



V u r a l A l t ı n

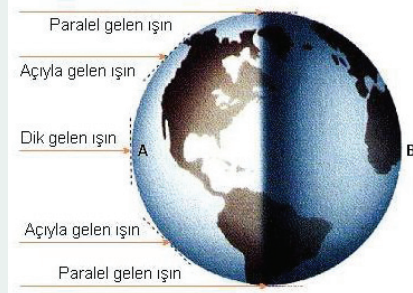
Atmosfer ve İklim

Önce, Dünya'yı durduralım. Sonra atmosferiyle birlikte alıp, içinde eser miktarlarda hidrojen ve helyum barındıran bir boşluğa koyalım. Etrafında, Güneş veya benzeri ışıyan bir gök cisimi bulunmasın. Bu durumda boşluk, evrenin ortalama 2,73 K civarındaki sıcaklığında olacağından, halbuki yerkürenin içi çok daha sıcak ve hatta radyoaktivite kaynaklı ısı üretiyor olduğundan, Dünya hızla soğumaya başlar...

Katı kabuğunun dış yüzeyi, temasa geldiği hava moleküllerine kinetik enerji aktarmakta, iletim ('kondüksiyon') yoluyla soğumaktadır. Isınan moleküller, havanın genişlemesiyle birlikte yükselir ve kazandıkları kinetik enerjileri üst katmanlara iletirler. Yerkabuğu ayrıca, her sıcak cisim gibi ışımakta, 'radyasyon' yoluyla da soğumaktadır. Işıdığı fotonlardan bazıları, atmosferdeki molekül ya da atomlar tarafından soğurulur. Bunun sonucunda ya da birbirleriyle çarpışmaları sırasında, bazen bazı atomlar iyonlaşırken, bazen de molekül bağlarından bazıları kırılmaktadır. Diğer yandan, iyonların bir araya gelip nötr atomlara, atomların bağ kurup tekrar moleküllere vücut verdiği de olur. Bu birleşmeler sırasında açığa çıkan enerji, çoğunlukla ışımaya şeklindedir. Dolayısıyla, atmosferde; foton soğurmaları eşliğinde atom iyonlaşmaları ve molekül parçalanmaları, birleşmeler sonucunda tekrar foton ışımaları, her birim hacim içerisinde trilyonlarcasıyla sürüp gitmekte, fakat atmosferden çıkan fotonlar geri dönmektedir. Sonuçta soğumayı sağlayan da zaten, boşluğa sızan bu fotonlardır.

Atmosferdeki nem yoğunlaşmaya ve okyanuslarla göller, suyun özgül ıvıvesi gereği üstten alta doğru donmaya başlar. Zaman geçtikçe, atmosferdeki diğer gazlar (sırasıyla karbondioksit, metan, oksijen, nitrojen) önce sıvılaşır, sonra donar. İç ısı azaldıkça, litosfer kalınlaşmakta, yerkabuğu plakaları birbirine kaynamaktadır. Tektonik hareketler azalırken, deprem etkinlikleri son bulur. Dış çekirdek katılaştığında, yerin manyetik alanı yok olmuştur. Bu arada hayat da çoktan... Sonunda geriye, en dışta helyum gazı ve biraz hidrojenle, altta kaskatı bir küre kalır. Karanlığın ortasında...

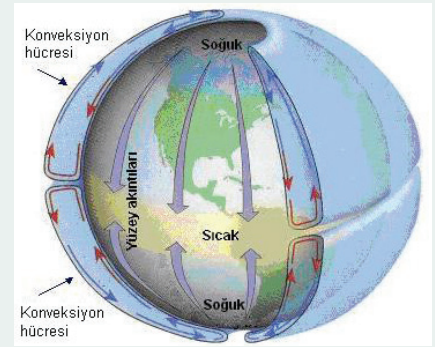
Şimdi Güneş'i alıp, dünyanın karşısına koyalım. Dünya hâlâ durağan. "Ama bu nasıl olur, kütleçekimi nedeniyle Güneş'in içine düşmez mi?" dersiniz, haklısınız. Diyelim, uygun kütlelere sahip birkaç karadelik alıp, uygun yörüngeleere yerleştirdik. Öyle ki; Dünya ile Güneş, bu karadeliklerin uyguladığı kütleçekimi kuvvetlerinin toplamının sıfır olduğu noktalardan ('Lagrange noktaları') ikisinde duruyor ve birbirine bakıyor olsunlar. Bu durumda; Dünya'nın 'ön' yarısı hep aydınlık, arkası hep karanlıktır. Aydınlıkla karanlığın buluşma hattına, ki bu, merkezden geçen bir 'büyük daire' oluşturur; 'solar terminatör' denir...



