

HİD253 Termodinamik İlkeleri

12. Hafta Hidrojeolojik Süreçler ve Termodinamik İlkeleri

Prof.Dr. C. Serdar BAYARI, Jeoloji Mühendisliği Bölümü Hidrojeoloji Anabilim Dalı



Hidrojeolojik Süreçler ve Termodinamik İlkeleri

Yasa 1: Enerji/kütle korunur, sabittir, yok edilemez, yoktan var edilemez. Enerji türleri arasında dönüşüm mümkündür.

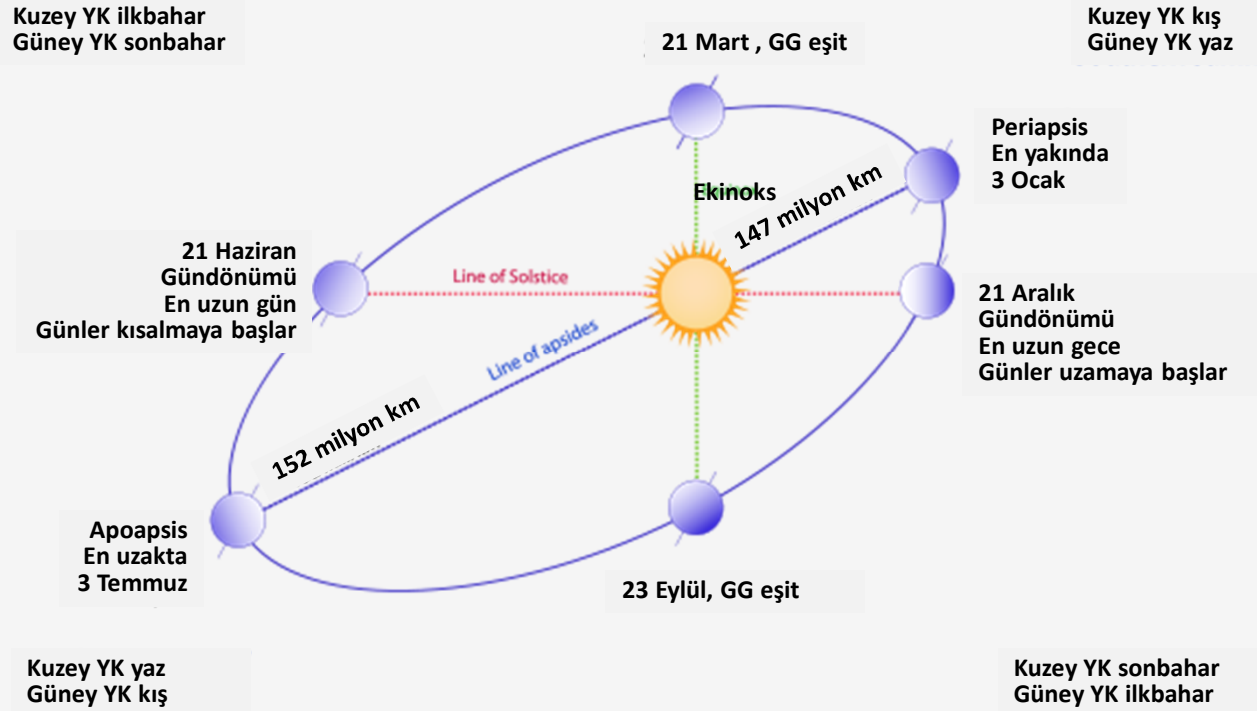
Yasa 2: Enerji/kütle her zaman daha faydalı iş yapabileceği konumdan daha az faydalı iş yapabileceği konuma doğru kendiliğinden hareket etme eğilimindedir. Enerjinin bir kısmı ile faydalı iş yapılamaz, bu kısım ziyan olur. Sonuçta tüm süreçlerde entropi değişimi ya sıfırdır ya da sıfırdan büyüktür.



Yeraltısuyu sistemleri hidrolojik çevrimin bir parçasıdır. Hidrolojik çevrimin gereksindiği enerji güneşten gelen radyasyon ile sağlanır. Bu enerjinin miktarında çeşitli nedenlerle oluşan değişimler yerküre ikliminin değişir. Güneş radyasyonu sadece hidrosferi değil, bununla bağlantılı olan atmosfer ve biyosfer gibi sistemleri de etkiler. Yerküre birbirleri ile etkileşimde olan bu sistemlerden oluşan bir bütündür.

