

Not Defteri

V u r a l A l t ı n

Dünya'nın Atmosferi

Bileşim

Ne var yerin üstünde? Hava. Nedir hava, nelerden oluşur? Alırsın bir litre, soğutursun soğutabildiğin kadar ve sırası gelen gaz sıvılaştığında, ayırıp tartarsın: Sıfır kelvine, mutlak sıfıra yaklaşılabildiğin kadar devam. Bu soğutma işlemi ve düşük sıcaklıklarda çalışmak güçse eğer, havayı ayırıştırmanın başka yöntemleri de var; örneğin kütle spektrometresi. Neyse: Geride pek bir şey kalmayınca, o bir litre havanın içindeki çeşitli gazların ağırlıklarını bulmuş olursun. Bunların toplam ağırlığa oranları, ağırlık oranlarını verir. Veya ağırlıkları molekül ağırlıklarına bölüp, mol sayılarını bulursun. Bir mol gaz, ideal gaz, deniz düzeyi koşullarında 22.4 litre hacim kapladığına göre, mol sayılarından hareketle, hacimsel oranlar bulunur. Havanın bileşimi çıkar ortaya. Nedir o?...

Kuru atmosferin bileşimi		
	Hacimsel % veya milyonda bir (ppmv)	Kütlesel % veya milyonda bir (ppmm)
Nitrojen	%78,084	%75,523
Oksijen	%20,946	%23,133
Argon	%0,9340	%1,288
Karbondioksit	365 ppmv	530 ppmm
Neon	18,18 ppmv	12,67 ppmm
Helyum	5,24 ppmv	7,24 ppmm
Metan	1,745 ppmv	2,9 ppmm
Kripton	1,14 ppmv	3,3 ppmm
Hidrojen	0,55 ppmv	3,8 ppmm
Su buharı	Çok değişken; %0-7, genellikle %1 kadar.	

Hacimsel olarak; %78 nitrojen, %21 oksijen, %1 argon. Kütlesel oranlar, molekül ağırlıklarının farklılığı nedeniyle, biraz değişik. Bu bileşim küçük miktarlarda; nitrus oksitler (0,5 ppmv), ksenon (0,09 ppmv), ozon (%0-0,07 ppmv, kışın 0-0,02 ppmv), nitrojen dioksit (0,02 ppmv), iyot (0,01 ppmv) ile, eser miktarlarda karbonmonoksit ve amonyak da içeriyor. Bu bileşimdeki gazlardan bazılarının, oranları küçük olmakla beraber, işlevi önemli. Örneğin ozon...

Fakat bu bileşim, her yerde aynı değil; hava karışmıyorsa eğer, yükseldikçe değişir. Ne de olsa atmosferi yeryüzüne bağlı tutan, yerin kütlesini; durağan bir atmosferde en ağır gazlar dipte daha yoğun olmalı. Hafif olanlar daha ziyade üstte yüzüyor, suyun üstünde yağ gibi. Karışma yoksa tabii. Hem öyle; hem de yükseldikçe atmosfer seyreliyor olmalı, kesin bir sınırı yok. Peki ne kadar hava var yeryüzeyinde, atmosferi oluşturan?...

Basınç ve Sıcaklık

Upuzun bir tüp düşün, bir ucu yerde, bir ucu da gökyüzünde; atmosferin dışına kadar uzanıyor. Kesit alanı 1 cm² olsun, birim alan. Uçları da açık, ki içi hava dolsun. Bu durumda, tüpü yerdeki ucunu parmağınla kapattığında, parmak ucunda, tüpteki havanın tüm ağırlığını hissedersin. Birim alan başına atmosfere

