKELER

Gazlar; sıcaklık, basınç ve hacim faktörleri ile birbirleriyle yakından ilişkilidirler. Gazların kinetik enerjisi teoremine göre, bu faktörlerin herhangi birindeki değişim, diğer faktörlerde de ölçülebilir farklılıklar oluşturur. Herhangi bir gazın kinetik davranışı, diğer bir gaz veya gaz karışımı ile aynıdır. Bir veya iki faktörde değişiklik olduğunda, üçüncü faktörde de değişim gerçekleşir. Bu değişimin miktarı çeşitli kanunlarla formül altına alınmıştır. Bu üç faktör üzerindeki değişim dalgıcı ciddi şekilde etkiler. Değişimdeki oran ve büyüklük, basınç altında hareket eden dalgıcın hava boşlukları başta olmak üzere tüm bedeniyle hissedilir boyutta olabilir ve yaşamını etkileyebilir.

Kısmi basınç ve kinetik hareketlilik, gazların dağılımı yani nüfuzu

üzerinde etki yaratır. Gaz moleküllerinin birbirine karışmasına gaz dağılımı denir. Kapalı bir ortamdaki iki farklı gaz, ağırlıkları birbirinden farklı olsa da, sabit moleküler hareketin bir sonucu olarak tamamen birbirine karışırlar.

Gazlar, geçirgen bir zarla karşılaştıklarında, moleküllerin kinetik hareketlilikleri nedeniyle her iki yönde de geçiş gerçekleşir. Ancak kısmi basıncın yüksek olduğu taraftan, düşük tarafa doğru, zarın iki tarafındaki kısmi basınç farkı eşitlenene kadar geçiş hızlı bir şekilde devam eder. İnsan vücudundaki dokular da geçirgen zarlar olduğu için, kısmi basınç farkına göre gazların dokulara geçişi (nüfuz etmesi) bu ilkeye göre gerçekleşir. Bu ilkeye göre de dekompresyon dalış tablolarının hazırlanması ve hesaplamalarda kullanılması önem arz eder.

Gazların içindeki su buharı (nem) da gaz kanunları doğrultusunda tepki gösterir. Bilindiği üzere su buharı diğer gazlardan farklı olarak, insan yaşam aralığındaki sıcaklık ve basınç değişimlerinde bile yoğunlaşarak sıvı hale dönüşebilir. Gazların sıcaklığı arttıkça, kısmi basıncı artacak ve daha fazla su molekülü taşıyabilecek hale gelecektir. Gazın soğuması halinde ise, basınç yüksek olsa bile, yoğunlaşma başlayacak ve basınç düşene kadar, yoğunlaşma devam edecektir. Gazın su buharı oluşturduğu bu sıcaklık seviyesine “Çiy Seviyesi” denirken bu olaya “Çiylenme” olarak adlandırılır. Su buharı kuru hava soluyan dalgıcın dokularını nemlendirerek rahatlık sağlaması bakımından olumludur. Ancak yoğunlaşarak çiylenme göstermesi (sıvı/su haline dönmesi), özellikle soğuk ortam dalışlarında, hava ikmal devrelerinin donarak tıkanmasına neden olması bakımından olumsuzluk yaratır. Bununla birlikte, nemin maske buğulanmasına neden olarak görüşü kısıtlaması da olumsuz yanlarından birisidir.

Gazların sıvılar içinde çözünürlüğü önemli iken, sıvıların da gazları çözücü özelliği bakımından önemlidir. Örnek olarak; aynı sıcaklık ve basınçta su, nitrojen gazını 1 birim çözerken, yağ dokusu aynı gazı 5 birim daha fazla çözebilir özellik gösterir.

Gazların ve sıvıların çözücü özellikleri önemli iken, sıcaklık ve basınç altındaki çözücü etkileri daha fazla önem arz eder. Bu nedenle dalgıçların, basınç ve düşük sıcaklık altındaki çalışma ortamlarının, kendi vücutları üzerinde yaratacağı olumsuz etkileri çok iyi bilmesi gerekir.

Eğer dalışta aynı derinlikte, tek bir gaz kullanılıyorsa, tek bir gaz kanununun veya genel gaz kanunu bütün gerekli hesaplamalar için kullanılabilirdi. Ancak insan yaşamı için vazgeçilmez olan oksijen gazı bile derinlere indikçe tehlike oluşturmaktadır. Bu nedenle farklı gazlarla seyreltilmesi ve benzer karışım gazlarının kullanılması önem arz eder. Basınç altında gazların yoğunluğundaki artış, insan vücudunda farklı etkiler yaratır. Bu nedenle, gazların basınç altında insan vücuduna zarar vermeden solunabilmesi için uygun karışım oranlarının hazırlanabilmesi, bunun içinde çeşitli gaz kanunları aracılığı ile hesapların yapılabilmesi önem kazanır.

Bu nedenle dalıcılar basınç altında hareket ve solumanın insan vücuduna etkilerini çok iyi bilmeli ve bu etkinin büyüklüğünü hesaplayarak ortaya koyabilmelidirler. Gazların Kinetik Teorisi, Boyle-Mariotte Kanunu, Charles Kanunu, Gay-Lussac Kanunu, Genel Gaz Kanunu, Henry Kanunu ve Dalton Kanunu başta olmak üzere gazlarla ilgili kanun ve kuralların dalgıçlar tarafından çok iyi öğrenilmesi gerekmektedir.

### **15.1. Gazların Kinetik Teorisi**

Gazların makroskobik özelliklerini, özellikle basınç, sıcaklık ve hacmi, moleküllerinin hareketi ve yapısal özellikleriyle açıklayan kuramsal yaklaşım, gazların kinetik teorisidir. Bu teori, gazların davranışlarını anlamak için moleküllerin dinamik hareketlerine dayanır. Bu teoriye göre, gazların basıncı, moleküllerin belirli hızlarda hareket ederken birbirleriyle çarpışmalarından kaynaklanır. Kinetik teori, çarpışma teorisi veya kinetik-moleküler teori olarak da anılmaktadır. Gazların davranışları, farklı sıcaklık ve basınç koşullarında, bu teorisinin temel ilkelerine göre açıklanır. Kinetik teori, aynı sıcaklıkta farklı gazların kinetik enerjisinin eşit olduğunu belirtir. Bu, gazların kinetik hareketlerinden dolayı oluşan basınçlarının, tüm gazlar için aynı temel faktörlerden etkilendiğini ortaya koyar.

İdeal gazların moleküler modeli, gazın kabın duvarlarına uyguladığı basıncın, gaz moleküllerinin bu duvarlara çarparak oluşturduğu kuvvetlerden kaynaklandığını öne sürer. Bu modelde şu temel varsayımlar kabul edilir:

- Gazlar, her yönde rastgele hareket eden, birbirinden bağımsız taneciklerden oluşur. Soy gazlar atomlardan, diğer gazlar ise

moleküllerden meydana gelir.

- Gaz molekülleri doğrusal ya da zikzaklı hareketler yaparak (Brown hareketi) bulunduğu kabı tamamen doldurur. Bu hareketler, gazın hacminin kabın hacmine eşit olmasına neden olur.
- Gazlar, bir başka gazla karıştırıldığında homojen bir karışım oluşturur ve bu karışım, tüm kaba yayılır. Bu nedenle, bir gazın hacmi her zaman bulunduğu kabın hacmine eşittir.
- Gaz molekülleri arasında önemli bir boşluk bulunur, bu nedenle moleküllerin gerçek hacimlerinin toplamı, gazın hacmi yanında ihmal edilebilir. Örneğin, oksijen ( $O_2$ ) gazının normal koşullarda hacminin %99,6'sı boşluktan oluşur. Bu özellik, gazların yüksek oranda sıkıştırılabilir olmalarını sağlar.
- Gaz molekülleri arasında ve moleküllerle kabın iç yüzeyi arasında herhangi bir çekim veya itme kuvveti bulunmaz. Yani, gaz molekülleri arasında etkileşimler ihmal edilebilir düzeydedir.
- Gaz moleküllerinin çarpışmaları tamamen elastiktir; bu çarpışmalar sırasında enerjinin bir kısmı bir molekülden diğerine transfer olabilir, ancak sistemin toplam enerjisi korunur. Çarpışmalar sonrasında moleküller enerjiyi birbirlerine aktararak hızlarını değiştirebilir, ancak toplam kinetik enerji değişmez.
- Bir gazın moleküllerinin hızları, her zaman birbirine eşit değildir. Gaz moleküllerinin çoğu, birbirine yakın hızlara sahipken, çok küçük bir kısmı düşük hızla, bir kısmı ise daha yüksek hızla hareket eder. Moleküllerin hızlarının dağılımı, sıcaklıkla doğru orantılıdır; mutlak sıcaklık arttıkça, moleküllerin ortalama kinetik enerjisi ve dolayısıyla hızları artar.
- Moleküller arasındaki sürekli esnek çarpışmalar nedeniyle moleküllerin hızları ve dolayısıyla kinetik enerjileri zaman içinde değişir. Bu nedenle, belirli bir anda moleküllerin hızından ya da kinetik enerjisinden bahsetmek yerine, moleküllerin ortalama hızından veya ortalama kinetik enerjisinden söz etmek daha anlamlıdır. Kinetik



yöntemleriyle sağlanabilir), bir gazın hacmi ile basıncı arasındaki ilişki önceki ve sonraki durumlar için şu şekilde ifade edilir:

$$P \times V = \text{Sabit Değer}$$

$$P = \text{Mutlak Basınç}$$

$$V = \text{Hacim}$$

Hacim ve Basıncıdaki değişimin ilişkisi;

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ şeklinde ifade edilir.}$$

$$P_1 = \text{ilk basınç}$$

$$V_1 = \text{ilk hacim}$$

$$P_2 = \text{son basınç}$$

$$V_2 = \text{son hacim}$$

### 15.2.1. Örnek Problem

Sabit sıcaklıkta satıhtaki hacmi 200 feetküp olan bir elastik balonun denizde 100 feet derinlikteki hacmi ne kadar olur? (Satıhta ve 99 feette sıcaklığın sabit olduğu kabul edilmiştir)

$$P_1 = \text{ilk basınç satıh, 1 ata}$$

$$V_1 = \text{ilk hacim, 200 feetküp}$$

$$P_2 = \text{son basınç, 100 feet derinliğindeki basınç?}$$

$$V_2 = \text{son hacim, ?}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ şeklindeki formül}$$

$$V_2 = (P_1 V_1) / P_2 \text{ şeklinde düzenlenir.}$$

100 feetteki son basıncı ( $P_2$ ) hesaplayalım:

Mutlak basınç hesaplamada aşağıdaki formülü hatırlayarak kullanalım.

$$P_{\text{ata}} = (\text{Derinlik (fsw)} + 33) / 33 \text{ veya } (\text{Derinlik (fsw)} / 33) + 1$$



Yukarıdaki formüllerden birini kullanarak

$$P_{ata} = (\text{Derinlik (fsw)} / 33) + 1$$

$$P_{ata} = (100 \text{ fsw} / 33) + 1$$

$$(P_2) = P_{ata} = \text{yaklaşık } 4 \text{ atm}$$

Bilinen değerleri formülde yerlerine koyalım;

$$V_2 = (P_1 V_1) / P_2$$

$$V_2 = (1 \times 200) / 4$$

$$V_2 = 50 \text{ ft}^3 \text{ (Balonun 100 feet derinlikteki hacmi } 50 \text{ ft}^3 \text{ olacaktır.)}$$

### 15.2.2. Örnek Problem

Sabit sıcaklıkta 10 m derinlikteki hacmi 25 L olan bir elastik balonun denizde 100 metredeki hacmi ne olur?

$$P_1 = \text{ilk basınç sath, 10 m deki mutlak basınç: } 2 \text{ ata}$$

$$V_1 = \text{ilk hacim, } 25 \text{ L}$$

$$P_2 = \text{son basınç, 100 m deki mutlak basınç: } 11 \text{ ata}$$

$$V_2 = \text{son hacim, ?}$$

$$P_1 V_1 = P_2 V_2 \text{ şeklindeki formül}$$

$$V_2 = (P_1 V_1) / P_2 \text{ şeklinde düzenlenir.}$$

Bilinen değerleri formülde yerlerine koyalım;

$$V_2 = (P_1 V_1) / P_2$$

$$V_2 = (2 \times 25) / 11$$

$$V_2 = 4,5 \text{ L (Balonun 100 m derinlikteki hacmi } 4,5 \text{ L olacaktır.)}$$

### 15.2.3. Örnek Problem

Sualtında, satıhtan ikmali bir başlıkla solunum yaparak, orta ağırlıklı bir iş ile meşgul olan dalgıcın ortalama solunum miktarı 1,4 acfm olduğunu kabul edersek; 100 ft derinlikte çalışan bir dalgıcın dakikada ortalama tükettiği havanın satih eşdeğer hacmi nedir?

$P_1$  = ilk basınç satıhtaki mutlak basınç: 1 ata

$V_1$  = ilk hacim, satih?

$P_2$  = son basınç, 100 ft deki mutlak basınç:

$P_{ata} = (100 \text{ fsw} / 33) + 1 = 4 \text{ ata}$

$V_2$  = son hacim, 1,4 acfm

$P_1 V_1 = P_2 V_2$  şeklindeki formül

$V_1 = (P_2 V_2) / P_1$  şeklinde düzenlenir.

Bilinen değerleri formülde yerlerine koyalım;

$V_1 = (4 \times 1,4) / 1 = 5,6 \text{ acfm}$

### 15.2.4. Örnek Problem

200 ft<sup>3</sup>'lük bir açık dalış çanını, 150 feet derinlikte, deniz suyu basıncını dengeleyecek şekilde Helyum-Oksijen karışımı ile dolduruluyor. Bu karışımın satih eşdeğer hacmini hesaplayınız.

$P_1$  = ilk basınç satıhtaki mutlak basınç: 1 ata

$V_1$  = ilk hacim, satih?

$P_2$  = son basınç, 150 ft deki mutlak basınç:

$P_{ata} = (150 \text{ fsw} / 33) + 1 = 5,5 \text{ ata}$

$V_2$  = son hacim, 200ft<sup>3</sup>

$P_1 V_1 = P_2 V_2$  şeklindeki formül

$V_1 = (P_2 V_2) / P_1$  şeklinde düzenlenir.

Bilinen değerleri formülde yerlerine koyalım;

$$V_1 = (5,5 \times 200) / 1 = 1100 \text{ ft}^3$$

### 15.2.5. Örnek Problem

Yukarıdaki örnekte belirtilen 200 ft<sup>3</sup> hacmindeki açık dalış çanına hava ikmalı kesilmesine rağmen, 150 ft den, 200 ft'e indirilirse, çan içindeki hava ve su oranı ne olur.

$P_1$  = ilk basınç mutlak basınç: 150 ft deki mutlak basınç:

$$P_{\text{ata}} = (150 \text{ fsw} / 33) + 1 = 5,5 \text{ ata}$$

$V_1$  = ilk hacim, satıl 200 ft<sup>3</sup>

$P_2$  = son basınç, 200 ft deki mutlak basınç:

$$P_{\text{ata}} = (200 \text{ fsw} / 33) + 1 = 7 \text{ ata}$$

$V_2$  = son hacim, ?

$P_1 V_1 = P_2 V_2$  şeklindeki formül

$V_2 = (P_1 V_1) / P_2 =$  şeklinde düzenlenir.

Bilinen değerleri formülde yerlerine koyalım;

$$V_2 = (5,5 \times 200) / 7 = 157 \text{ ft}^3 \text{ hava}$$

$$200 - 157 = 43 \text{ ft}^3 \text{ deniz suyu}$$

Oransal olarak su /hava oranı = 1/3,6 olur.