Dünya ısınmaya başlamıştır. Atmosfer bileşenleri zamanla, önceki durumun tersi sırayla; önce sıvılaşır, sonra gaz haline geçer. Ancak, ısınma her yerde aynı değildir. Yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi; aydınlık yarının göbeğine (A) düşen ışınlar yüzeye dik gelmekte, halbuki terminatöre ulaşanlar yere paralel seyretmektedir. Arka yarıysa, hiç ışın almaz. Dolayısıyla, birim alan başına soğurma miktarı; A noktasında en fazlayken, bu noktadan uzaklaştıkça azalır, terminatörde sıfıra yaklaşır. Isınmadaki bu farklılık, oluşmakta olan atmosferde sıcaklık gradientlerine; bu da, termodinamiğin ikinci yasası gereği "her nerede gradyent, orada hareket" olduğuna göre; hava hareketlerine yol açar. Şöyle ki; A noktasında ısınıp genişleyen hava yükselir ve giderek büyüyen dairesel cepheler halinde, üst katmanlarda yayılır. Karşılaştığı havayı ısıtırken, kendisi soğumaktadır. Terminatöre doğru yol aldığı, soğuyup ağırlaşır ve yerçekiminin etkisiyle bir yerlerde, dairesel bir cephe halinde dibe dalar. Geride A noktasındaysa, bir alçak basınç merkezi oluşmuştur. Komşu yüzey bölgelerin, görece soğuk olan basıncı yüksek havası, bu noktaya doğru akmaya başlar. Dolayısıyla, üst katmanlarda; A noktasından dışarıya doğru yayılırken soğuyan görece sıcak bir hava akımı yaşanmakta, yere yakın yüzeydeyse; yukarıdaki soğuk havanın dibe daldığı dairenin çevresinden başlayarak, A noktasına doğru süzülürken ısınan, görece soğuk bir hava hareketi yer almaktadır. Döngü kapanmıştır ve bir 'konveksiyon hücresi'nin oluştuğu söylenir. Hücre zamanla genişleyip, terminatörü geçer ve arka yüzeyin en soğuk noktası olan B'ye kadar ulaşır. Hücre akımı sayesinde, arka yüz de ısınmaktadır.

Hal böyleyken, şimdi de tutup Güneş'i, Dünya'yı merkez alan dairesel bir yörünge üzerinde dolaştırmaya başlayalım. Kütleçekiminin $1/r^2$ niteliği nedeniyle, hareket düzlemsel olacak ve yörünge düzlemi Dünya'nın merkezinden geçecektir. Yeryüzündeki herhangi bir nokta için, Güneş artık doğup batmakta olduğundan ve hem de bunu, ufku hep aynı noktasında belirip hep aynı noktasında kaybolarak yaptığından, şimdi artık bir 'doğu' ile 'batı' yönleri vardır. Dolayısıyla, bir de 'kuzey' ve 'güney' yönleriyle kutupları olacaktır. "Hangisi kuzey, hangisi güney?..."

Sağ elimizin parmaklarını Güneş'in yörünge hareketi doğrultusunda kıvrıdıktan sonra başparmağımızı dikleştirdiğimizde, bu parmağın işaret ettiği yöne kuzey, ona zıt yöne de güney diyelim. Yani öyle ki, kuzeyden aşağıya doğru bakıldığında, Güneş Dünya'nın etrafında saatin tersi yönde dolaşıyor olsun. Dünyanın kutup eksenine dik olan en büyük dairesi ekvator, bunu içeren düzlem de ekvator düzlemi... Ekvator düzlemi bu hayali durumda, Güneş'in yörünge düzlemiyle çakışmaktadır vs. Neyse...