rin ağırlığı bu. Bildiğimiz basınç yani, deniz düzeyindeki. Böyle bir tüp bulamayacağımıza göre, nasıl ölçeriz bu basıncı?... Basit: Evangelista Toricelli 1643 yılında barometreyi bulmuş zaten, Galileo'nun öğrencisi. Al uzunca bir tüpü, U şeklinde kıvrır; uçları yukarı gelecek şekilde tutup, içine, diyelim su doldur. Uçlardan birini, diyelim sağdakini, tam su seviyesinden eritip kaynat; ki içinde hava kalmamış olsun. Sonra tüpü ters çevir, ki ucu açık olan koldan su akabildiği kadar aksın. Hepsi akmayacaktır, çünkü diğer ucu vakumlu. Tüpü tekrar ters çevirip kollarını yukarı doğru verdiğimizde, ucu kapalı olan sağ koldaki suyun düzeyi, açık olan sol koldakinden daha yüksek olur. Çünkü sol koldaki suyun yüzeyinde atmosfer basıncı vardır, halbuki sağdakinin üzerinde boşluk; olsa olsa bir miktar su buharı... Düzeyler arasındaki yükseklik farkına Δy diyelim. Bu durumda sağ koldaki, taban alanı 1 cm² olan Δy yüksekliğindeki suyun ağırlığını, sol koldaki 1 cm²'lik açık yüzeye etki eden atmosfer basıncı ayakta tutmaktadır. Basıncın değeri o halde $p_g \Delta y$, suyun yoğunluğu ρ ise...

Ancak bildiğimiz gibi, su kullanırsak Δy 'nin 1.013 cm olması gerekir, yani 10 metreden fazla. Bu yüzden, olabildiğince daha yoğun bir başka sıvı kullanmak, daha kullanışlı. Örneğin, yoğunluğu 13,6 g/cm³ olan cıva, Δy 'yi 76 cm'ye indirir. Kısacası; deniz düzeyindeki cm² başına düşen havanın kütlesi, 76 cm³ civaninkine, yani 76x13,6 grama eşit. Yaklaşık 1 kg/cm². "Hava cıva" deyip geçmemek lazım, bu bizim için büyük bir kütle; omuzlarımızı binen ağırlığını, ayaklarımızla yere iletseydik eğer. Ayak tabanlarımızın, her birini 10x20 cm'lik dikdörtgen şeklinde varsaysak, toplam 400 cm²'lik taban alanımızın, 400x1=400 kg'lık kütle taşıması gerekirdi. Durduğumuz yerde; kendi kütlemize ek olarak, 400 kg hava: Niye hissetmiyoruz bunu?... E, havanın basıncı, ayaklarımızın altında da var da ondan. Altları vakumlu değil ki, tabanlarımız vantuz olsun. O yüzden havayı sırtımızda taşımıyoruz. Tam tersine, havanın içinde yüzüyor ve Arşimed ilkesine göre, taşırdığımız havanın ağırlığı kadar ağırlığımızdan kaybedip, hafifliyoruz. Az biraz; hacmi büyük olanlarımızı görece fazla, diğerlerimiz az. Kayda değer bir miktar değil bu ama. Havanın yoğunluğu 1,2 kg/m³ civarında, hacmimiz ise 0,2 m³'ten az olduğundan, 240 gram kadar. Kayda değer olan, atmosferin toplam kütlesi: Nedir o, M_A ?...

Dünyanın yarıçapı $R_D = 6.370 \text{ km} = 6,37 \times 10^8 \text{ cm}$. Yüzey alanı $A_D = 4\pi R_D^2 = 4\pi (6,37 \times 10^8 \text{ cm})^2 = 5,1 \times 10^{18} \text{ cm}^2$. Bu yüzeyin her cm²'sinin üzerinde yaklaşık 1 kg hava bulunduğuna göre; atmosferin toplam kütlesi, $M_A = (1 \text{ kg/cm}^2) \times (A_D \text{ cm}^2) = 5,1 \times 10^{18} \text{ kg}$ olur.



Dünyanın kütlesi ise $M_D = 6 \times 10^{24} \text{ kg}$. O halde M_A/M_D oranı: $0,85 \times 10^{-8}$. Milyonda 0,85 yani; dünyanın, atmosfer dahil toplam kütlesinin milyonda 0,85'i hava. Peki bu kadar hava, deniz düzeyindeki $\rho_A = 1,2 \text{ kg/m}^3$ lük yoğunluğuyla homojen olarak dağılmış olsaydı, deniz yüzeyinden yukarı hangi yüksekliğe kadar tırmanırdı? Dünyanın küresel yüzeyini, sanki düzlemsel bir alanmış gibi düşünüp; ki bunu yapabiliriz, dünyanın yarıçapı atmosferin kalınlığına göre çok büyükse; üzerine h yüksekliğinde bir atmosfer koyalım: Atmosferin toplam hacmi, $V_A = h \cdot A_D$ olurdu, yaklaşık olarak. Öte yandan bu hacim M_A/ρ_A 'ya eşit, yani $h \cdot A_D = M_A/\rho_A$ olmak zorunda. Öyleyse, $h = M_A/(\rho_A \cdot A_D) = 5,1 \times 10^{18} \text{ kg} / (1,2 \text{ kg/m}^3) / (5,1 \times 10^{14} \text{ m}^2) = 8.300 \text{ m}$. Veya 8,3 km. Atmosferin yoğunluğu sabit değil tabii, yükseldikçe azalıyor. Basınç azaldıkça seyrelip, sıcaklık arttıkça genleşip, azalıyor. Hem de üstel olarak. Dolayısıyla, atmosfer kalınlığı aslında, kesin bir sınırı olmamakla beraber, bundan bir hayli fazla. Ama bu değer 10 katından çok daha fazla olacak hali de yoktur herhalde, 80-100 km'den. Sıcaklık?...