### 15.2.6. Örnek Soru

2000 psi basınçlı 600 inç<sup>3</sup> iç hacme sahip bir tüpte havanın gerçek hacmini (standart basınç ve sıcaklıktaki) ft<sup>3</sup> olarak bulunuz. (1 ft<sup>3</sup> = 1728 inç<sup>3</sup>)

$P_1$  = ilk basınç, 14,7 psia

$V_1$  = ilk hacim?

$P_2$  = son basınç, 2000 psi + 14,7 psi = 2014,7 psia

$$V_2 = \text{son hacim } 600 \text{ in}^3 = 0,34 \text{ ft}^3$$

$P_1V_1=P_2V_2$  şeklindeki formül

$$V_1 = (P_2V_2) / P_1 \text{ şeklinde düzenlenir.}$$

Bilinen değerleri formülde yerlerine koyalım;

$$V_1 = (2014,7 \times 0,34) / 14,7 = 46,6 \text{ ft}^3 \text{ veya } 46,6 \text{ scf (standart feet küp)}$$

### 15.3. Charles Kanunu

Charles Kanunu sıcaklığın hacim üzerindeki fiziksel etkisini tanımlar. Bu kanuna göre: “Sabit basınç altında, gazın hacmi mutlak sıcaklıkla doğru orantılı olarak değişir.” Eğer basınç sabit tutulursa ve mutlak sıcaklık iki katına çıkarsa, hacim de ikiye katlanır. Eğer sıcaklık düşerse hacim de düşer. Gazın sıcaklığı  $1^\circ\text{C}$  artırıldığında hacmi  $1/273^\circ\text{K}$  kadar artar. Gazın sıcaklığı  $1^\circ\text{F}$  artırıldığında hacmi  $1/460^\circ\text{R}$  kadar artar. Bu kanun özellikle çan dalışlarında hava kapasite hesapları açısından dalgıçlar için önemlidir (Serway ve Jewett, 2017).

Charles Kanununa göre; ( $P \rightarrow$  Sabit)

$$V_1/T_1 = V_2/T_2$$

$V_1$ : İlk Hacim

$T_1$ : İlk Sıcaklık (mutlak)

$V_2$ : Son Hacim

$T_2$ : Son Sıcaklık (mutlak)

#### 15.3.1. Örnek Problem

2 atm sabit basınçta,  $10^\circ\text{C}$  sıcaklıkta, 500 L hacme sahip bir gaz,  $20^\circ\text{C}$  ye ısıtılırsa yeni hacmi ne olur?

$$T_1 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 10^\circ\text{C} + 273 = 283^\circ\text{K}$$

$$T_2 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 20^\circ\text{C} + 273 = 293^\circ\text{K}$$

$$V_1 = 500 \text{ L}$$

$$V_2=?$$

$$V_1 / T_1 = V_2 / T_2$$

$$V_2 \times T_1 = V_1 \times T_2$$

$$V_2 = (V_1 \times T_2) / T_1$$

$$V_2 = (500 \times 293) / 283$$

$$V_2 = 517,6 \text{ L}$$

### 15.3.2. Örnek Problem

50 feet<sup>3</sup> kapasiteli dalış çanı, yüzey sıcaklığının 90 °F olduğu denizde, dip sıcaklığının 30 °F derece olduğu 200 feet derinliğe indiriliyor. Sıcaklığın etkisiyle oluşan yeni hacmi hesaplayınız.

$$T_1 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 90 \text{ } ^\circ\text{F} + 460 = 550 \text{ } ^\circ\text{R}$$

$$T_2 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 30 \text{ } ^\circ\text{F} + 460 = 490 \text{ } ^\circ\text{R}$$

$$V_1 = 50 \text{ ft}^3$$

$$V_2 = ?$$

$$V_1 / T_1 = V_2 / T_2$$

$$V_2 \times T_1 = V_1 \times T_2$$

$$V_2 = (V_1 \times T_2) / T_1$$

$$V_2 = (50 \times 490) / 550$$

$$V_2 = 44,5 \text{ ft}^3$$

### 15.3.3. Örnek Problem

Okyanusta kapalı dalış çanı ile yapılan bir dalışta, 1atm yüzey basıncı ile kapatılan çan, sıcaklığın 30°F olduğu 500 ft derinliğe indiriliyor. Çanın iç basıncını, dış basınçla eşitlemek için satıhtan basınçlandırma işlemi gerçekleştirilirken çan içindeki sıcaklık 100 °F'ye çıkıyor. Çanın kaportası açılarak dalgıçlar çalışmaya başlıyor. Birkaç saat sonra ısıtma sistemindeki bir

arızadan dolayı kapsülün içindeki sıcaklık, bulunduğu derinlikteki deniz suyu sıcaklığına eşitlenene kadar düşüyor. Kapsüle gaz ilave edilmemesi halinde kapsülün içini dolduracak deniz suyunun hacmi ne olur.

$$T_1 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 100 \text{ } ^\circ\text{F} + 460 = 560 \text{ } ^\circ\text{R}$$

$$T_2 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 30 \text{ } ^\circ\text{F} + 460 = 490 \text{ } ^\circ\text{R}$$

$$V_1 = ?$$

$$V_2 = ?$$

Hacimler verilmemiş; hacimdeki yüzdellik değişim isteniyor.

$$V_1 / T_1 = V_2 / T_2$$

$$V_2 \times T_1 = V_1 \times T_2$$

$$V_2 = (V_1 \times T_2) / T_1$$

$$V_2 = (V_1 \times 490) / 560$$

$$V_2 = V_1 0,87$$

Yüzdellik ifade ile değerlendirmek gerekirse

$$V_2 = 0,87 V_1 \times 100 = \%87 V_1$$

$$V_2 = \%87 V_1$$

Suyla dolacak hacim:  $100 - 87 = \%13$

#### 15.4. Gay-Lussac Kanunu

Bu kanuna göre, sabit hacimde bir gazın basıncı ile mutlak sıcaklık arasında doğrudan bir ilişki bulunur. Gay-Lussac Kanunu, bir gazın sıcaklığındaki artışın, basıncın da artmasına yol açtığını, sıcaklık düştüğünde ise basıncın azaldığını açıklar. Yeni doldurulmuş bir tüpün sıcak olmasının sebebi, gazın içinde bulunan hava moleküllerinin hızlanarak daha sık çarpışmalar yapmasıdır. Tüp soğuduğunda ise gazın sıcaklığı düşer, moleküllerin hareketi yavaşlar ve bu nedenle iç basınç da azalır. Bu kanunlar tüplerin doldurulması ve muhafazası ile kapasite hesapları açısından dalgıçlar için önemlidir. Sıcaklık koşulları uç noktalarda olmadığı sürece hava ikmal

süresini etkilemez. Uç sıcaklıklarda dalış yapıldığında Gay-Lussac kanunu uygulanmalıdır (Crosland, 1963).

Gay-Lussac Kanununa göre; ( $V \rightarrow$  Sabit)

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2$$

$P_1$  = ilk basınç (mutlak)

$P_2$  = son basınç (mutlak)

$T_1$  = ilk sıcaklık (mutlak)

$T_2$  = son sıcaklık (mutlak)

### 15.4.1. Örnek Problem

10 L'lik dalış tüpü, sıcaklığı 15 °C olan bir su bidonu içerisinde 200 atm basınçla dolduruluyor. Tüp dolumu sonunda güneş altında kalan tüpün sıcaklığı 40 °C'ye ulaşıyor. Tüp manometreden okunan yeni basıncı ne olur?

$$T_1 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 15 \text{ } ^\circ\text{C} + 273 = 288 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 40 \text{ } ^\circ\text{C} + 273 = 313 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$P_1 = \text{ilk basınç (mutlak): } 200 \text{ atm} + 1 = 201 \text{ ata}$$

$$P_2 = \text{son basınç (mutlak): ?}$$

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2$$

$$201 / 288 = P_2 / 313$$

$$P_2 = 218,44 \text{ ata}$$

Geyç basıncına dönüştürürsek;

$$P_2 = 218,44 \text{ ata} - 1 \text{ atm} = 217,44 \text{ atm}$$

### 15.4.2. Örnek Problem

İç hacmi 10 ft<sup>3</sup> olan bir tüp, 3000 psig basınçla doldurulduktan sonra, sıcaklığın 70 °F olduğu bir ortamda bekletiliyor. Çıkan yangın nedeniyle ortam sıcaklığı 200 °F'ye yükseliyor. Tüpün yeni basıncı nedir?

$$T_1 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 70 \text{ } ^\circ\text{F} + 460 = 530 \text{ } ^\circ\text{R}$$

$$T_2 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 200 \text{ } ^\circ\text{F} + 460 = 660 \text{ } ^\circ\text{R}$$

$$P_1 = \text{ilk basınç (mutlak): } 3000 \text{ psig} + 14,7 \text{ psi} = 3014,7 \text{ psia}$$

$$P_2 = \text{son basınç (mutlak): ?}$$

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2$$

$$3014,7 / 530 = P_2 / 660$$

$$P_2 = 3754,15 \text{ psia}$$

Geyç basıncına dönüştürürsek;

$$P_2 = 3754,15 \text{ psia} - 14,7 \text{ psi} = 3739,45 \text{ psig}$$

### 15.4.3. Örnek Problem

120 ft derinlikte bir kurtarma operasyonu için, 18 L'lik, 8 adet SCUBA tüpü, hava bankaları aracılığı ile hızlıca 3000 psig basınçla doldurularak dalış timine yedekli olarak bağlanıyor. Tüp sıcaklığı 150 °F iken dalış yapılacak derinlikteki su sıcaklığı 30 °F 'dır. Dalgıcın yedeğinde taşıdığı bu tüplerin vanası açıldığında, geyç değeri ne okunur.

$$T_1 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 150 \text{ } ^\circ\text{F} + 460 = 610 \text{ } ^\circ\text{R}$$

$$T_2 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 30 \text{ } ^\circ\text{F} + 460 = 490 \text{ } ^\circ\text{R}$$

$$P_1 = \text{ilk basınç (mutlak): } 3000 \text{ psig} + 14,7 \text{ psi} = 3014,7 \text{ psia}$$

$$P_2 = \text{son basınç (mutlak): ?}$$

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2$$

$$3014,7 / 610 = P_2 / 490$$

$$P_2 = 2421,6 \text{ psia}$$

Geyç basıncına dönüştürürsek;

$$P_2 = 2421,6 \text{ psia} - 14,7 \text{ psi} = 2407 \text{ psig}$$



#### 15.4.4. Örnek Problem

100 fsw derinlikte, bir denizaltı personel kurtarma operasyonunda, iç sıcaklığı 30°C'de sabitlenmiş ısıtma donanımına sahip Personel Transfer Kapsülü (Kapalı Dalış Çanı) içindeki seyyar SCUBA tüpü, 3000 psig basınç göstermektedir. Bu tüpü yedeğine alarak, çandan çıkış yapan dalgıç, 5°C'lik suda, operasyon sahasına gelerek tüpü kullanıma açıyor. Geyçde okunan değer nedir?

$$T_1 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 30^\circ\text{C} + 273 = 303^\circ\text{K}$$

$$T_2 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 5^\circ\text{C} + 273 = 278^\circ\text{K}$$

$$P_1 = \text{ilk basınç (mutlak): } 3000 \text{ psig} + 14,7 \text{ psi} = 3014,7 \text{ psia}$$

$$P_2 = \text{son basınç (mutlak): ?}$$

$$P_1 / T_1 = P_2 / T_2$$

$$3014,7 / 303 = P_2 / 278$$

$$P_2 = 2765,9 \text{ psia}$$

Geyç basıncına dönüştürürsek;

$$P_2 = 2765,9 \text{ psia} - 14,7 \text{ psi} = 2751,2 \text{ psig}$$

#### 15.5. Birleşik (Genel) Gaz Kanunu

Sıcaklık, Hacim ve Basınç değişkenlerinin aynı anda değişim gösterdikleri durumda, büyüklük ve oranı gösteren yeni bir eşitlik oluşur. Genel Gaz Kanunu, bu üç faktörün herhangi birindeki değişimin diğerleri üzerine nasıl etki yaptığını açıklar. Bu konudaki ilgili yasa Birleşik (Genel) Gaz Yasasıdır.

Eşitlik denklemi ise aşağıdaki gibi formüle edilir.

$$(P_1 \times V_1) / T_1 = (P_2 \times V_2) / T_2$$

$V_1$ : İlk Hacim

$V_2$ : Son Hacim

$P_1$  = ilk basınç (mutlak)

$P_2$  = son basınç (mutlak)

$T_1$  = ilk sıcaklık (mutlak)

$T_2$  = son sıcaklık (mutlak)

Genel Gaz Kanununu kullanırken sadece bir tane bilinmeyen olmalıdır.

Eğer herhangi bir değişkenin değişmeden kaldığı (hava tüpü hacminin sabit olması gibi) veya değişkendeki değişimin çok küçük olduğu biliniyorsa eşitlik basite indirgenebilir. Böyle bir durumda eşitliği basitleştirmek için her iki taraftaki aynı değer atılır.

### 15.5.1. Örnek Problem

100 fsw derinlikte, 30 °F'su sıcaklığında, satıhtan ikmali bir donanımla, tek dalgıç tarafından gerçekleştirilen sualtı işinde; Kompresörün boşaltma (disçarc, discharge) kapasitesi 10 cfm ve gemi güvertesindeki hava sıcaklığı 90°F'dır. Kompresörün; hem çalışan dalgıca, hem de acil durum için hazırda bekleyen stand-by dalgıca, yeterli hava hacmini sağlayıp sağlayamayacağını hesaplayınız. (Unutmayınız; orta ağırlıklı bir dalgıç işinde, bir dalgıç için dakikada gerekli gerçek hava hacmi yani akış miktarı (debisi) ortalama 1,4 acfm'dir)

$$T_1 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 90 \text{ } ^\circ\text{F} + 460 = 550 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$T_2 = \text{mutlak sıcaklık değerine dönüştürmek için } 30 \text{ } ^\circ\text{F} + 460 = 490 \text{ } ^\circ\text{K}$$

$$P_1 = \text{ilk basınç (mutlak): } 1 \text{ ata}$$

$$P_2 = \text{son basınç (mutlak): } (100 \text{ ft} / 33) + 1 \text{ atm} = 4 \text{ ata}$$

$$V_1: \text{İlk Hacim: } 10 \text{ ft}^3$$

$$V_2: \text{Son Hacim: ?}$$

$$V_2 = (P_1 V_1 T_2) / P_2 T_1$$

$$V_2 = (1 \times 10 \times 490) / 4 \times 550$$

$$V_2 = 4900 / 2200 = 2,22 \text{ ft}^3/\text{dk (acfm)(dipte)}$$

Stand-by dalgıcı da dikkate alırsak

$$1,4 \text{ acfm} \times 2 = 2,8 \text{ acfm}$$

Bu durumda; ihtiyaç olunan hava miktarı (2,8acfm), kompresörün 100ft derindeki discharge kapasitesinden (2,22) düşük olduğu için bu dalış planı risklidir ve yapılmamalıdır. Güvenli bir dalış operasyonu için, çıkan sonucun (hava üretim miktarının), hava tüketim miktarından (2,8 acfm değerinden) büyük olması gerekmektedir. Başka bir ifade ile kompresörün sağladığı hava hacmi, 100 feet'teki dalgıç ve stand-by için güvenli değerdir.

### 15.6. Dalton Kısmi Basınç Kanunu

Dalton Kanunu'na göre, bir gaz karışımının toplam basıncı, karışımdaki her bir gazın oluşturduğu basınçların toplamına eşittir. Bu, her bir gazın tek başına mevcut olduğu ve tüm hacmi kapladığı varsayımıyla açıklanır. Bir gaz karışımındaki bir gazın kısmi basıncı, karışımın toplam basıncı ile o gazın mol kesrinin çarpımına eşittir. Ayrıca, karışımın toplam basıncı, tüm gazların kısmi basınçlarının toplamına denk gelir. John Dalton tarafından ampirik (deneysel) olarak gözlemlenmiş ve 1802 yılında yasalaşarak yayımlanmıştır.