Bu durumda, zaman üzerinden ortalama olarak, herhangi bir enlemdeki noktaların hepsi aynı miktarda ışın soğurmakta ve soğurma miktarı, ekvatorde en fazla olup, kutuplara doğru azalmaktadır. Ekvatorde ısınıp genişleyen hava yükselir, üst katmanların üzerinden kutuplara doğru akacak ve yüksek enlemlerin birinde yeterince soğuyarak dibe dacaktır. Ekvator civarındaki yeryüzeyinde bıraktığı alçak basınç şeridiyse; kuzey ve güney komşu enlemlerden gelen, görece soğuk ve yoğun havanın, yüzeyel akımına uğrar. Kısacası, yukarıdaki şekilde görüldüğü gibi, kuzey ve güney yarımkürelerde, birbirinin ayna simetrisi birer konveksiyon hücresi oluşmuştur.

Eğer bu arada, "Güneş'i Dünya etrafında nasıl dolaştırırız" dediyeniz, haklı olarak; bu sorunun yanıtı için, başlangıçta kullandığımız karadeliklerin özelliklerini listeleyen bir belgeyle birlikte, iyi bir 'yörünge mühendisi'ne başvurmak lazım. Ama hadi ondan vazgeçelim ve Güneş'i (yaklaşık) sabit tutup, Dünya'yı onun etrafında dolaştıralım. Bu durumda, karadelikleri de kaldırıp atabiliriz. Peki, bir önceki durumdaki kuzey ve güney yönlerinin hâlâ geçerli olması için, Dünya'yı yörüngesinde hangi yönde dolaştıracağız? Demin kuzeyden bakıldığında Güneş Dünya'nın etrafında saatin tersi yönde dolaştığına göre, şimdi de Dünya'nın, aynı kuzeyden bakıldığında, Güneş etrafında yine saatin tersi yönde dolaşması gerekir; ki, kuzeyle güneyi belirlemede kullanmış olduğumuz sağ el kuralı geçerliliğini korusun. Peki, yörünge periyodu ne olsun? Bildiğimiz yıl... Gece gündüz? Dünya kendi

Not Defteri

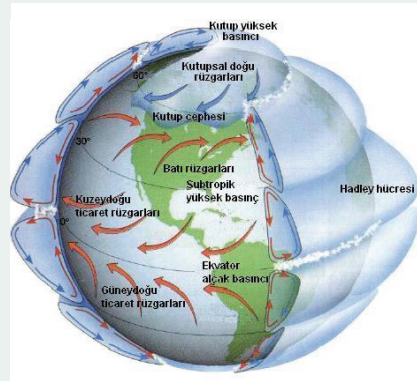
etrafında dönmüyorsa eğer, yani günün uzunluğu sunuzsa: 6 ay gece olur, 6 ay da gündüz. Gece-gündüz döngüsü bir yıl sürer: fazla uzun. Döndürelim, yılda bir tur: O zaman, günü bir yıl olur. Hem de şöyle: Dünya bu sefer, Güneş'e hep aynı yüzünü gösterir, ya da arkasını. Ay'ın bize yaptığı gibi: Hoş değil. İlginç ama: Güneş'in etrafında yılda bir tur atan Dünya'nın; spini yoksa, günü sunuz, gece-gündüz döngüsü bir yıl... Bir yıl periyotlu bir spini varsa; o zaman da günü bir yıl, gece-gündüz döngüsü sunuz. Birincisinde gece-gündüz döngüsü var, ikincisinde yok. O halde bu ikincisi, yani Güneş'e hep aynı yüzü göstereni; atmosfer hareketleri açısından; en başta irdelediğimiz, durağan Dünya'nın karşısında durağan Güneş incelemesine eşdeğer. Yani, aynı durumu karadelik kullanmaksızın elde etmenin bir yolu. Neyse: Gece-gündüz?...