Sıcaklık daha basit. Alırsın bir tüp; bu sefer kısa olabilir; havasını boşaltıp, içine biraz sıvı koyarsın; iki ucunu da kaynatmış olursun, olur termometre. İçindeki sıvı ısındıkça, boşluğa karşı genleşir ve eğer genleşme miktarı sıcaklıkla doğru orantılıysa; sıvı yüksekliğindeki oynamalar, sıcaklık değişimlerini verir. İlk termometreyi 1593 yılında Galileo keşfetmiş, Toricelli'nin hocası. Aslında, sıcaklıktan etkilenen herhangi bir şey termometre olarak kullanılabilir. Yeter ki bu etki, güvenilir bir göstergeye bağlanılabilsin; yani sıcaklığa bağlı olarak, uygun bir şekilde ölçeklendirilebilsin. Neyse. Bu iki temel aygıtla atmosferin yüksekliklerinde ölçüm nasıl yapılacak? Bir kere; yeryüzü coğrafyasının yüksek noktalarına tırmanılabilir, bu bir. İkincisi; rastlayıp ölçtüğü en yüksek ve en düşük sıcaklık ve basıncı kaydedecek birer aygıt, bir uçurtmaya bağlanıp uçurtulabilir. 18. ve 19. yüzyıllarda atmosfer verileri böyle toplanırdı. Tevekkeli Benjamin Franklin uçurtmaya o kadar meraklıymış, sınırlı imkanlarla çalışan onca bilim insanından yalnızca birisi olmasından dolayı. Bu yöntemle

Not Defteri

3 km yüksekliklere kadar ulaşılabilir. Balonların ise, dikey erimi 50 km kadar. Ancak yatayda fazla hareketli olduklarından; sonradan tekrar bulunup, ölçümlerinin okunması lazım. Ki bu her zaman mümkün değil. Halbuki Markoni'nin radyoyu keşfetmesinden ve işlevsel bir radyonun küçültülmesinden sonra, 1930'lu yıllarda, 'radyosonda' denilen rasat balonlarının, ölçümlerini radyo dalgalarıyla yere iletmeleri mümkün oldu ve balonların peşinden koşturmaca son buldu. 1960'lı yıllarda ise, çok daha yükseklere tırmanabilen 'atmosfer inceleme uçakları' ve uydular vardı. Değişik yüksekliklerde ölçümler yapıp, hava örnekleri alındı. Şimdi artık, Doppler etkisine dayalı ölçümler yapan radarlarla donanımlı 'rasat uyduları', hava tahminlerine yönelik kısa vadeli verileri büyük bir hızla toplayabildikleri gibi, iklimdeki uzun vadeli değişimlerin belirtilerini de arıyorlar. Yapılan ayrıntılı incelemelere göre, durum kabaca şöyle...

Katmanlar

Konum ve zamanla bağlı olarak değişmekle beraber, atmosferin deniz düzeyindeki yoğunluğu $1,2 \text{ kg/m}^3$. Basıncı 1 atm veya 1,013 bar, yani 101.300 N/m^2 ya da Paskal. Sıcaklık, ortalama $14 \text{ }^\circ\text{C}$ kadar. Yükseklik arttıkça; yoğunluk üstel olarak sürekli azalırken; sıcaklık önce azalır sonra artıyor, sonra yine tekrar. Dolayısıyla, sıcaklık değişimlerine göre, atmosferi kabaca dört katmana ayırmak mümkün: Troposfer, stratosfer, mezosfer, termosfer.