Bir gaz karışımında tek bir gaz tarafından uygulanan basıncın toplam basınç içindeki oranına kısmi basınç (pp/partial pressure) denir. Örneğin 1 atmosfer basınçta yalnızca oksijen ile doldurulmuş bir tüpteki oksijenin kısmi basıncı 1 atm olacaktır. Ama aynı tüp 1 atm basınçta kuru hava ile doldurulursa, havanın içindeki gazların kısmi basıncı, karışım içindeki yüzdelik oranı kadar olacaktır.

**Tablo13:**Atmosferik Hava Karışımındaki Gazların Farklı Basınçlarda Kısmi Basıncı

Gaz	Karışımdaki Oranı	1 Atm deki Kısmi Basıncı	10 Atm deki Kısmi Basıncı
Nitrojen	78,08	0,7808	7,808
Oksijen	20,946	0,20946	2,0946
Karbondioksit	0,033	0,00033	0,0033
Diğer	0,0934	0,00934	0,0934
Toplam	100,00	1	10

ABC gaz karışımının basıncı; karışımı oluşturan A, B, C gazlarının kısmi basınçlarının toplamına eşittir.

$$P_{\text{TOPLAM}} = ppA + ppB + ppC.....$$

Karışımındaki yüzdelik oranı bilinen gazların kısmi basıncını bulmak için aşağıdaki formül kullanılır.

$$ppA = (P_{\text{TOPLAM}} \times \%A)$$

Kısmi basıncı bilinen gazın, karışımındaki yüzdelik oranı bulunmak istenirse aşağıdaki formül kullanılır.

$$\%A = ppA / P_{\text{TOPLAM}}$$

Dalton Kısmi Basınç Kanunu gösteriyor ki; derinlikle birlikte gazların kısmi basıncında da artış oluyor. 40 m derinlikte normal hava karışımı soluyan bir dalgıç, satıhta saf oksijen soluyan bir dalgıçtan 5 kat daha fazla oksijen molekülü soluyor anlamına gelmektedir. Eğer satıhtaki hava karışımına %2 oranında karbondioksit karışmış ise, bu durum satıhta ( $ppCO_2 = 0,02$  ata) bir problem yaratmazken, 40 m derinlikte solunduğunda kısmi basıncı 0,1 ata'ya ( $0,02 \times 5$ ) yükselecek yani %10 oranında  $CO_2$  içeren bir karışım solunmuş gibi, çok ciddi sorunlara yol açabilecektir.

Dipteki soluduğumuz gazların kısmi basıncının, satıhtaki karşılığının, insan fizyolojisi bakımından sorun yaratmayacak değerler aralığında kaldığını hesaplayarak görmemizi gerekir. Başka bir ifade ile belirli derinlikte soluyacağımız gazların kısmi basınçlarının ayarlanması, yüzeydeki karışım yüzdelilerinin ve kısmi basınç oranlarının hesaplanması ile sağlanabilmektedir. Örneğin 60 m derinlikte atmosferik hava karışımı soluyan bir dalgıç, satıhta saf oksijen soluyan bir insandan çok daha fazla oksijen molekülü solur sonucuna ulaşırız. Yani belirli bir süreden fazla solunması halinde oksijen zehirlenmesi yaşayabilir. Bu nedenle ya satıhtaki oran düşürülmeli, ya derinlik düşürülmeli, ya da soluma süresi düşük tutulmalıdır.

Örneğin; Karbondioksit ( $CO_2$ ) için %3-6 arasındaki oranlar baş ağrısına neden olurken, %6-10 arasındaki oranlar baş dönmesi ve şuur kaybı, %10'dan fazla bir oranın solunması halinde ise birkaç dakikada ölüme neden olur. Aynı

şekilde Oksijen ( $O_2$ ) için %5-10 arasındaki oranlar bayılma, %5'in altındaki oranlar ise ölüme neden olur. En zehirli olan karbon monoksit ( $CO$ ) ise, %0,5 oranın da solunum gazında bulunursa 30 dakikada ölüme neden olur. Tüm bu oranlar, Dalton'un Kısmi Basınçlar Kanunu ile açıklık kazanır (US NAVY, 2016).

Kısmi basınç hesaplamasının diğer bir yolu T formülünü kullanmaktır. T formülünü kullanırken yalnız tek bir bilinmeyen olabilir. Bu durumda sonuç çaprazların bir çarpımı veya üst üste olanların bölümü işlemine kalır.

$$\frac{\text{Kısmi basınç (pp)}}{\text{Mutlak Basınç (ata veya psia)} \mid \text{Hacmin \% 'lik Oranı (ondalık formda)}}$$

### 15.6.1. Örnek Problem

100 m derinlikte, solunum gazındaki %10 oksijen karışımındaki, oksijenin kısmi basıncını T formülü ile bulunuz.

Mutlak basıncı bulalım:  $(100m / 10) + 1 = 11$  ata

Hacmin %'lik oranı (ondalık formda) = 0,10

Bilinenleri yerine koyalım.

$$\frac{\text{ppO}_2}{11 \text{ ata} \mid 0,10}$$

$$\text{ppO}_2 = 11 \times 0,10 = 1,1 \text{ ata}$$

### 15.6.2. Örnek Problem

150 fsw derinlikte satıhtan ikmali solunan, atmosferik hava karışımındaki oksijen, azot ve karbondioksit gazlarının kısmi basıncını hesaplayınız.

Dipteki  $O_2$ ,  $N_2$  ve  $CO_2$  kısmi basınçlarını hesaplayalım.

Mutlak basıncı bulalım:

$$Ata = (150\text{ft} / 33) + 1 = \text{yaklaşık } 5,5 \text{ ata}$$

$$ppO_2 = 0,21(\text{atmosferik karışım}) \times 5,5 \text{ ata} = 1,15 \text{ ata}$$

$$ppN_2 = 0,79 (\text{atmosferik karışım}) \times 5,5 \text{ ata} = 4,34$$

$$ppCO_2 = 0,003 (\text{atmosferik karışım}) \times 5,5 \text{ ata} = 0,016 \text{ ata}$$

### 15.6.3. Örnek Problem

150 feet derinlikteki bir dalışta, solunum hava karışımındaki oksijen kısmi basıncının 5 ata olması için, hazırlanacak karışımdaki oksijen yüzdesi ne olmalıdır.

Mutlak basıncı bulalım:

$$Ata = (150\text{ft} / 33) + 1 = \text{yaklaşık } 5,5 \text{ ata}$$

$$pp O_2 = P_{\text{TOPLAM}} \times \% O_2$$

$$\%O_2 = pp O_2 / P_{\text{TOPLAM}}$$

$$\%O_2 = 5 / 5,5$$

$$\%O_2 = 0,90 = \%90 \text{ Oksijen}$$

### 15.6.4. Örnek Problem

100 ft derinliğe HeO<sub>2</sub> dalışı planlanıyor. 90 dakika dip zamanlı gerçekleşecek dalış operasyonunda 60/40 ve 68/32 karışımlarından hangisi oksijen bakımından emniyetli dalış sayılır. (Normal şartlarda maksimum emniyetli oksijen kısmi basıncı 1.3 ata'dır)

Mutlak basıncı bulalım:

$$Ata = (100\text{ft} / 33) + 1 = \text{yaklaşık } 4 \text{ ata}$$

$$pp O_2 = P_{\text{TOPLAM}} \times \% O_2$$

$$\%O_2 = pp O_2 / P_{\text{TOPLAM}}$$

$$\%O_2 = 1,3 / 4$$

$$\%O_2 = 0,325 = \%32,5 \text{ Oksijen}$$

Elde mevcut iki karışımdan 68/32 oranlı karışım emniyetle kullanılabilir. 60/40 oranlı

Karışımındaki oksijen kısmi basıncı emniyetli değer olan 1,3 ata üzerinde olduğu için oksijen zehirlenmesi riski taşır.

### 15.6.5. Örnek Problem

Saturasyon dalış sisteminde; personel transfer kapsülü (PTC) 700 ft'de 1 ata kısmi basınca denk gelecek şekilde HeO<sub>2</sub> karışımı ile dolduruluyor.

a) Oksijen yüzdesini hesaplayınız.

b) Dalgıç kapsülden çıkıp 800 ft derinliğe inmesi halinde soluyacağı oksijenin kısmi basıncını bulunuz.

a) Mutlak basıncı bulalım:

$$Ata = (700ft / 33) + 1 = \text{yaklaşık } 22 \text{ ata}$$

Karışımın yüzdesini bulalım:

$$pp O_2 = P_{\text{TOPLAM}} \times \% O_2$$

$$\%O_2 = pp O_2 / P_{\text{TOPLAM}}$$

$$\%O_2 = 1 / 22$$

$$\%O_2 = 0,045 = \% 4,5 \text{ Oksijen}$$

b) 800 ft için mutlak basıncı bulalım

$$Ata = (800ft / 33) + 1 = \text{yaklaşık } 25 \text{ ata}$$

Oksijenin kısmi basıncını bulalım:

$$pp O_2 = P_{\text{TOPLAM}} \times \% O_2$$

$$pp O_2 = 25 \times 0,045$$

$$pp O_2 = 1,125 \text{ ata}$$

### 15.6.6. Örnek Problem

100 Ft derinlikte iken  $ppO_2$ 'nin 0,88 ile 1,4 ata arasında tutulması için gerekli olan minimum ve maksimum oksijen yüzdelerini hesaplayın.

Öncelikle; Minimum  $ppO_2$ 'yi (0,88) sağlamak için karışımdaki oksijen yüzdesi bulalım

$$\text{Mutlak Basınç} = (100 + 33)/33 = 4,03$$

$$0,88 \text{ ata} / 4,03 = 0.218 \times 100 = \% 21,8$$

Şimdi; Maksimum  $ppO_2$ 'yi (1,4) sağlamak için karışımdaki oksijen yüzdesi bulalım

$$1,4 / 4,03 = 0,347 \times 100 = \% 34,7$$

### 15.7. Satıh Eşdeğer Hacminin / Yüzdesinin Hesaplanması

Yukarıda, Dalton Kısmi Basınç Kanununa göre, belirli derinliklerde solunan karışım içindeki gazların kısmi basınçlarını hesaplamayı öğrendik. Ancak bazen hesaplamalara ters bir mantıkla yaklaşmak gerekmektedir. Yani dipte soluduğumuz bir karışım içindeki gazların, satıhtaki değerlerini hesaplayabilmek önem arz eder. Çünkü bazen dipteki soluduğumuz gazların kısmi basıncının, satıhtaki karşılığının, insan fizyolojisi bakımından sorun yaratmayacak değerler aralığında kaldığını hesaplayarak görmemizi gerektirir. Başka bir ifade ile belirli derinlikte soluyacağımız gazların kısmi basınçlarının ayarlanması, yüzeydeki karışım yüzdelerinin ve kısmi basınç oranlarının hesaplanması ile sağlanabilmektedir. Örneğin yukarıdaki örnek problemi ele aldığımızda; “150 feette hava soluyan bir dalgıç, satıhta saf oksijen soluyan bir insandan daha fazla oksijen molekülü solur” sonucuna ulaşmamızı sağlar. Yani belirli bir süreden fazla solması halinde oksijen zehirlenmesi yaşayabilir. Bu nedenle ya satıhtaki oran düşürülmeli, ya derinlik düşürülmeli, ya da soluma süresi düşük tutulmalıdır. Tam tersi bir durumda; 150 fsw de insan sağlığı için normal sınırlar aralığında olan oksijen kısmi basıncı ve oranı, satıhta solunduğunda, oksijen yetersizliğine neden olarak bayılma ve ölümlere neden olabilir. Bu durum karışıma giren tüm gazlar için dikkate alınmalıdır.



Bu bilgiler ışığında Satıh Eşdeğer Hacmi aşağıdaki formülle hesaplanabilmektedir.

Satıh Eşdeğer Hacmi/Yüzdesi (SEV%) =

Bulunan Derinlikteki Kısmi Basınç(ata) / 1 Ata (Satıh Basıncı)

Bu kavram kısaltma olarak “Satıh Eşdeğeri (SEV)” olarak adlandırılır ve sonuç % olarak ifade edilir. Yani 100 ile çarpılır.

### 15.7.1. Örnek Problem

150 ft’de %10’luk karbondioksit oranının (öldürücü seviye) ulaştığı kısmi basınca satıhta ulaşabilmek için, satıhtaki havanın içindeki karbondioksit yüzdesinin ne olması gerekir. Yani “Satıh Eşdeğeri (SEV)” ne olmalıdır?

Satıh eşdeğerini hesaplamak için kullanılan formül;

SEV% = Bulunan Derinlikteki Kısmi Basınç(ata) / 1 Ata (Satıh Basıncı)

Mutlak basıncı bulalım:

Ata= (150ft /33) +1= yaklaşık 5,5 ata

ppCO<sub>2</sub> = 0,1 oran x 5,5(ata) = 0,55 ata

%SEV= Bulunan Derinlikteki Kısmi Basınç (ata) / 1 Ata (Satıh Basıncı)

%SEV= 0,55 / 1 = 0,55 = %55

150 fsw’de %10’luk öldürücü seviyeye ulaşan karbondioksitin ulaştığı kısmi basınca satıhta ulaşabilmek için satıhtaki havanın içindeki karbondioksit yüzdesinin yaklaşık %55 olması gerekecektir ki, bu genellikle “Satıh Eşdeğeri (SEV)” olarak adlandırılır ve % olarak ifade edilir.

### 15.7.2. Örnek Problem

Dalış sırasında 100 ft derinlikte 1 ata kısmi basınca sahip Oksijen soluyan dalgıcın tüpündeki oksijenin satıh eşdeğer hacmi nedir?

%SEV= Bulunan Derinlikteki Kısmi Basınç(ata) / 1 Ata (Satıh Basıncı)

%SEV= 1 / 1 = 1 = %100

### 15.7.3. Karışımdaki Bir Gazın Yüzdesinin Değiştirilmesi

Dalış operasyonları öncesi, solunum gaz karışımlarının hazırlanması aşamasında, elde mevcut olan, daha önceden hazırlanmış bir karışımın içeriğindeki gazların yüzdelik oranının değiştirilmesi istenebilir. Ancak bu durum; istenen hedef gazın yüzdesini artırmak veya düşürmek şeklinde olabilir. Bu durumda iki şekilde işleyen bir formül oluşturulabilir.

$$\text{Hedef gazın yüzdesini düşürmek için; } F = (P \times X_1) / X_2$$

$$\text{Hedef gazın yüzdesini artırmak için; } F = (P \times X_2) / X_1$$

$$F = \text{İstenilen son tank basıncı}$$

$$P = \text{Mevcut tank basıncı}$$

$$X_1 = \text{Hedef gazın ilk yüzdesi (ondalık olarak)}$$

$$X_2 = \text{Hedef gazın son yüzdesi (ondalık olarak)}$$

### 15.7.4. Örnek Problem

%25 oksijen içeren 2000 psi basınçlı HeO<sub>2</sub> karışımını tanktaki oksijen oranını % 20'ye düşürmek için, yeni tank basıncı kaç psi olana kadar saf Helyum eklemesi yapılmalıdır?

$$F = (P \times O_1) / O_2$$

$$F = (2000 \times 25) / 20 = 2500 \text{ psi}$$

Yorum: Tank basıncı 2500 psi basınca çıkana kadar Helyum eklemesi yapılmalıdır.