En iyisi; bildiğimiz mevcut duruma benzer şekilde, Dünya Güneş'in etrafında yılda bir kez dolanıyor, kendi etrafında da yılda 365 küsur kez dönüyor olsun. Dönme hangi eksen etrafında? Bir önceki durumdaki doğu ve batı yönlerinin hâlâ geçerli olması için, Dünya'nın kuzey-güney eksenini etrafında dönüyor olması lazım. Hem de; sağ elin başparmağı kuzey yönüne doğru dikleştirilmişken, diğer parmaklarının işaret ettiği yönde dönmesi... Yani batıdan doğuya doğru; ki Güneş doğudan doğup batıdan batsın. Yani kuzeyden bakıldığında, Dünya saatin tersi yönde dönmeli, yörüngesinde dolaştığı gibi. Raslantı bu ya; her iki hareket için de, kuzey yönüyle ilintili olarak, sağ el kuralı geçerli. Böyle olmayabilirdi tabii ve Dünya, kuzeyden bakıldığında, Güneş'in etrafında saatin tersi yönde dolanırsa, kendi etrafında saat yönünde dönüyor olabilirdi; veya tersi. O zaman; Güneş şimdiki batıdan doğup, şimdiki doğudan batardı. Ama o durumda da biz, doğuyla batıyı tersine tanımlamış olurduk herhalde: Yüzümüzü kuzeye çevirdiğimizde sol kolumuzun işaret ettiği yöne, batı yerine doğu, sağ kolumuzun işaret ettiği yöne de, doğu yerine batı demiş olurduk. Neyse, dönelelim atmosfer hareketlerine...

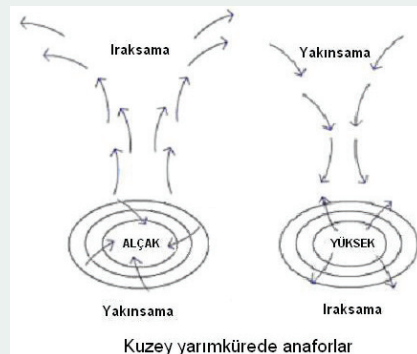
Dikkat edilecek olursa, Dünya için betimlemekte olduğumuz bu hareket düzeninde; spin eksenini, Güneş'in etrafındaki yörüngesinin, 'ekliptik' de denilen düzlemine dik. Halbuki aslında eğik... Dolayısıyla, gerçek durumla arada bir fark var ve bu yüzden, incelediğimiz durumda mevsimler oluşamayacak. E, o zaman bir önceki incelediğimiz; Güneş'in durağan bir Dünya'nın etrafında dolaştığı durumla bunun arasında ne fark var? Ekvator yine en fazla ısınacak ve genişleşip yükselen hava kutuplara doğru akıp arada dibе dalarken, ekvator da kalan alçak basınç merkezi, komşu enlemlerden gelen yüzey akıntılarının hücumuna uğrayacak?... Bir önceki şekilde gördüğümüz konveksiyon hücrelerinin aynı mı oluşur? Hayır: Çünkü, bu yeni durumda spin var ve spinin, serbest uçan cisimler üzerinde etki ettirdiği, yani hava hareketlerini etkileyen sanal bir 'Coriolis kuvveti...' Ne menem şey o?

Biz yerde sabit dururken, Dünya ile birlikte dönüyor olduğumuza göre, atmosferde serbest

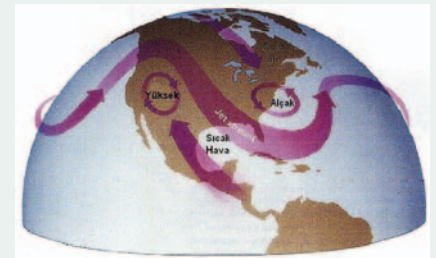
uçuş halindeki havanın hareketinin bize nasıl göründüğünü anlayabilmemiz için; bizim gibi yere çakılı olup, Dünya ile birlikte dönen bir koordinat sistemine başvurmamız gerekir. Başlangıcı Dünya'nın merkezinde, z eksenini kuzey yönünde olsun. Sistem bu eksen etrafında, Dünya'nın sabit açısal hızıyla (ω) dönmektedir. Yeryüzündeki herhangi bir konumdan (r) baktığımızda, bize göre sabit bir hızla (v) hareket etmekte olan bir cisim veya molekül, gerçekte sahip olduğu yerçekimi ivmesine ek olarak, yine bize göre, hayali iki ivme bileşenine daha sahipmiş gibi görünür. Bunlardan birincisi, hayli tanışık olduğumuz ve bulunduğumuz enlemin düzleminde yatıyor olup dönme ekseninden dışarıya doğru bakan merkezkaç ivmesi ($\omega \times r \times \omega$), diğeri ise pek tanışık olmadığımız Coriolis ivmesidir ($v \times \omega$). Bu ikinci bileşenin kaynağına atfedilen hayali kuvvette 'Coriolis kuvveti' denir. Coriolis kuvveti nedeniyle, bize göre v hızıyla serbest hareket halindeki her cisim, v 'nin işaret ettiği rotadan sapar; kuzey yarımkürede sağa, güneyde sola... Bunu görebilmek için; yeryüzünün çeşitli noktalarında durduğumuzu varsayarak, değişik yönlerde v hızları alıp, $v \times \omega$ 'nin o noktadaki yeryüzüne teğet olan bileşenlerine bakmak yeterlidir. Şimdi bu verilerin ışığında, hızlı bir özet: Yarımkürelerdeki akımlar birbirinin ayna simetrisi olduğundan, sadece kuzey yarımküre için...