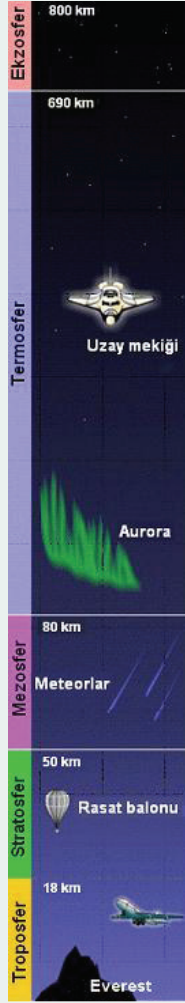
Troposfer, hava paketlerinin yükselip alçaldığı ve iklim olaylarının hemen tümünün yer aldığı katman. Kalınlığı, enleme ve hava durumuna bağlı olarak, 7-17 km arasında değişiyor. Deniz düzeyinde 1 atm olan basınç, ilk 5 km'nin sonunda %50, katman sınırında %90 oranında azalıyor ve bu; atmosferin toplam kütesinin, sırasıyla %50'sinin ve %90'ının bu ince kabuklar içerisinde bulunduğu anlamına geliyor. Örneğin, Everest'in 8.856 m yüksekliğindeki zirvesinde 300 milibar, yani deniz düzeyindeki 1 atm'in üçte birinden az. Tırmanıcılar bu yüzden, oksijen tankı ve maskesi kullanmak zorunda. Sıcaklık keza, yükseklikle birlikte azalıyor. Bu da beklenen bir durum. Yerkabuğu güneşten gelen ışınlarla ısındığına ve radyoaktif kökenlisi de dahil olmak üzere yerin iç ısı kabuktan dışarıya verilmekte olduğuna göre; litosfer, atmosferin bu en alt katmanına göre daha sıcak

ve litosferden uzaklaşıp troposferde tırmadıkça, hava sıcaklığı azalmak zorunda. Ölçüme dayalı değişim formülleri farklılık göstermekle beraber, her km'de yaklaşık $6 \text{ }^\circ\text{C}$ kadar. Dolayısıyla; deniz düzeyinde $14 \text{ }^\circ\text{C}$ olan ortalama sıcaklık, katman sınırında $-52 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar iniyor. Örneğin Everest'in zirvesinde, $-39 \text{ }^\circ\text{C}$ olmasa gerekirken, ölçümler $-36 \text{ }^\circ\text{C}$ veriyor. Troposferle bir sonraki katman arasında, 'tropopause' denilen ince bir geçiş tabakası var. Bu ikisine birlikte, 'alt atmosfer' de deniyor.

Troposferden sonraki katman, 50 km yüksekliğe kadar tırmanan stratosfer. Buradaki hava kuru ve daha az yoğun. Hava hareketleri hala var, ama çoğunlukla yatay. Sıcaklık yükseklikle birlikte, $-3 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar artıyor. Demek ki bu katmanda bir enerji kaynağı var. O da, güneşten gelen morötesi ('ultraviolet') ışınların yüksek frekanslı kısmını soğuran ve böylelikle, yeryüzündeki hayatı bu ışınların zararlı etkilerinden koruyan, yaklaşık 12 km kalınlığındaki ozon tabakası. Gerçi 'ozon tabakası', yanlış bir isim. Çünkü ozon aslında, buradaki hava bileşiminin küçük bir kısmını oluşturuyor. 1990'lı yıllarda bu tabakanın insan yapımı kloroflorokarbon bileşiklerinin etkisiyle, başta Antarktika üzerinde olmak üzere bazı bölgelerde incelendiği belirlenince, sözkonusu bileşiklerin kullanımından vazgeçildi. Troposfer; bir sonraki katmandan, yani mezosferden, 'tropopoz' ('tropopause') denilen ince bir tabakayla ayrılıyor.

50 km ile 80-85 km arasında olan mezosferde, sıcaklık tekrar azalma eğilimine giriyor ve katmanın, 'mezopoz' ('mesopause') denilen dış sınırında $-93 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye düşüyor. Stratosfer ve mezosfere, stratopoz ve mezopoz tabakalarıyla birlikte, 'orta atmosfer' de deniyor. ATLAS Uzay Laboratuvarı misyonu kapsamında ayrıntılı olarak incelendi. Orta atmosferde 80 km yüksekliğine üstüne çıkanlar, ABD'de 'astronot' olarak nitelendiriliyor.