### 15.7.5. Örnek Problem

%20 oksijen içeren 2000 psi basınçlı HeO<sub>2</sub> karışımını tanktaki oksijen oranını % 25'e çıkartmak için, yeni tank basıncı kaç psi olana kadar saf oksijen eklemesi yapılmalıdır?

$$F = (P \times O_2) / O_1$$

$$F = (2000 \times 25) / 20 = 2500 \text{ psi}$$

Yorum: Tank basıncı 2500 psi basınca çıkana kadar Oksijen eklemesi yapılmalıdır.

### 15.7.6. Örnek Problem

%80 Helyum içeren 2000 psi basınçlı HeO<sub>2</sub> karışımlı tanktaki Helyum oranını % 75'e düşürmek için, yeni tank basıncı kaç psi olana kadar saf Oksijen eklemesi yapılmalıdır?

$$F = (P \times H_1) / H_2$$

$$F = (2000 \times 80) / 75 = 2133,3 \text{ psi}$$

Yorum: Tank basıncı 2133,3 psi basınca çıkana kadar saf Oksijen eklemesi yapılmalıdır.

### 15.7.7. Örnek Problem

%75 Helyum içeren 2000 psi basınçlı HeO<sub>2</sub> karışımlı tanktaki Helyum oranını % 80'e çıkartmak için, yeni tank basıncı kaç psi olana kadar saf helyum eklemesi yapılmalıdır?

$$F = (P \times H_2) / H_1$$

$$F = (2000 \times 80) / 75 = 2133,3 \text{ psi}$$

Yorum: Tank basıncı 2133,3 psi basınca çıkana kadar Helyum eklemesi yapılmalıdır.

## 15.8. Karışım Kullanılarak Bir Karışım Oranının Değiştirilmesi

Mevcut bir karışımın içindeki gazların (Oksijen, Helyum vs.) yüzdesini değiştirmek gerektiğinde, elde her zaman saf oksijen veya saf helyum mevcut olmayabilir. Farklı oranlarda Oksijen ve Helyum içeren bir başka karışım bulunabilir. Aynı gazlardan oluşan fakat farklı yüzdeler oranlara sahip karışımları kullanarak, istenen yüzdeler oranda yeni bir gaz karışımı hazırlamak mümkündür. Ancak yeni karışımdaki ayarlanmak istenen gazın yüzdesi, ilave edilecek karışımdaki yüzdeler oran ile değiştirilmek istenen karışımdaki yüzdeler oranın arasında olmak zorundadır. Bu durum aşağıdaki formülde

açıklanabilir;

$$P_2 = P_1 (\%X_3 - \%X_1) / (\%X_2 - \%X_3)$$

$P_2$  = İlave edilecek karışımın basıncı

$P_1$  = Orijinal (değiştirilmek istenen) karışımın basıncı

$\%X_1$ = Orijinal (değiştirilmek istenen) karışımdaki X gazının yüzdesi (ondalık)

$\%X_2$ = İlave edilecek karışımdaki X gazının yüzdesi (ondalık)

$\%X_3$ = İstenen (yeni karışım) karışımdaki X gazının yüzdesi (ondalık)

Not:  $X_3$ , her zaman  $X_1$  ile  $X_2$  arasında bir değerde olmalıdır.

### 15.8.1. Örnek Problem

Elimizde 2000 psig basınçta %30  $O_2$  + %70 He karışımı mevcuttur. Bu karışıma elde mevcut %50  $O_2$  + %50 He oranındaki başka bir karışımdan ne kadar ilave etmeliyiz ki sonuçta %40  $O_2$  + %60 He oranında bir karışım elde edelim.

$$P_2 = P_1 (\%X_3 - \%X_1) / (\%X_2 - \%X_3)$$

$$P_2 = P_1 (\%O_3 - \%O_1) / (\%O_2 - \%O_3)$$

$$P_2 = (2000 \times (0,40 - 0,30)) / (0,50 - 0,40)$$

$$P_2 = 2000 \text{ psi}$$

Yorum: 2.000 psig'te 30/70'lik bir karışıma, 2000 psi 50/50'lik karışım ilave edilirse;

4000 psig'te 40/60'lik bir karışım elde edilebilir.

### 15.8.2. Örnek Problem

(15.9.1'deki örnek, Helyum içinde aynı şekilde hesaplanabilir)

Elimizde 2000 psig basınçta %50  $O_2$  + %50 He karışımı mevcuttur. Bu karışıma elde mevcut %30  $O_2$  + %70 He oranındaki başka bir karışımdan ne

kadar ilave etmeliyiz ki sonuçta %40 O<sub>2</sub> + %60 He oranında bir karışım elde edelim.

$$P_2 = P_1 (\%X_3 - \%X_1) / (\%X_2 - \%X_3)$$

$$P_2 = P_1 (\%H_3 - \%H_1) / (\%H_2 - \%H_3)$$

$$P_2 = (2000 \times (0,60 - 0,50)) / (0,70 - 0,60)$$

$$P_2 = 2000 \text{ psi}$$

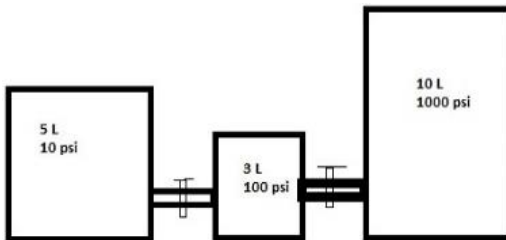
Yorum: 2.000 psig'te 50/50'lik bir karışıma, 2000 psi 30/70'lik karışım ilave edilirse; 4000 psig'te 40/60'lik bir karışım elde edilebilir.

### 15.9. Birleşik Kaplarda Basınç Hesabı

Birbirine vana bağlantıları olan, farklı hacim ve basınca sahip (sıcaklık sabit) çeşitli sayıdaki, kapalı tankın, vanaların açılması durumunda, içeriğindeki son basıncın hesaplanmasında aşağıdaki bağlantının kurulması gerekir. Konu; basınç ve hacmin ters orantılı olduğu Boyle yasası ile bağlantılı olsa da, vanaların açılması halinde kısmi basınçların birbirini etkileyerek son basıncın oluşmasına neden olduğu için Dalton yasaları ile ilişki içindedir. Basınç bakımından kararsız ve dengesiz durumda olan farklı hacimler, vanaların açılmasıyla dengeye kavuşur. Yukarıdaki açıklama, bir örnekle aşağıda ifade edilmiştir.

#### 15.9.1. Örnek Problem

Vanalar açıldığında aşağıdaki tank sisteminin son basıncı ne olur?



$$P1.V1 + P2.V2 + P3.V3 = P_{son}.V_{son}$$

**Çözüm 1:**

$$(10P.5V)+(100P.3V)+(1000P.10V)= P_{son}.(5V+3V+10V)$$

$$50PV+300PV+10000PV= P_{son}.18V$$

$$10350PV = P_{son}.18V$$

$$P_{son} = 10350PV / 18V$$

$$P_{son} = 575P_{son}$$

**Çözüm 2:**

$$(5 \times 10) + (3 \times 100) + (10 \times 1000) = (5 + 3 + 10)P$$

$$50 + 300 + 10000 = 18P$$

$$10350 / 18P$$

$$= 575P \text{ psi}$$

**15.10. Henry Kanunu**

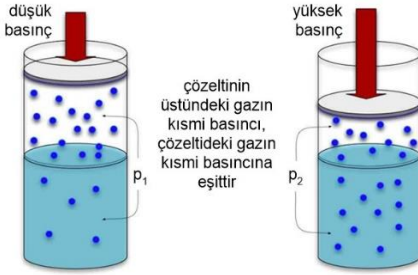
İngiliz kimyager William Henry tarafından 19. Yüzyıl başlarında formüle edilen, sıvı içerisinde emilen gazların miktarı ile ilgili bir gaz yasasıdır. Yasaya göre; "Bir sıvının içerisinde çözünecek gazın miktarı, o gazın kısmi basıncı ile doğru orantılıdır." Orantı faktörü, Henry yasası sabiti olarak adlandırılır. İnsan vücudunun büyük bir kısmı su (sıvı) olduğu için, dalış sırasında, basınç arttıkça vücut sıvısı ve dokularındaki çözünen gaz miktarı artacaktır. Basıncın artışına paralel olarak gaz çözünü mü orantılı olarak artarken, basıncın azalması ile birlikte de çözünen gazlar, vücut doku ve sıvılarını terk etmeye başlayacaktır.

Henry, suyun absorpladığı gazların deneysel sonuçlarını şöyle açıklamıştır:

"Gazın üzerindeki basınç, normal atmosfer basıncının bir, iki veya daha fazla artırılması durumunda, suyun absorbe edebileceği yoğunlaşmış gaz miktarı da aynı oranda artar."

Bu kanunla ilgili verilebilecek en iyi örnek; dalgıçların, dalış derinliği ve

süresine bağlı olarak, vücut sıvı ve dokularında, oksijen ve nitrojen (% olarak fazla ve asal gaz olduğu için etkili gaz nitrojendir) gazının çözünürlüğünün artması ile başlayan ve dalış sonunda basıncın azalması ile ters yönde meydana gelen kabarcıklanma (desorbsiyon), dekompresyon hastalığının (vurgun) temel nedenini oluşturur.



**Şekil 12:** Basınç Altındaki Gazların Sıvı İçerisine Geçişini Gösteren İki Silindirik Sistem (https://bilsenesergil.blogspot.com/p/henry-yasas-kimyada-henry-yasas-bir.html)

### 15.10.1. Henry Yasasıyla İlgili İlkeler

#### 15.10.1.1. Gaz Gerilimi (Tansiyonu)

İçerisinde hiç çözünmüş gaz olmayan bir sıvı, bir gazla ilk kez temasa geçtiğinde, gaz molekülleri kısmi basınçlarının itici gücüyle büyük bir hızla sıvıya karışmaya başlarlar. Moleküller sıvıya karışıkça sıvının içinde bir "Gaz Gerilimi" oluşmaya başlar. Gaz gerilimi, bir sıvıdaki gazın kısmi basıncını tanımlamak için kullanılır. Sıvı içindeki gaz gerilimi ile dış ortamda bulunan gazın kısmi basıncı arasındaki fark ise "**Basınç Gradyeni (Meyli)**" olarak adlandırılır. Basınç gradyeni (meyli) sıvıya karışan veya sıvıdan atılan gazın karışma/atım hızını tanımlamada kullanılır (US NAVY, 2016).

#### 15.10.1.2. Gaz Emilmesi

Deniz seviyesinde vücut dokuları, akciğerlerdeki nitrojenin kısmi basıncına eşit bir kısmi basınçta çözünmüş nitrojenle denge halindedir. İnsan dağlara çıktığında (irtifaya) veya suya dalıp basınca maruz kaldığında akciğerlerdeki nitrojenin kısmi basıncı değişir ve dokular akciğerlerdeki yeni kısmi basınçla denge haline gelene kadar ya nitrojen emerler ya da atarlar. Dokulara nitrojenin alınması emilme veya kazanma olarak adlandırılır.

Dokulardan nitrojenin çıkarılması ise atılma veya kaybetme olarak adlandırılır.

Hava dalışlarında, dalgıç yükselen nitrojen kısmi basıncına maruz kalır ve nitrojen emilmesi oluşur. Basınç azaldıkça nitrojen atılır. Bu durum solunan her asal gaz için geçerlidir. Emilme, asal gazın akciğerlerden kana ve kan vücutta dolaştıkça kandan değişik dokulara transfer edilmesi de dâhil olmak üzere birkaç şekilde oluşur. Gaz transfer gradyeni (meyli), akciğerlerle kan ve kanla dokular arasındaki kısmi basınç farkı ile belirlenir.

Dokuların kütlesiyle karşılaştırıldığında, dokulardan akan kanın hacmi küçüktür ancak zaman geçtikçe dokulara dağıtılan gaz, dokunun kanla taşınan gazla denge haline gelmesine neden olur.

Sıvı içindeki gaz moleküllerinin sayısı çoğaldıkça sıvıdaki gaz gerilimi, kısmi basınç seviyesine ulaşana kadar artar. Gerilim kısmi basınçla eşitlendiğinde, basınç gradyeni sıfırlanır ve sıvı o gazla doymuş hale gelir. Sıcaklık veya basınç değiştirilmedikçe, gaz molekülleri dengeyi değiştirmeyecek şekilde sıvıya girip çıkarak yer değiştirirler.

Kandaki gazla denge haline gelme oranı, kan akış hacmi ile kan ve dokuların çözünmüş gazı emme kapasitesine bağlıdır. Örneğin, yağlı dokular sulu dokulardan daha fazla gazı tutabilir ve dolayısıyla fazla asal gazı emmesi veya atması daha uzun zaman alır (DKK, 2014).

### 15.10.1.3. Gaz Çözünürlüğü

Gazların çözünürlüğü sıcaklıkta ters orantılıdır. Sıcaklık azaldıkça çözünürlük artar. Bir sıvı-gaz karışımının sıcaklığı arttığında, bir miktar çözünmüş gaz karışımı terk eder. Isıtılan su dolu bir kaptan daha kaynamadan önce çıkan kabarcıklar karışımı terk eden çözünmüş gazlardır. Dalgıcın soluduğu karışımdaki gazlar, karışımdaki her bir gazın kısmi basıncıyla orantılı olarak dalgıcın vücudunda çözünür. Gazların çözünürlüğü birbirinden farklı olduğu için, herhangi bir gazın çözünme miktarı, artan kısmi basınçta dalgıcın o gazı soluma süresiyle belirlenir. Eğer dalgıç gazı yeterince uzun süre solursa, vücudu o gazla doyuma ulaşacaktır.

Dalgıcın vücudunda çözünen gaz miktarı, derinlik veya basınç değeri ne olursa olsun, basınç değişmedikçe karışım halinde vücutta kalacaktır. Bununla



birlikte dalgıç çıkışa başladığında, çözünmüş gaz artan oranlarda karışımdan atılacaktır. Çıkış hızı kontrol altında tutulduğunda (yani dekompresyon tablolarına uyulduğunda), çözünmüş gaz, dokularda belirgin kabarcıklar oluşturacak kadar birikmeden akciğerlere taşınır ve oradan da solunum yoluyla atılır. Diğer taraftan, eğer dalgıç ani olarak çıkarsa ve basınç vücudun uyum gösterebileceğinden daha hızlı azalır, kabarcıklar oluşabilir ve bu kabarcıklar vücut doku ve sistemlerini bozarak dekompresyon hastalığına yol açabilir (US NAVY, 2016).

#### 15.10.1.4. Graham Difüzyon Yasası

Graham difüzyon yasası, İskoç kimyacı Thomas Graham tarafından 1828-1833 yılları arasında yapılan çalışmalarla gazların difüzyon hareketini açıklayan bir yasa olarak ortaya çıkmıştır.

Difüzyon, bir maddeyi yüksek konsantrasyonlu bir ortamdan düşük konsantrasyonlu bir ortama doğru hareket etme eğilimidir. Kapalı bir kabın içerisine bırakılan bir gaz veya gaz karışımı, başlangıçta düzensiz bir şekilde dağılır, ancak zamanla homojen bir şekilde yayılacak ve her tarafı eşit konsantrasyonla dolduracaktır. Bu olaya "Gazların Difüzyonu" denir.

Difüzyonun başlaması, bir ortamda konsantrasyon, basınç veya sıcaklık farklarının varlığı ile gerçekleşir.

Difüzyon hızı, moleküllerin hızları ile doğru orantılıdır, yani hızlı hareket eden moleküller daha hızlı yayılır.

Farklı gazların molekülleri, aynı koşullar altında (sıcaklık, basınç ve hacim) birbirlerine yayılacak ve sonunda homojen bir karışım oluşturacaktır.

Gaz molekülleri, kinetik enerjileri sayesinde sürekli hareket halindedir. Bu hareket, moleküllerin rastgele hareket ettiği "Brownian Hareketi" olarak tanımlanır.