Ekvator da ısınan hava yükselip, kuzey kutbuna doğru yönelir. Soğuyup ağırlaşmakta, yerçekiminin etkisiyle alçalmaktadır. Öte yandan, boyamlar birbirine yaklaştığından sıkışır ve 30° enlemi civarında, kısmen dalıp, kısmen de yoluna devam eder. Dalan kısım yere çarptığında, iki kısma ayrılır. Güneye yönelen kütle, ekvator civarındaki alçak basınç şeridinde akacak ve birin-



ci konveksiyon hücrelerinin (Hadley hücresi) kapanmasını sağlayacaktır. Kuzeye yönelen yüzey akımıysa, yine kuzeye doğru yoluna devam etmekte olan üst katmandaki akımla birlikte, ikinci bir hücre oluşturur. Bu ikinci hücre, 60° enlemi civarında, daha soğuk olan kuzey cephesiyle buluşur. Hücreler arasındaki sıcaklık farkları, yükseklerde Jet Stream gibi hava akımlarını oluşturur. Yüksek ya da yüzeyel, tüm hava akımları, Coriolis kuvvetinin etkisiyle hep, rotalarından sağa doğru sapmaktadır. Dolayısıyla, sıcak yüzey rüzgarlarından, kuzeye doğru esenler sağa, yani doğuya; güneye doğru esenlerse, yine sağa, yani batıya doğru saparak, sırasıyla; kuzeydoğu ve güneybatı rüzgarlarını oluşturur. 30° enlemi civarında dalan ve 'tropik altı' ('sub-tropik') yüksek basınç kuşağını oluşturan havanın, haftalar boyunca hız kazanamadığı olur. Eski İspanyol denizci-fetihçiler bu durumu bildiklerinden, sözkonusu enleme 'At Dönencesi' derlerdi. Çünkü buralarda rüzgarsız yakalandıklarında, rüzgarın tekrar ne zaman eseceğini kestiremediklerinden ve gemideki suyu paylaşmak istemediklerinden, atlarını denize dökerlerdi. Ayrıca, sıkışırken ısınan havadaki nem oranı görece azaldığından, bu enlem kuşağı pek fazla yağış almaz. Nitekim, Sahra gibi büyük çöller bu enlem civarına denk gelmektedir. Öte yandan, kuzey yarımküredeki herhangi bir yüksek basınç merkezinden (antisiklon) dışarıya doğru dağılan hava, merkezden uzaklaşırken hep sağa doğru saparak, saat yönünde iraksayan bir anfor oluşturur. Tersine, bir alçak basınç merkezine (siklon) doğru akan havaysa, merkeze doğru yaklaşırken, keza hep sağa doğru sapmakta ve saat yönünde yakınsayan bir anfora yol açmaktadır. Tıpkı, kuzey yarımkürede boşalmakta olan bir lavabodaki suyun, delikten aşağı giderken oluşturduğu anfordaki gibi. En güçlü anforlar, Coriolis ivmesinin tümüyle yere paralel olduğu kutupta, kutuplarda yer alır.



Yüzeyel hava akımları tabii, topoğrafyanın sunduğu girinti ve çıkıntılardan, sürtünme kuvvetlerinden ve okyanuslarla karaların sıcaklıkları arasındaki farklardan da etkilenirler. Diğer yandan, okyanus sularını kendi doğrultularında hareket ettirirler. Örneğin Gulf Stream. Bir de spin ekseninin, aslında yörünge düzlemine dik olmayıp, $23,5^\circ$ eğik olmasından kaynaklanan mevsimler var. Bunlar, işleri biraz daha karmaşıklaştırıyor.

Bunlar altatmosferde yer alan bazı fiziksel olaylar. Ama iklimin belirlenmesinde kimyasal olayların da rolü var...