Bir sonraki katman; 80-85 km'den başlayıp, 640 km'den yukarısına kadar uzanan termosfer. Havası çok seyrelmiş olmakla beraber, güneşten gelen en yüksek enerjili foton veya parçacıkları soğuruyor. Dolayısıyla, sıcaklık yükseklikle birlikte artarak, $1.727 \text{ }^\circ\text{C}$ 'ye kadar ulaşabiliyor. Atomlarının çoğu iyonlaşmış halde olduğundan, bu katmana 'iyonosfer' de deniyor. İyon katmanının radyo dalgalarını yansıtıyor olması, yeryüzündeki uzun mesafe radyo iletişimini mümkün kılıyor. İyonosferin yapısı, Gü-



neş'teki patlamaların fırlattığı ve çoğunlukla yüksek enerjili protonlardan ($\sim 500 \text{ keV}$) oluşan 'Güneş rüzgarı'ndan ciddi şekilde etkileniyor. Bu rüzgarın gücü Güneş'in etkinlik düzeyine bağlı olduğundan, iyonosfer üzerindeki etkisi de zamanla değişken. Ancak, kimyasal tepkimeler yüksek sıcaklık nedeniyle, yeryüzündekine oranla çok daha hızlı seyrettiğinden; iyonosfer, yapısındaki değişiklikleri hızla onarma yeteneğine sahip. 'Üst atmosfer' olarak da nitelendirilen bu katman, 'Tasmalı Uydusu'na ('Tethered Satellite Mission, TSS-1R') incelenecek. Tasma; termosferde gezinecek olan inceleme uydusunu, daha alçakların görece güvenli ortamında seyreden bir uzay aracına bağlayan halat...

100 km'nin altındaki atmosfer, yükseklikle birlikte seyrelmekle beraber, oldukça iyi karıştığından, yaklaşık olarak aynı bileşime sahip. Fakat 100 km'nin üstünde bu bileşim, karışıma etkilerinin yokluğu nedeniyle, yükseklikle birlikte değişmeye başlıyor. Çünkü; gerçi her gaz yükseklikle üstel olarak, fakat daha ağır olanları daha hızlı seyrelmek zorunda. Dolayısıyla, oksijen ve nitrojen gibi molekül ağırlığı görece yüksek olan gazlar, helyum ve hidrojen gibi hafif moleküllü gazlardan daha hızlı seyreliyor. Sonuç olarak, termosferin dış kısmı; 'heterosfer' olarak adlandırılan ve sırasıyla helyum, molekül halindeki hidrojen ve atom halindeki hidrojen gazlarının egemen olduğu bir bölge içeriyor. Bu bölgenin yükseliği ve içerdiği tabakaların kalınlıkları, sıcaklığa bağlı olarak değişken. Uzay araçlarının atmosfere girişinde, atmosferin varlığı 120 km'nin altında hissedilmeye başlanıyor. 100 km'de ise, bazen atmosferle uzay arasındaki sınır olarak kullanılan ve ünlü akışkanlar dinamikçisi Theodore von Karman'ın anısına atfen adlandırılmış olan 'Karman sınırı' var. Fakat, atmosferin altında kesin bir sınırı yok. Termosferin ötesinde seyrelmeye devam ederek, gezegenlerarası gazlarla karışıyor. Çok düşük yoğunluklardaki hidrojen ve helyum, ekzosfer denilen bu bölgedeki ana bileşenler. Öte yandan, Dünya'nın manyetik alanı, onbinlerce kilometre ötelere uzanıyor ve Güneş rüzgarını oluşturan yüklü parçacıkların vücut verdiği manyetik alanın etkisiyle, Güneş'e zıt yönde uzun bir kuyruk oluşturuyor. Manyetosfer denilen bu bölge, rüzgarın getirdiği yüksek enerjili yüklü parçacıkları yakalayıp sarmal yörüngelerde yavaşlatarak, dünyayı bu tehlikeli kozmik ışınların hüsmından koruyan biralkan görevi görüyor. Van Allen radyasyon kuşağında hapseden iyonlar, kutup bölgesinde atmosfere girdiklerinde, 'Kutup Işıkları' da denilen 'aurora' ışımasına yol açıyor.

Peki: Bizim içinde yaşadığımız troposferde neler oluyor? Nasıl?..