Graham kanununa göre, gazların difüzyon hızları molekül ağırlıklarının karekökleri ile ters orantılıdır. Yani, molekül ağırlığı küçük olan gazlar, molekül ağırlığı büyük olan gazlara göre daha hızlı yayılır.

A ve B gazlarının, aynı sıcaklık ve basınç altında eşit koşullarda iki ayrı

kaba yerleştirildiğini varsayalım. Gazların kinetik teorisine göre, her iki gazın da ortalama kinetik enerjisi eşit olacaktır. Bu durumda, A gazı moleküllerinin ortalama kinetik enerjisi ( $E_{kA}$ ), B gazı moleküllerinin ortalama kinetik enerjisine ( $E_{kB}$ ) eşit olur..

$$E_{kA} = E_{kB}$$

A gazı (ya da B gazı) moleküllerinin her biri aynı hızda hareket etmez.  $V_A$  (ya da  $V_B$ ) simgesi, bir molekülün ortalama kinetik enerjiye karşılık gelen hızını belirtir.

Molekül kütlelerinin oranı  $m_B/m_A$ , molekül ağırlıklarının oranı  $M_B/M_A$  ile eşit olduğundan, yukarıdaki denklem şu şekilde yazılabilir:

$$\frac{V_A}{V_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}}$$

Özetle, bu yasa, aynı sıcaklık ve basınç altında gazların difüzyon hızlarının, moleküler ağırlıklarının karekökü ile ters orantılı olduğunu belirtir. Yani, daha ağır bir gazın difüzyonu daha yavaş olur. İki farklı gazın difüzyon hızları karşılaştırıldığında, moleküler ağırlığı düşük olan gaz, daha yüksek olan gazdan daha hızlı yayılır. Bu da, hafif gazların daha hızlı difüzyon yaparken, daha kısa süre içinde yayılacağını gösterir.

Bu bağıntı gaz yoğunlukları ve yayılma süreleri cinsinden de, aşağıdaki eşitlikle hesaplanabilir.

$$\frac{V_A}{V_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}} = \sqrt{\frac{dB}{dA}} = \frac{t_B}{t_A}$$

**t**: yayılma süresi, **d**: yoğunluk

Gazların basınç altında sıvılarda çözünmesi ve sonrasında difüzyon yoluyla dokulara iletilmesi, Graham kanununun önemli sonuçlarından biridir. (Wikipedia. Retrieved December 5, 2024.

[https://tr.wikipedia.org/wiki/Graham\\_dif%C3%BCzyon\\_yasas%C4%B1](https://tr.wikipedia.org/wiki/Graham_dif%C3%BCzyon_yasas%C4%B1))

### 15.10.1.4.1. Örnek Problem

Hidrojen gazı ile oksijen gazının difüzyon hızlarını kıyaslayınız. (Hidrojen gazının mol kütlesi 2, oksijen gazının ise 32 olarak kabul edilmektedir.).

Buna göre:

$$\frac{V_A}{V_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}}$$

$$V_A = V_{\text{Hidrojen}}$$

$$V_B = V_{\text{Oksijen}}$$

$$M_A = M_{\text{Hidrojenin atom ağırlığı}}$$

$$M_B = M_{\text{Oksijenin atom ağırlığı}}$$

$$\frac{V_{H_2}}{V_{O_2}} = \sqrt{\frac{M_{O_2}}{M_{H_2}}}$$

$$\frac{Hız\ H_2}{Hız\ O_2} = \sqrt{\frac{32}{2}} = 4$$

Bu bulgu, hidrojen gazının oksijene kıyasla dört kat daha hızlı yayılma eğiliminde olduğunu göstermektedir.

### 15.10.1.4.2. Örnek Problem

Nitrojen ve Oksijen gazının difüzyon hızlarını kıyaslayınız. ( $N_2$  gazının atom ağırlığı 14,  $O_2$  gazının atom ağırlığı 16'dır)

Buna göre:

$$\frac{V_A}{V_B} = \sqrt{\frac{M_B}{M_A}}$$

$$V_A = V_{\text{Oksijen}}$$

$$V_B = V_{\text{Azot}}$$

$$M_A = M_{\text{Oksijenin atom ağırlığı}}$$

$$M_B = M_{\text{Azotun atom ağırlığı}}$$

$$\frac{V_{O_2}}{V_{N_2}} = \sqrt{\frac{MN_2}{MO_2}}$$

$$\frac{V_{O_2}}{V_{N_2}} = \sqrt{\frac{14}{16}}$$

$$V_{O_2} / V_{N_2} = 0,93$$

Başka bir ifade ile

$$V_{(O_2)} = 0.93 V_{(N_2)} \text{ bulunur.}$$

Sonuçlara göre, azot gazının oksijene kıyasla daha hızlı ve kolay yayıldığı görülmektedir. Bunun yanı sıra, oksijenin kan hemoglobini ile bağlanarak dokulara taşınması, gaz olarak serbest etkisini büyük ölçüde azaltmaktadır. Bu nedenle, artan basınç altında insan vücudu üzerinde en belirgin etkiyi azot gazının göstereceği sonucuna ulaşılmıştır.

## 16. HAVA HESAPLAMALARI / HAVA İKMALİ

Hava kaynağı, özellikle üzerimizde taşıdığımız bir tüple sınırlı olan hava kaynağı, dalgıçlar için en önemi yaşamsal kaynaktır. Bu nedenle hava kaynağının idareli kullanılması, dalış öncesi hava ihtiyacına yönelik planlamanın yapılması oldukça önemlidir. Bunun için dalış derinliği, dalış süresi, dalış aktivitesi, dalışın türü, dalgıcın fiziksel kondüsyonu, fizyolojik yapısı (yaş, kilo, cinsiyet vs), sigara kullanımı, tecrübe ve hava kaynağının kapasitesi, havanın su altında planlanmasında önemli parametrelerdir.

Dalış havasının planlanmasında dalış evrelerinin detaylandırılması önem taşır. Emniyet payı olarak ayrılacak rezerv hava başta olmak üzere, iniş aşamasında kullanılan hava, dipte geçen aşamada tüketilen hava, çıkış aşamasında tüketilen hava ve varsa dekompresyon duraklamalarında tüketilecek hava miktarlarının tek tek detaylı olarak hesaplanması çok önemlidir.

Yukarıdaki açıklamalar ışığında, dalış konusunda “Hava İkmali” kavramı önem kazanır.

**Hava İkmali:** Dalış operasyonlarında, dalgıç veya dalgıçların solunum havası ihtiyacı başta olmak üzere, kaldırma vb. sanayi işleri için gerekli havanın tespiti, tedariki, depolanması ve dağıtımı anlamında kullanılır. Hava İkmali, hava hesaplamalarında, kısaca hava ihtiyacı olarak bilinmeli ve hesaplanarak ortaya çıkarılmalıdır.

Sanayi dalışında yaygın olarak kullanılan İmperial sistem ile rekreasyonel dalışta kullanılan SI sistemine göre (Uluslararası Birim Sistemi) hesaplama yolu benzerlik gösterse de, birimler ve tanımlar farklılık gösterebilmektedir.

Hava hesaplamalarında, dalış evrelerinin de genel kabul olarak tanımlanması gerekir ki, bu da aşağıdaki şekilde verilebilir.

### 16.1. İniş Süresi

Satih (su yüzeyi) terk ile planlanan dalış derinliğine ulaşana kadar geçen zamanı ifade eder. Yukarıda da belirtildiği üzere, birçok öğretici sistemine göre değişiklik gösterse de genel kabul gören ortalama iniş hızı değeri 25 m/dk olarak kabul edilebilir.

Yüksek iniş hızları hiperkapni (vücutta yüksek karbondioksit yoğunluğu) ve vücut boşluklarının dengelenmesi için yeterli sürenin tanınmasını engeller. Ayrıca ileri derinlikler için de, Nitrojen Narkozu, HPNS (Yüksek Basınç Sinirsel Sendromu) ve Kompresyon Artraljisinin (Yüksek Basınç Eklem Ağrısı) ortaya çıkma ihtimalini artırabilmektedir.

## 16.2. Dip Süresi

Sath (su yüzeyi) terk ile planlanan derinliği terk edip, çıkışa başladığımız zamana kadar geçen süreyi ifade eder. Yani:

$$\text{Dip Süresi} = \text{İniş Süresi} + \text{Dipte Geçen Süre}$$

## 16.3. Dipte Geçen Süre

Planlanan dalış derinliğine ulaştıktan sonra, bu derinliği terk edip çıkışa başladığımız zamana kadar geçen süreyi ifade eder. Yani, planlanan maksimum derinlikte geçirilen süredir. Başka bir ifade ile:

$$\text{Dipte Geçen Süre} = \text{Dip Süresi} - \text{İniş Süresi}$$

## 16.4. Maksimum Derinlik

Dalış süresince planlanan en derin nokta kabul edilir. Ancak dalış sırasında herhangi bir nedenle, kısa süreyle de olsa, planlanan derinliğin altında bir derinliğe inilirse veya inilmek zorunda kalırsa, maksimum derinlik planlaması, bu yeni derinliğe göre yapılmalıdır. Yani “dipte geçen süre” veya “dip süresi” ulaşılan bu plan dışı maksimum derinlik üzerinden hesaplanır. Tablo okumaları, dekompresyon hesaplamaları ve hava hesaplamaları bu değer üzerinden yapılmalıdır. Plan dışı gerçekleşen bu tip derinlik artışları tehlikeli sonuçlar doğurabilir.

## 16.5. Çıkış Süresi

Planlanan maksimum derinliğin terkedilmeye başladığı andan, satha (su yüzeyi) varışa kadar geçen süreyi ifade eder. Yukarıda da belirtildiği üzere, birçok öğretici sistemine göre değişiklik gösterse de genel kabul gören ortalama çıkış hızı değeri 10 m/dk (yaklaşık 30 ft/dk) olarak kabul edilebilir. Ne türlü bir çıkış olursa olsun (acil veya normal) akciğerlerdeki havanın tutulmadan dışarı atılması esas kuraldır. Dalışın altın kuralı: “ASLA NEFES TUTMA” asla akıldan çıkarılmamalıdır.

Çevrenizdeki en küçük hava kabarcığından daha hızlı yükselmek, genelde uygulanan en pratik yoldur. Unutmayın ki hep aynı kabarcığı takip ederseniz, çıkışla birlikte hava kabarcığının da hacmi büyüdüğü için daha hızlı

yükselecektir (Boyle Mariotte Kanunu). Bu nedenle her soluk verişinizde, regülatörden çıkan yeni bir en küçük hava kabarcığını takip etmek daha güvenli bir yöntem olur. Hava kabarcıklarının bile ortalama yükselme hızları 1 ft/sn (60 ft/dk veya 18m/dk) dir ki, bunun bile emniyetli yüksel hızının üzerinde olduğu unutulmamalıdır. Şunu da unutmamalım ki; 10 m/dk değerinden daha da yavaş yükselmek daha da emniyetli gibi düşünülmemelidir. Zira basınç altında kaldığımız süre boyunca vücudumuzun azot emilimini devam ettirdiği bilinmelidir.

### **16.6. Güvenlik Durağı / Dekompresyon Stop Durağı / Deko Durağı**

Belirli durumlar halinde (yorucu dalış, soğuk su dalışı, mükerrer dalış, 30 m'nin altındaki her dalış, sağlık açısından ideal durumda olmayan her dalıcı gibi benzeri durumlar) güvenlik amacıyla uygulanması gereken, bekleme sürelerinin geçirildiği derinlik durağıdır. Yine öğreti sistemine göre değişiklik gösterse de genel kabul gören ortalama değer, 5 m de 3 dk'lık bekleme süresidir. Güvenlik amacı dışında da dekompresyon durakları, uygulanan dalış planlaması gereği, zorunluluk gerektirebilir. Hatta bu duraklamalar, bir değil, farklı derinliklerde birden fazla da olabilir. Bu deko stop durakları eğitim sistemleri ve kullanılan dalış tablolarına göre farklı değerler gösterse de benzerlikler göstermektedir.

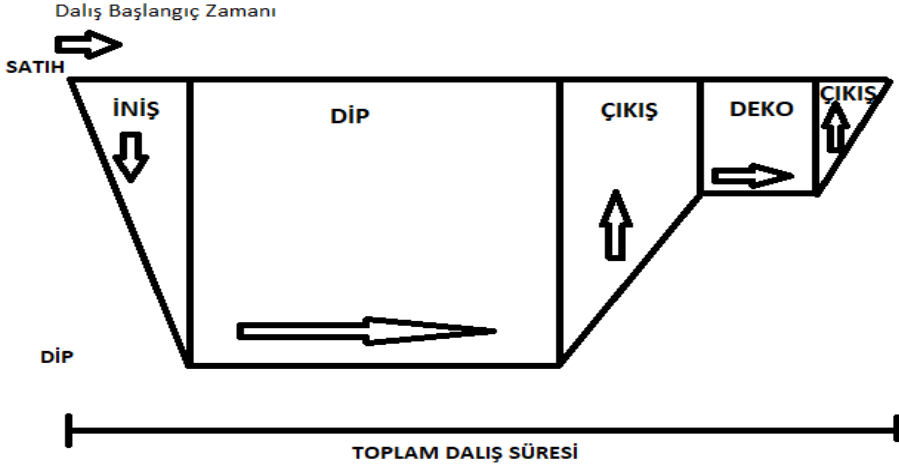
### **16.7. Toplam Dalış Süresi**

Dalıcının, sathı terkinden başlayarak, satha varışı arasında geçen tüm evrelerin toplam zamanıdır. Başka bir ifade ile

Toplam Dalış Süresi = Satha Varış Zamanı – Sathı Terk Zamanı

Veya

Toplam Dalış Süresi = İniş Süresi + Dipte Geçen Süre + Çıkış Süresi + Deko Bekleme Süresi



Şekil 13: Dalış Profili

### 16.8. Dakikada Tüketilen Havanın Hesabı (Litre/dk ve acfm)

Hava hesabı yapılırken, sayısal veriler üzerinden ortalamalar alınarak aşağıdaki gibi bir bağıntı çıkarılır:

Hava İhtiyacı Veya Kullanılan Hava (litre veya scf) =

= Ortalama Mutlak Basınç X Süre X Ortalama Solunma Debisi

Hava İhtiyacı Veya Kullanılan Toplam Hava; dalış süresi ve mutlak ortam basıncı ile bağlantılıdır.

“Dakikada Tüketilen Hava Miktarı” için öncelikle “Ortalama Solunma Debisinin” belirlenmesi gerekir. Bu değer rekreatif dalışlarda ortalama olarak “25 Litre/dk” olarak kabul edilirken, profesyonel sanayi dalışlarında, dalgıncın çalıştığı ortam ve aktiviteye (iş) göre değişiklik gösterir. Ortalama Solunma Debisi, US Navy, (2006) tarafından hazırlanan tablolarda sınıflandırılmıştır. Böylece “Ortalama Solunma Debisi” yerine, biraz daha netleştirilerek yapılan işe göre “Dakikada Tüketilen Hava Miktarı” Litre/dk veya  $\text{ft}^3/\text{dk}$  (acfm) şeklinde tanımlanmaktadır.

Daha önceki konularda acf ve scf kavramları verilmiştir. Burada yerinde kullanarak tanımlarsak;



Dalgıca gereken (nominal/teorik) dakikada hava miktarı (scfm)

Dalış sırasında dakikada tüketilen hava miktarı ( acfm )

**Yeni bir kavramı daha formüle etmek gerekir:**

Derinliğe Göre Dakikada Tüketilen Hava (scfm, L/dk) =

Mutlak basınç (ata, psia) x Dakikada Tüketilen Hava (acfm, L/dk)

Dakikada Tüketilen Hava: Yapılan işe veya harcanan efora göre US Navy tarafından hazırlanan tablolarda sınıflandırılmıştır.

**Tablo 14:** Farklı Çalışma Koşullarında Dakikada Hava Tüketimi (DKK, 2014).

İŞ	İş Seviyesi	RMV (acfm)	RMV (lpm)
En hafif işler	Çok hafif	0,24	0,35
Oturma, Kalkma	Hafif	0,40	0,42
Tank içinde yürüme, minimum hız	Hafif	0,58	0,53
Basınç Odasında hafif aktivite	Hafif	0,70	0,64
Yürüme, çamurlu dip, minimum hız	Orta	0,80	0,71
Tank içinde yürüme, maksimum hız	Orta	1,10	0,99
Yürüme, çamurlu dip, minimum maksimum hız	Orta	1,20	1,14
Yüzme, ortalama hız (0,8 mil)	Orta	1,40	1,34
Yüzme (1 mil)	Orta	1,70	1,59
Yüzme (1,2 mil)	Çok Ağır	2,50	2,12

RMV: Dakikadaki Solunum Hacmi (Respiratory Minute Ventilation)

### 16.8.1. Örnek Problem

66 ft derinlikte 1,2 mil hızla yüzerek çok ağır bir iş yapan profesyonel sualtı adamının dakikada tüketeceği hava nedir?

Öncelikle, “Farklı Çalışma Koşullarında Dakikada Hava ve Oksijen Tüketim Tablosundan” dalgıcın yaptığı iş (efor, çaba, güç) türüne göre, dakikada tüketeceği hava miktarı değerini 2,12 acfm olarak buluruz.

Önce mutlak basıncı bulalım,

Ortalama Mutlak Basınç = (Derinlik +33) / 33 formülünden

Ortalama Mutlak Basınç = (66 +33) / 33 = 3 ata

Formülde yerine koyarsak;

Derinliğe Göre Dakikada Tüketilen Hava (scfm)

= Mutlak basınç (ata) x Dakikada Tüketilen Hava (acfm)

Derinliğe Göre Dakikada Tüketilen Hava (scfm)

= 3 ata x 2.12 acfm = 6,36 scfm

Yorum: Bu dalgıcın 66 ft derinlikte dakikada tüketeyeceği hava 6 ft<sup>3</sup> olarak bulunur.

Örnekleri giderek genişletelim.

### 16.8.2. Örnek Problem

Rekreasyonel bir dalışta, bir dalıcı 10 m derinlikte 20 dk solunum gerçekleştirirse kaç litre hava tüketir?

Hava İhtiyacı Veya Kullanılan Hava

= Ortalama Mutlak Basınç X Süre X Ortalama Solunma Debisi

Hava İhtiyacı Veya Kullanılan Hava = 2 Ata X 10 dk X 25 Litre/dk = 500 Litre

Aynı soruyu imperial sistemde, bir profesyonel sualtı adamına göre düzenleyerek çözelim.

### 16.8.3. Örnek Problem

Profesyonel bir dalışta, çamurlu zeminde yürüyerek orta ağırlıkta bir iş yapan bir dalgıcın 33 ft (yaklaşık 10 m) ft derinlikte 10 dk solunum gerçekleştirirse kaç litre hava tüketir?

Öncelikle, “Farklı Çalışma Koşullarında Dakikada Hava ve Oksijen Tüketim Tablosundan” dalgıcın yaptığı iş (efor) türüne göre, dakikada tüketeyeceği hava miktarı değerini 1,14 acfm olarak buluruz.

Önce mutlak basıncı bulalım,

Ortalama Mutlak Basıncı = (Derinlik +33) / 33 formülünden

Ortalama Mutlak Basıncı = (33 +33) / 33 = 2 ata

İlgili formüllerde yerleştirirsek;

Hava İhtiyacı Veya Kullanılan Hava (scf)

= Ortalama Mutlak Basıncı X Süre X Ortalama Solunum Debisi

= 2 Ata X 10 dk X 1,14 acfm

= 22,8 ft<sup>3</sup> = 645 Litre (1 ft<sup>3</sup>=28,3 Litre)

Yorum: Görüldüğü gibi profesyonel bir iş yükü altındaki dalgıcın hava tüketimi, rekreasyonel dalgıca göre daha fazladır. Hava kaynağı stoklarının bu tablo değerlerine göre hesaplanarak planlanması oldukça önemlidir.

Peki, dalış tüpündeki toplam hava nasıl hesaplanır? Bunun için “Nominal Kapasite” kavramını bilmemiz gerekir.

## 16.9. Nominal Kapasite

Sabit sıcaklıkta, çalışma basıncına kadar doldurulmuş bir tüpteki serbest gaz miktarı, tüpün su alma hacmi ile geyç basıncının çarpımına eşittir (Şereflişan, 2023).

Tüpün Su Alma Hacmi = Tüpün İç Hacmi

Geyç Basıncı = Tüpteki Havanın Basıncı

Formüle edersek:

Nominal Hava Kapasitesi = Tüpün İç Hacmi x Tüpteki Havanın Basıncı

Eğer yukarıdaki açıklamaları, imperial sistem birimleri üzerinden formüle edersek;

Nominal Hava Kapasitesi

= (Tüpün İç Hacmi (scf) x Tüpteki Havanın Basıncı (psig)) / Mutlak ortam basıncı (14,7psi)

Aşağıdaki şekilde de formüle edilebilir:

$$NHK = ((TB - RB) \times TH \times TS) / 14,7$$

NHK: Nominal Hava Kapasitesi (scf)

TB: Tüpün Geyç Basıncı (psig)

RB: İstenen Rezerv Basıncı (psig)

TH: Tüp Hacmi (scf)

TS: Tüp Sayısı (adet)(1'den fazlaysa dikkate almak gerekir)

14,7: Atmosferik basınç

Not: IS birim sisteminde deniz seviyesindeki atmosfer basıncı yaklaşık 1 bar kabul edildiği için, hava kapasitesini 1'e bölmek işlemi değiştirmediği için uygulanmaz. İmperial sistemde ise, deniz seviyesinde atmosferik basınç 14,7 psi olduğu için, hava kapasitesini 14,7 değerine bölmek gerekir. Aslında bu işlem Boyle kanunu ile alakalıdır.

Dalış operasyonlarında özellikle imperial sistemle çalışan ülkelerde, tüplerin iç hacmine göre nominal hava kapasite tablolarından faydalanılır. Bu tabloların olmadığı durumlarda yukarıdaki gibi standart hesaplama yoluna gidilerek sonuca ulaşılabilir. Standart hesaplama ile aşağıdaki tablo değerleri arasında bazen uygulanan tüp basıncına göre nominal hava kapasitesi değişiklik gösterebilir.

**Tablo 15: Çelik Ve Alüminyum Tüplerde, Cuf Değerine Göre İç Hacim (Naval Diving and Salvage Training Center, 2011)**

SCUBA Tüp Tipine göre Nominal Hava Kapasitesi (cuf)	İç Hacmi (cuf)
AL 100	0,470
AL 80	0,399
AL 63	0,319
AL 50	0,281
STEEL 120	0,526
STEEL 100	0,445
STEEL 72	0,420

### 16.9.1. Örnek Problem

200 bar basınçla doldurulmuş 15 litre iç hacme sahip tüpün içindeki nominal hava miktarı nedir?

Nominal Hava Kapasitesi = Tüpün İç Hacmi x Tüpteki Havanın Basıncı

Nominal Hava Kapasitesi = 15 Litre X 200 Bar = 3000 Litre

### 16.9.2. Örnek Problem

2000 psi basınçla doldurulmuş 0,5 cuf iç hacme sahip tüpün içindeki nominal hava miktarı nedir?

Nominal Hava Kapasitesi = (Tüpün İç Hacmi x Tüpteki Havanın Basıncı)/14,7

Nominal Hava Kapasitesi = (0,5cuf X 2000 psi)/14,7 = 68 cuf

## 16.10. Tüp Sayısı

Rekreasyonel dalışlarda genellikle 1 tüp kullanıldığı için “Tüp Sayısı” 1 kabul edilir ve dikkate alınmaz, ancak teknik dalışlarda ve sanayi dalışlarında tüp sayısı önemlidir. Gerek, dalgıcın üzerinde taşıdığı tüp sayısı bakımından, gerekse satıhtan ikmali dalışların planlanmasında, dalgıç veya dalgıçlara gönderilecek toplam hava stokunun hesaplanabilmesi bakımından önem arz eder.

Nominal hava kapasitesinin hesaplanmasında; eğer 1’den fazla tüp birbirine manifold aracılığı ile bağlanmış ise veya dalış operasyonunun planlanmasında birçok tüp planlamaya dâhil edilmiş ise, toplam tüp sayısı formüle eklenmelidir.

Yani;

Nominal Kapasitesi = Tüpün İç Hacmi x Tüpteki Havanın Basıncı x Tüp Sayısı

### 16.10.1. Örnek Problem

Satıhtan ikmali dalış sistemi kullanılarak, 100 ft derinliğe gerçekleştirilecek dalış operasyonu için, 200 bar basınçla doldurulmuş 15 litre iç hacme sahip 10 adet tüp dalış planlamasına dâhil ediliyor. Dalış operasyonu

için nominal hava miktarını hesaplayınız.

Nominal Kapasitesi = Tüpün İç Hacmi x Tüpteki Havanın Basıncı x Tüp Sayısı

Nominal Hava Kapasitesi = 15 Litre X 200 X 10 adet = 30.000 Litre

### 16.11. Rezervli Hava / Rezerv Basıncı

Hava kullanımının hesaplanmasında emniyet payı kavramı önemlidir. Bu emniyet payı “Rezerv Hava” olarak tanımlanır. Satıhtan ikmali dalış takımlarında hava kaynağı sınırsız sayılıyor olsa da, SCUBA dalışlarında emniyet amacıyla toplam hava miktarından “Rezerv Hava” miktarını ayırarak, “Rezervli Hava” miktarını” tespit ederek hesaplamalar yapılmalıdır. Sportif SCUBA dalışları için alışla gelmiş kabul gören değer, tüp basıncından 50 bar rezerv basınç kabul edilirken, gece dalışı, mağara dalışı gibi riskli dalışlarda bu değer 70 bar olarak kabul edilir. İmperial sistemle yapılan dalışlarda ve geyç birimlerinde (psi) ise 750 psi rezerv basınç kabul edilirken gece dalışı, mağara dalışı gibi riskli dalışlarda bu değer 900 psi olarak kabul edilir. Bar ve psi basınç birimi olsa da, dalış sektöründe, hava miktarının hesaplanmasında, “miktar” anlamında kullanılır. Bu nedenle “Rezerv Basınç” veya “Rezerv Hava” kavramlarından birisi “Rezerv” anlamında kullanılır.

#### 16.11.1. Örnek Problem

Sportif sınırlar içinde gerçekleştirilecek gece dalış operasyonu için, 200 bar basınçla doldurulmuş 10 litre iç hacme sahip dalış tüpü için rezervli nominal hava miktarını hesaplayınız.

Rezervli Hava Miktarı = Dolu Tüpün Geyç Basıncı – Rezerv Hava Basıncı

Rezervli Hava Miktarı = 200 bar – 70 bar = 130 bar

Rezervli Nominal Kapasite = Tüpün İç Hacmi x Tüpteki Havanın Basıncı

Nominal Hava Kapasitesi = 10 Litre X 130 = 1300 Litre

#### 16.12. Örnek Problem

Sportif sınırlar içinde gerçekleştirilecek gündüz dalış operasyonu için, 200 bar basınçla doldurulmuş 10 litre iç hacme sahip dalış tüpü ile, 30 m

derinliğe 10 dk dip süreli bir dalış planlanıyor. Tüpteki hava bu dalış için yeterli midir?

Öncelikle rezervli hava miktarımızı bilmemiz lazım.

Rezervli Hava Miktarı = Dolu Tüpün Geyç Basıncı – Rezerv Hava Basıncı

Rezervli Hava Miktarı = 200 bar – 50 bar = 150 bar

Rezervli Nominal Kapasite = Tüpün İç Hacmi x Tüpteki Havanın Basıncı

Nominal Hava Kapasitesi = 10 Litre X 150 = 1500 Litre

Toplam tüketilecek havayı hesaplayalım:

İniş süresi:

25 m / dk standart iniş hızı kabul edilirse, 30m / 25 m/dk = 1,2 dk

Bu dalış için Dip Süresi: 10 dk verilmiştir.

Dipte Geçen Süre gerektiği için = 10 dk -1,2 dk = 8,8 dk

Çıkış Süresi:

10 m / dk standart çıkış hızı kabul edilirse, 30m / 10 m/dk = 3 dk

Güvenlik Deko Süresi (5m de 3 dk) = 3 dk

Toplam Dalış Süresi = 1,2 + 8,8 + 3 + 3 = 16 dk

Şimdi her aşama için hava tüketim miktarlarını hesaplayalım:

İniş Süresinde Tüketilen Hava =

Ortalama Derinlikteki Mutlak Basıncı x İniş Süresi x Ortalama Solunum Debisi

İniş Süresinde Tüketilen Hava =

= (15 m de) 2,5 atm x 1,2 dk x 25litre/dk =75 litre

Dipte Geçen Sürede Tüketilen Hava =

= Dipteki Mutlak Basıncı x Dipte Geçen Süre x Ortalama Solunum Debisi

= 4 atm x 8,8 dk x 25litre/dk = 880 litre

Çıkış Süresinde Tüketilen Hava =

Ortalama Derinlikteki Mutlak Basınç x Çıkış Süresi x Ortalm. Solunum Debisi

$$= (15 \text{ m de}) 2,5 \text{ atm} \times 3 \text{ dk} \times 25 \text{ litre/dk} = 187,5 \text{ litre}$$

Güvenlik Durağında Tüketilen Hava =

= Güvenlik Derinliği Mutlak Basınç x Süre x Ort. Solunum Debisi

$$= 1,5 \text{ atm} \times 5 \text{ dk} \times 25 \text{ litre/dk} = 187,5 \text{ litre}$$

Toplam Hava Tüketimi = 75 + 880 + 187,5 + 187,5 = 1330 litre

Yorum: Yukarıdaki dalış planlaması için havamız yeterlidir.

### 16.13. Örnek Problem

3000 psig basınçla doldurulmuş, iç hacmi 0,470 cuf olan manifold ile bağlanmış iki alüminyum tüple, 66 ft derinliğe dalış planlayan bir dalgıç, dalış süresince 1,2 mil hızla yüzerek çok ağır bir iş yapacaktır. Dekompresyon tablolarının müsaade etmesi durumunda, iniş ve çıkış havalarını dikkate almadığımızda, bu dalgıcın 66 ft derinlikte hava ikmal süresi nedir?

Öncelikle, “Farklı Çalışma Koşullarında Dakikada Hava ve Oksijen Tüketim Tablosundan” dalgıcın yaptığı iş (efor) türüne göre, dakikada tüketeceği hava miktarı değerini 2,12 acfm olarak buluruz.

Şimdi dalgıcın hava tüketim debisini bulmak için, mutlak basıncı bulalım:

Ortalama Mutlak Basınç = (Derinlik +33) / 33 formülünden

$$\text{Ortalama Mutlak Basınç} = (66 + 33) / 33 = 3 \text{ ata}$$

Derinliğe Göre Dakikada Tüketilen Hava miktarını hesaplayalım:

Derinliğe Göre Dakikada Tüketilen Hava (scfm)

$$= \text{Mutlak basınç (ata)} \times \text{Dakikada Tüketilen Hava (acfm)}$$

$$= 3 \text{ ata} \times 2.12 \text{ acfm} = 6,36 \text{ scfm}$$



Rezervli Hava Miktarı = Dolu Tüpün Geyç Basıncı – Rezerv Hava Basıncı

$$\text{Rezervli Hava Miktarı} = 3000\text{psi} - 750\text{psi} = 2250 \text{ psi}$$

Rezervli Nominal Kapasite =

$$= (\text{Tüpün İç Hacmi} \times \text{Tüpteki Havanın Basıncı}) / \text{Mutlak Basıncı} (14,7)$$

$$\text{Nominal Hava Kapasitesi} = (0,470 \text{ cuf} \times 2250\text{psi}) = 71,93 \text{ scf}$$

$$\text{Tüp sayısı 2 olduğuna göre: } 71,93 \text{ scf} \times 2 = 143,87 \text{ scf}$$

Problemin buraya kadar ki kısmını aşağıdaki formül ile de çözebiliriz;

$$\text{NHK} = ((\text{TB} - \text{RB}) \times \text{TH} \times \text{TS}) / 14,7$$

NHK: Nominal Hava Kapasitesi (scf)

TB: Tüpün Geyç Basıncı (psig)

RB: İstenen Rezerv Basıncı (psig)

TH: Tüp Hacmi (scf)

TS: Tüp Sayısı (adet)

14,7: Atmosferik basınç

$$\text{NHK} = ((3000 - 750) \times 0,470 \times 2) / 14,7$$

$$\text{NHK} = 143,8 \text{ scf}$$

Şimdi hava ikmal süresini hesaplayalım;

Hava İkmal Süresi (Yeterli hava süresi) =

$$= \text{NHK (scf)} / \text{Derinliğe Göre Dakikada Tüketilen Hava (scfm)}$$

$$= 143,8 \text{ scf} / 6,36 \text{ scfm} = 22,6 \text{ dk}$$

## 17. BERNOULLİ PRENSİBİ

Öncelikle akışkanlarla ilgili bazı kavramlardan bahsetmek gerekir.

### 17.1. Akışkan maddeler

Sıvılar ve gazları kapsayan akabilen maddelerdir.

### 17.2. Akışkanlar Dinamiği

Akışkanların hareketini inceleyen, fiziğin alt dalıdır.

### 17.3. Debi

Birim zamandaki akış miktarıdır. Litre/s veya  $m^3/sn$  gibi birimlerle ifade edilir.

### 17.4. İç Akış

Akışkanların boru veya kanal gibi sınırlayıcı bir yüzeyin içinden akmasıdır (suyun boru içinden akması vb).

### 17.5. Dış Akış

Akışkanın, fiziksel bir çeperle sınırlanmadan akmasıdır (arabaların, uçakların çevresinden havanın akması vb).

### 17.6. Laminer (Düzenli, Kararlı) Akış

Akışkanın hızı zaman içinde değişmeden sabit hızda, bir bütün şeklinde düzgün bir doğru boyunca akmasıdır (musluktan suyun akması).

### 17.7. Türbülanslı (Düzensiz, Girdaplı) Akış

Akışkanın, aktığı yatakta, sınır yüzeyleri veya farklı cisimlere temas etmesi nedeniyle ortaya çıkan düzensiz akıştır (Dereden akan su vb).

Genellikle yüksek hız ile yüksek basınç birbiri ile doğru orantılandırılrsa da aslında durum tam tersidir.

1738 yılında Hollanda-İsviçre kökenli matematikçi Daniel Bernoulli'nin Hydrodynamica adlı eserinde yayımladığı, akışkanlar dinamiği alanına ait

prensibe göre, sürtünmesiz bir akış sırasında, hızda meydana gelen bir artış, aynı anda ya basınçta ya da akışkanın potansiyel enerjisinde bir azalmaya yol açar.

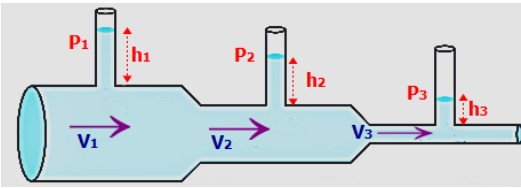
Bernoulli prensibi, hem gazlar hem de sıvılar gibi farklı türlerdeki akışkanların debileri üzerinde uygulanabilir. Prensip, bir akışkanın yatay olarak yüksek basınçlı bir bölgeden düşük basınçlı bir bölgeye doğru hareket ettiğini ifade eder. Bu durumda, akışkanın arkasındaki basınç, önündeki basınca göre daha yüksektir.

Uçak kanatlarının aerodinamik tasarımı da Bernoulli prensibinden faydalanır. Kanadın üst kısmından geçen hava, alt kısmından geçen havaya göre daha hızlı hareket ettiği için, kanadın üzerindeki basınç daha düşük olur. Uçak, yerde yeterince hızlandığında, kanadın altındaki ve üstündeki basınç farkı, havalanması için gerekli kaldırma kuvvetini sağlar. Soba içinde biriken dumanın (yüksek basınçlı ortam), bacaya doğru yükselmesi de (düşük basınçlı hava) benzer örnek olarak verilebilir.

Pulverizatörler de (püskürtücüler) aynı mantıkla çalışır. Dar bir boruya pompalanan havanın hızı artırılınca, bu noktadaki basıncın düşmesi nedeniyle, püskürtülmek istenen sıvı haznesindeki solüsyon (boya, ilaç vs) düşük basıncın olduğu boruya doğru yükselir ve buradan da hava akımının etkisiyle dışarı doğru püskürtülmüş olur.

Bernoulli prensibi temel olarak, akışkanın hızı ile basıncının ters orantılı olarak değiştiğini ifade eder. Akışkan kesiti sabit olduğu kabul edilirse, P basınç, v hız olarak tanımlanırsa, prensip aşağıdaki şekilde formüle edilebilir:

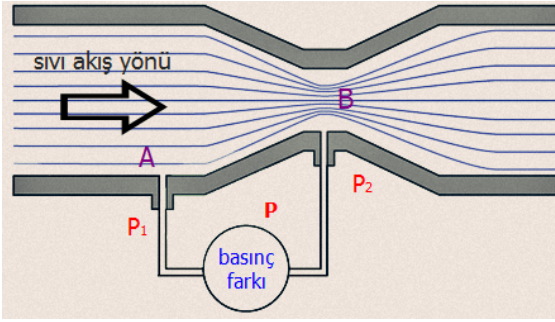
$$P_1 v_1 = P_2 v_2$$



Şekil 13: Akış Hızı ve Basınç Arasındaki İlişki (Qin ve Duan, 2017.)

Yani yukarıdaki şekildeki kesitte akıntı hızları  $v_3 > v_2 > v_1$  olduğu için  $P_1 > P_2 > P_3$  olur. Sıvı basıncı yükseklikle doğru orantılı olduğuna göre yukarıdaki şekilde  $h_1 > h_2 > h_3$  olur.

Bernoulli prensibinin ispatlandığı düzenek venturi tüpü (borusu) dır. Akışkanların hızları ve basınçları arasındaki ilişkiyi ölçmede kullanılan bir düzenektir. Amerikalı mühendis Clemans Herschel (1842-1930) tarafından icat edilmiştir.



Şekil 14: Venturi Tüpü (Özkan vd., 2006)

## 17.8. Bernoulli İlkesi ve Dalış

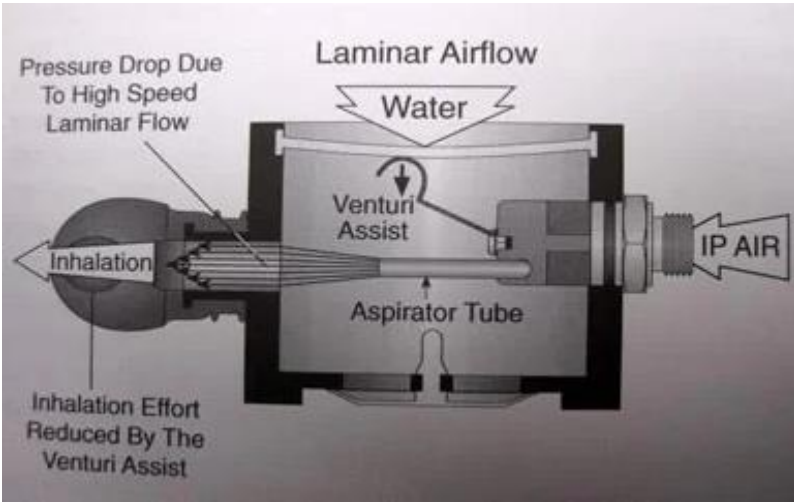
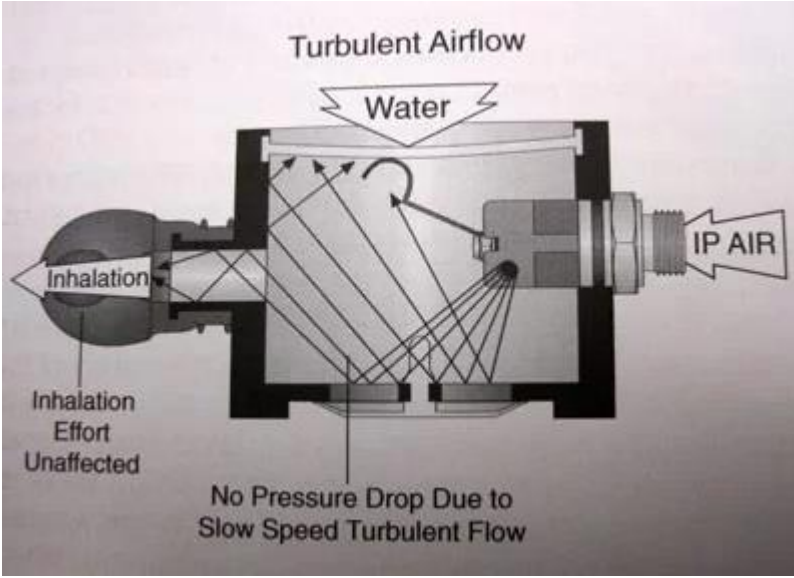
Regülatör ikinci kademesinin yüzeyde kolaylıkla serbest akışa geçmesi bu prensiple yakından ilgilidir.

Birçok regülatörün ikinci kademeleri, bu prensiple çalışan basit “Venturi Kolu” donanımına sahiptir. Çoğunlukla “+/-“ veya “dive/pre dive” şeklinde belirtece sahip iki aşamalı bir koldur.

Regülatörden soluma nefes alındığında, içindeki havanın, “Türbülanslı” (düzensiz) akış veya “Laminer” (düzenli) akış şeklinde iki tip hareket şekli vardır. Türbülanslı akışta, aşağıdaki şekilde de görüldüğü gibi, hava ikinci kademenin her yerine çarpmakta ve bu da hava akış hızını yavaşlatmaktadır. Laminer akışta ise yine aşağıdaki resimde görüldüğü gibi, hava akışı doğrudan dalgıcın ağzına geldiği için, çok daha hızlı gerçekleşir. Bir başka ifade ile Venturi etkisi yaratacak mil üzerindeki kanatçıklar, hava akışını hızlandıracak pozisyona getirilerek iç basınç düşürülebilir veya kanatçıkların pozisyonu değiştirilerek hava akışının hızı düşürülerek, iç basınç yüksek tutularak,

diyaframın açılması zorlaştırılabilir. Yani; ikinci kademedeki basıncın daha düşük olması, diyaframın içeri doğru çekilmesine yardımcı olur. Sonuç olarak, düzgün ve hızlı hareket eden havanın solunmasında gereken çabanın (inhalasyon iş gücünün) azalmasını sağlar. Regülatör içinde düşük miktarda pozitif basınç, yüksek soluma hacmi gerektiren efor sarf edici dalış operasyonlarında avantaj sağlayabilir. Ancak normal solunum hacmi gerektiren dalışlarda pozitif basınç rahatsız edicidir ve hava israfına neden olabilir. Avrupa Standardı (EN-250)'ye göre; açık sistem istemli dalış regülatörünün sahip olması gereken WOB (Work of Breathing = Soluma Direnci) değerinin düşürülmesi için geliştirilen sistemlerde, regülatör ikinci kademe pozitif basıncı 5 mbar ve 0,3 J/L olarak kabul edilir (Eastman vd., 2017).

Bu bilgiler ışığında tercihlerinizi yaparak güvenli dalış hayatına devamınızı dilerim. Yukarıdaki açıklama doğrultusunda, tekmeden suya atlarken serbest akışın önlenmesi için, bu ayarın “-“ veya “pre dive” konumunda olması, atlama, çarpma gibi etkilerde, serbest akışa geçişi güçleştirir. Ancak dalışa başlandığında (mapsı ağızımıza aldığımızda) bu kolun “+” veya “dive” konumuna alınması ile konforlu bir soluma sağlanabilir. Tabi ki, dalgıç scooter kullanırken veya akıntı dalışlarında (akıntının karşıdan gelmesi), bu kolun, dalış öncesi konumuna alınarak venturi etkisinin ortadan kaldırılması daha akılcı olur.



Şekil 14: Regülatör İkinci Kademesinde Venturi Etkisi Karşılaştırması (Maui Dreams Dive Co. 2013, November 26)

### 17.9. Örnek Problem

Sabit kesitli bir boru içinde 1 atm basınçta 10 m/s hızla akan bir gazın hızını 20 m/s'ye çıkartmak için basıncı ne olmalıdır?

$$P_1: 1 \text{ atm}$$

$$v_1: 10 \text{ m/s}$$

$$P_2: ?$$

$$v_2: 20 \text{ m/s}$$

$$P_1 v_1 = P_2 v_2$$

$$1 \times 10 = ? \times 20$$

$$P_2 = 0,5 \text{ atm}$$

### 17.10. Örnek Problem

SCUBA regülatör ikinci kademesinde diyaframın açılma basıncı 25 mbar iken, emiş sırasında çekilen havanın hızı 10 m/s dir. Regülatör ikinci kademesi hava girişine özel kanatçıklarla donatılmış venturi tüpü (emiş tüpü) takılarak laminer akış yaratılmaya çalışılıyor ve böylece WOB değerinin düşürülmesi için hava akışının 20m/s'ye çıkartılması planlanıyor. Bu uygulamadan sonra regülatör ikinci kademesinde diyaframın açılma basıncını hesaplayınız. Soluma direncini yorumlayınız.

$$P_1: 25 \text{ mbar}$$

$$v_1: 10 \text{ m/s}$$

$$P_2: ?$$

$$v_2: 20 \text{ m/s}$$

$$P_1 v_1 = P_2 v_2$$

$$25 \times 10 = ? \times 20$$

$$P_2 = 12,5 \text{ mbar}$$

İç basınç 12,5 mbar'a düştüğü için, soluma direnci düşecektir.

## 18. SÜREKLİLİK İLKESİ

Gazlar sıkıştırılabilirken, sıvılar genellikle sıkıştırılmaz olarak kabul edilir (belirli koşullarda çok az sıkıştırılabilirler). Süreklilik denklemi, sıkıştırılmaz akışkanlar (yani sıvılar) için bir borunun içindeki akışkanın her noktada hızının, borunun kesit alanıyla çarpımının sabit olduğunu ifade eder.

Bernoulli prensibi, bir akışkanın farklı kesit alanlarında basıncının nasıl değiştiğini açıklar. Süreklilik ilkesi ise, akışkanın farklı kesit alanlarında sahip olduğu hızları inceler. Süreklilik ilkesine göre, bir borudan geçen akışkanın hızı, borunun kesitinin daraldığı bölgelerde artar. Bernoulli prensibi, hız ile basınç arasında ters bir ilişki olduğunu belirtir.

Buna göre, çapı değişen yatay bir boruda, akışkanın hızının yüksek olduğu bölgelerde basınç, hızın düşük olduğu bölgelere kıyasla daha düşüktür. Yani, akışkanın hızlandığı alanlarda basınç azalır, yavaşladığı alanlarda ise basınç artar. Çoğu kişi genelde yüksek hız ile yüksek basıncı ilişkilendirdiği için bu durum kafa karıştırıcı olabilir.

Borunun kesit alanı sabit olsaydı, süreklilik denklemi o kadar önemli olmayabilirdi. Ancak kesit alanı değiştiğinde, akışkanın hızını hesaplamak için bu denklemden faydalanılır. A kesit alanı, v akış hızını gösterdiği kabul edilirse, aşağıdaki şekilde formüle edilir:

$$A_1v_1 = A_2v_2$$

### 18.1. Süreklilik İlkesi ve Sanayi Dalgıçlığı

Sanayi dalgıçlığında, dalgıç marifetiyle, su jeti kullanılarak, gemi karinası, pervanesi, kinistin temizliği, yaygın olarak gerçekleştirilen sualtı operasyonlarıdır. Su jetlerinde, pompa motoru ile elde edilen güç, basınç olarak suya aktarılır. Yüksek basınçlı su (yaklaşık 300-1000 bar) sayesinde, gemi karinasındaki kekamoz adı verilen fouling organizmalar, gemi yüzeyinden sıyrılarak temizleme gerçekleşir. Aynı zamanda yüksek basıncın, iş ve can güvenliği açısından dalgıç için tehlikeli bir seviyede oluşu, operasyonun oldukça dikkatli yapılmasını gerektirir. Yani bu operasyonlarda temizleyici güç



basınçlı sudur. Jetlerin su çıkışında kullanılan nozulun kesit açıklıklarına göre, suyun hızına müdahale edilebilmektedir. İnce kesitli açıklığa sahip nozullar ile suyun akış hızı artırılarak temizleme etkisi artırılmaya çalışılmaktadır.

## 18.2. Örnek Problem

Sabit basınçta, 10 cm<sup>2</sup> kesit alanına sahip bir su jetinin borusundan, 10 m/s hızla akan bir suyun hızını 20 m/s'ye çıkartmak için, çıkış ağzına takılan nozulun kesit alanı ne olmalıdır?

$$A_1: 10 \text{ cm}^2$$

$$v_1: 10 \text{ m/s}$$

$$A_2: ?$$

$$v_2: 20 \text{ m/s}$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

$$10 \times 10 = ? \times 20$$

$$P_2 = 5 \text{ cm}^2$$

## 19. KAVİTASYON

Kavitasyon, akışkanın içindeki hız artışı veya bu akışkan içinde hızla hareket eden bir cismin etkisiyle meydana gelen bir faz değişim sürecidir. Bernoulli prensibine göre, akışkanın hızındaki artış basıncın düşmesine yol açar. Bu düşen basınç, akışkanın kaynama noktasını ortam sıcaklığına kadar indirebilir. Başka bir deyişle, düşük basınç, akışkan içinde soğuk kaynama olarak adlandırılacak bir duruma neden olur ve bu süreçte su buharı ile erimiş gazlardan oluşan hava kabarcıkları ortaya çıkar. Bu olguya kavitasyon adı verilir. Nozuldan çıkan bu kabarcıklar, yüzeye çarparak aniden çöker ve kinetik enerjilerini serbest bırakır. Bunun sonucunda, çarptıkları yüzeyde mekanik aşınmaya neden olan kuvvetler oluşur. Kavitasyon baloncuklarının basıncı çok düşüktür ve çökme sırasında oldukça büyük enerji açığa çıkar.

Kavitasyon, yüzey temizleme amacıyla, mekanik araçların yardımıyla istemli olarak yaratıldığı gibi, sıklıkla hidro dinamik akış makineleri, pompalar,

türbinler, türbin kanatları, gemi pervanelerinde istemsiz olarak ortaya çıkan olumsuz aşınmalara (malzeme erozyonu) neden olur.

### 19.1. Kaviteasyon ve Dalış

Sanayi dalgıçlığında, dalgıç marifetiyle, su jeti kullanılarak, gemi karinası, pervanesi, kinistin temizliği, yaygın olarak gerçekleştirilen sualtı operasyonlarıdır. Kaviteasyon özelliği olmayan su jetlerinde, pompa motoru ile elde edilen güç, basınç olarak suya aktarılır. Yüksek basınçlı su (yaklaşık 300-1000 bar) sayesinde, gemi karinasındaki kekamoz adı verilen fouling organizmalar, gemi yüzeyinden sıyrılarak temizleme gerçekleşir. Bu sırada yüksek basınçlı su nedeniyle, gemi sacını koruyan antifouling boyanın da yüzeyden kazınması sonucu, gemiler korozyona açık hale gelir ki bu durum istenmeyen bir durumdur. Aynı zamanda yüksek basıncın, iş ve can güvenliği açısından dalgıç için tehlikeli bir seviyede oluşu, operasyonun oldukça dikkatli yapılmasını gerektirir. Yukarıda anlatıldığı gibi, bu operasyonlarda temizleyici olan basınçlı sudur. Basınçlı suyun olumsuzluklarından kurtulmak için imkân olan sanayi şirketleri ve gemi işletmecileri, bu teknolojiye vaz geçerek kaviteasyonlu su jeti sistemine tercih etmeye başlamışlardır.

Son dönemde, venturi sistemine dayalı kaviteasyon teknolojisine sahip su jetlerinin kullanımı yaygınlaşmıştır. Bu cihazlar, su jetleriyle benzer bir çalışma prensibine sahip olup, özel nozul tasarımıyla kaviteasyon baloncukları oluşturabilmektedir. Nozuldan çıkan baloncuklar su içinde hareket ederek karınaya (yüzeye) çarptığında şok etkisi yaratarak fouling organizmaları tuttukları yüzeyden sıyrır. Nozula hâkim olmak kolay olduğu gibi iş ve can güvenliği açısından daha güvenlidir. Temizlik esnasında karına yüksek şok dalgalarına maruz kalmasına rağmen gemi boyasında sıyrılma olmaz (Kondraty, 2006; Kocatavi, 2015).

**KAYNAKLAR**

- Abdel Razek, M. (2020). Refraction of light and its applications. *Ain Shams Engineering Journal*, 663, 18 KB (July).
- Al-Shibli, M. (2011). The fundamental principle of conservation of physical money: Its violation and the global financial system collapse. *iBusiness*, 3, 76-87.
- Alwan, A. A. (2011). Misconception of heat and temperature among physics students. *Procedia Social and Behavioral Sciences*, 12, 600–614.
- Asano, Y., Zheng, Y., Nishino, K., & Sato, I. (2021). Depth sensing by near-infrared light absorption in water. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 43(8), 2611–2622.
- Balbağ, M. Z. (2018). Fen bilgisi öğretmen adaylarının kelime ilişkilendirme testi (KİT) kullanılarak kütle ve ağırlık kavramlarına ilişkin bilişsel yapılarının belirlenmesi. *Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Türk Dünyası Uygulama ve Araştırma Merkezi (ESTÜDAM) Eğitim Dergisi*, 3(1), 69-81.
- Benton, P. J., & Glover, M. A. (2006). Diving medicine. *Travel Medicine and Infectious Disease*, 4, 238–254.
- Bove, A. A. (2014). Diving medicine. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 189, 1479–1486.
- Brickell, J. E. (1984). Stem analysis: A conventional approach to volume determination. *GTR INT-193*, 61-67pp, Utah-USA.
- British Weights and Measures Association (BWMA). (2010). *The Britannica Guide to Numbers and Measurement*. The Rosen Publishing Group. p. 241. ISBN 978-1-61530-218-5.
- Callen, H. B. (1985). *Thermodynamics and an introduction to thermostatistics* (2nd ed.). John Wiley & Sons. p. 120.
- Caleon, I., & Subramaniam, R. (2010). Do students know what they know and what they don't know? Using a four-tier diagnostic test to assess the nature of students' alternative conceptions. *Research in Science Education*, 40, 313–337.
- Clark, J. M., & Thom, S. R. (2003). Oxygen under pressure. In A. O. Brubakk & T. S. Neuman (Eds.), *Bennett and Elliott's physiology and medicine of diving* (pp. 358–418). Saunders.

- Crosland, M. P. (1963). The origins of Gay-Lussac's law of combining volumes of gases. *Annals of Science*, 1(17), 1–26.
- Deniz Kuvvetleri Komutanlığı (DKK). (2014). *Birinci sınıf dalgıçlar için dalış, dekompresyon ve basınç odası uygulamaları kılavuzu*. Ankara.
- Dries, D. J., & Endorf, F. W. (2013). Inhalation injury: Epidemiology, pathology, treatment strategies. *Scandinavian Journal of Trauma, Resuscitation and Emergency Medicine*, 21, 31.
- Ducharme, M. B., & Brooks, C. J. (1998). The effect of wave motion on dry suit insulation and the responses to cold water immersion. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 69(10), 957–964.
- Duntley, S. Q. (1963). Light in the sea. *Journal of the Optical Society of America*, 53(2), 214-233. <https://doi.org/10.1364/JOSA.53.000214>
- Edmonds, C., McKenzie, B., Thomas, R., & Pennefather, J. (2015). *Diving medicine for scuba divers* (6th ed.).
- Eastman, N. W., Ghaphery, J. L., & Landrum, G. (2017). The scuba regulator as a resuscitator for in-water rescue breathing. *The Physician and Sportsmedicine*, 10(3), 116–123.
- Frey, H. B., Coppens, A., & Sanders, J. V. (1982). *Fundamentals of acoustics* (3rd ed.). Wiley.
- Gearhart, M., Nagashima, S., Pfothner, J., Clark, S., Schwab, C., Vendlinski, T., Osmundson, E., Herman, J., & Bernbaum, D. J. (2006). Developing expertise with classroom assessment in K-12 science: Learning to interpret student work. Interim findings from a 2-year study. *Educational Assessment*, 11(3 & 4), 237–263.
- Gilbert, P. U. P. (2022). Reflection and refraction. In *Physics in the arts* (pp. 15-42). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-824347-3.00002-9>
- Gerth, W. A., Ruterbusch, V. L., & Long, E. T. (2007). The influence of thermal exposure on diver susceptibility to decompression sickness (NEDU TR 06-07). Navy Experimental Diving Unit.
- Hollien, H., Hicks, J. W. Jr., & Klepper, B. (1986). An acoustic approach to diver navigation. *Undersea Biomedical Research*, 13(1), 111–126.
- International Bureau of Weights and Measures (IBWM). (2021). *The International System of Units (SI)* (9th ed.). ISBN 978-92-822-2272-0. Disponible en: [www.bipm.org/documents/20126/41483022/SI-Brochure-9-en.pdf](http://www.bipm.org/documents/20126/41483022/SI-Brochure-9-en.pdf). Acceso en: 14 Mar. 2024.

- Kocatavi, O. (2015). *Kavitasyon yöntemi ile karina temizliği ve etkileri* (Unpublished master's thesis). İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Gemi İnşaatı ve Gemi Makinaları Mühendisliği Anabilim Dalı. Tez Danışmanı: Prof. Dr. Ali Can Takinacı.
- Kondratyev, I., Fulkerson, J., Kamenkov, I., Paramygin, V., & Samusenko, P. (2006). Nozzle for generating high-energy cavitation (U.S. Patent No. 20060118495 A1).
- Kırtak, V. N., & Kocakulah, M. S. (2018). Fen bilgisi öğretmen adaylarının kaldırma kuvveti konusundaki kavramsal anlamalarına tam stüdyo modelinin etkisi. *Fen Bilimleri Öğretimi Dergisi*, 6(2), 120–145.
- Lüders, K., & Pohl, R. (2018). The relation between absorption, reflection, and refraction of light. In *Pohl's introduction to physics, Volume 2: Electrodynamics and optics*.
- McKnight, T. (1996). *Physical geography*. Simon & Schuster/A Viacom Company.
- Na, J.-Y., Park, J.-W., Yoon, S.-H., Park, J.-S., Choi, B.-H., & Kim, Y.-S. (2014). Diver death due to underwater explosion. *Korean Journal of Legal Medicine*, 38(3), 171–174.
- Naval Diving and Salvage Training Center. (2011). *Formula book: Navy diving manual*. Prepared by Naval Diving and Salvage Training Center, Panama City, Florida.
- Maui Dreams Dive Co. (2013, November 26). What does that knob/lever do? [Blog post]. *Maui Dreams Dive Co.* Retrieved from <https://blog.mauidreamsdiveco.com/2013/11/26/what-does-that-knob-lever-do/>
- Özkan, F., Öztürk, M., & Baylar, A. (2006). Experimental investigations of air and liquid injection by venturi tubes. *Water and Environment Journal*. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2005.00003.x>
- Poddubny, A., Iorsh, I., Belov, P., & Kivshar, Y. (2013). Hyperbolic metamaterials. *Nature Photonics*, 7, 948.
- Qin, R., & Duan, C. (2017). The principle and applications of Bernoulli equation. In *Journal of Physics: IOP Conference Series*, 916, 1–6. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/916/1/012038>
- Riveros, H. G. (2019). Integral design of a physics course. *European Journal of Physics Education*, 10(2).

- Romer, R. H. (1982). Temperature scales: Celsius, Fahrenheit, Kelvin, Reamur, and Romer. *ERIC Journal*, 20(7), 450–454.
- Salazar, F., San-Mauro, J., Celigueta, M. Á., & Oñate, E. (2020). Shockwaves in spillways with the particle finite element method. *Computational Particle Mechanics*, 7, 87–99.
- Sliney, D. H. (2016). What is light? The visible spectrum and beyond. *Eye (Basingstoke)*, 30(2). <https://doi.org/10.1038/eye.2015.252>
- Smith, P. F. (1985). Toward a standard for hearing conservation for underwater and hyperbaric environments. *Journal of Auditory Research*, 25(1), 221–238.
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2017). *Physics for scientists and engineers* (9th ed.). Brooks/Cole.
- Sternbach, A., Moore, S., Rikhter, A., Zhang, S., Jing, R., Shao, Y., Kim, B., Xu, S., Liu, S., Edgar, J., et al. (2023). Negative refraction in hyperbolic hetero-bicrystals. *Science*, 379, 555.
- Şereflişan, M. (2023). *Sualtı teknik terimler sözlüğü*. İKSAD Yayınevi. <https://dx.doi.org/10.5281/zenodo.10004602>
- United States: US Naval Sea Systems Command. (2016). *US Navy diving manual* (7th rev.).
- Ünal, S., & Coştu, B. (2005). Problematic issue for students: Does it sink or float? *Asia-Pacific Forum on Science Learning and Teaching*, 6(1), 1–16.
- Walker, P. F., Buehner, M. F., Wood, L. A., Boyer, N. L., Driscoll, I. R., Lundy, J. B., et al. (2015). Diagnosis and management of inhalation injury: An updated review. *Critical Care*, 19, 351.
- Watkins, S. M. (1984). *Clothing: The portable environment* (1st ed.). Iowa State University Press.
- West, J. B. (2012). Torricelli and the ocean of air: The first measurement of barometric pressure. *Physiology*, 28(1), 66–73. <https://doi.org/10.1152/physiol.00053.2012>
- Xue, H., Diao, M., Ma, Q., & Sun, H. (2018). Hydraulic characteristics and reduction measure for rooster tails behind spillway piers. *Arabian Journal of Science and Engineering*, 43(5), 5597–5604.
- Yakar, M., Yılmaz, H. M., & Mutluoğlu, Ö. (2009). Hacim hesaplamalarında laser tarama ve yersel fotogrametrinin kullanılması. In *TMMOB Harita*

*ve Kadastro Mühendisleri Odası 12. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı.*

Yerer, H., & Armağan, Ö. F. (2015). Kuvvet ve hareket ünitesindeki kavram yanlışlarının çalışma yaprakları ile belirlenmesi. *International Journal of Human Sciences*, 12(2), 858–880.



Publishing House



**ISBN: 978-625-378-028-9**