Hidrojeolojik Süreçler ve Termodinamik İlkeleri

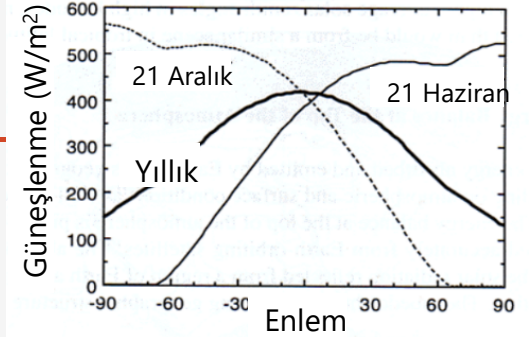
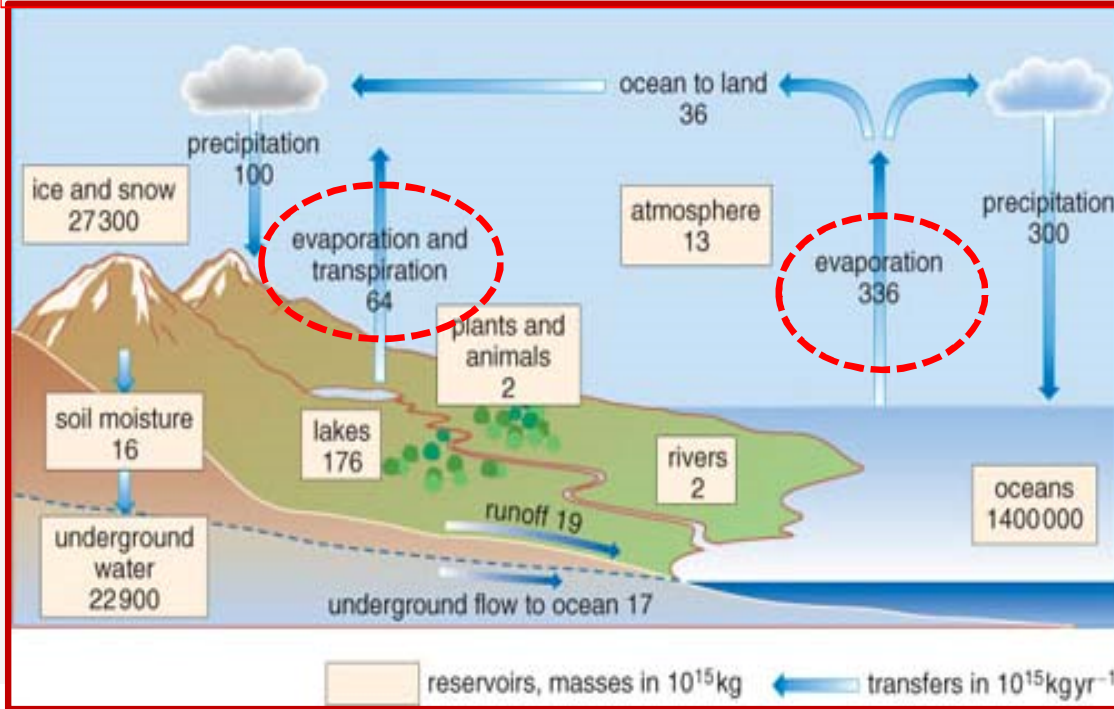
Su Döngüsünün gereksindiği enerjiyi sağlayan güneş radyasyonunun yüzeye ulaşan miktarı içinde bulunulan enleme bağlı olarak yıl içinde değişim gösterir. Bu durumun nedeni Dünyanın kendi çevresindeki dönüş ekseninin Güneş çevresindeki hareketi sırasında değişim göstermesidir. Bu değişime bağlı olarak kuzey yarıküre yazında güneş ışınları yeryüzeyine daha eğik açıyla ulaşırlar. Bu durum, bir yer yüzeyine (m^2) ulaşan enerji miktarının daha az olması demektir. Örneğin $K40^\circ$ enleminde (Ankara enlemi) 21 Aralıkta güneşlenme 160 W/m^2 iken bu değer 21 Haziran'da 460 W/m^2 'ye yükselmektedir. (2.88 kat artış!)



Hidrojeolojik Süreçler ve Termodinamik İlkeleri

Yerkürede su miktarı sabittir. Su döngüsündeki miktar iklim değişimi ile değişir. İçinde bulunduğumuz koşullarda yağışların kaynağı olan bulutlardaki nem buharlaşma ve terlemeden kaynaklanır. Bunun için her yıl $0.4 \cdot 10^{18}$ kg su ortalama 1000 m yukarı taşınır.

Kütle: $(0.336 + 0.064 = 0.400) \cdot 10^{18}$ kg/yıl, Bulut taban yüksekliği: 1000 m



$$E = m(\text{kg}) \cdot g(\text{m/s}^2) \cdot h(\text{m}) = \text{kgm}^2\text{s}^{-2} = \text{Joule}$$

Watt = 1 J/s, Buharlaşma için kaç watt enerji gerekir? Bu enerjiyi sağlamak için kaç tane enerji santrali gerekir?

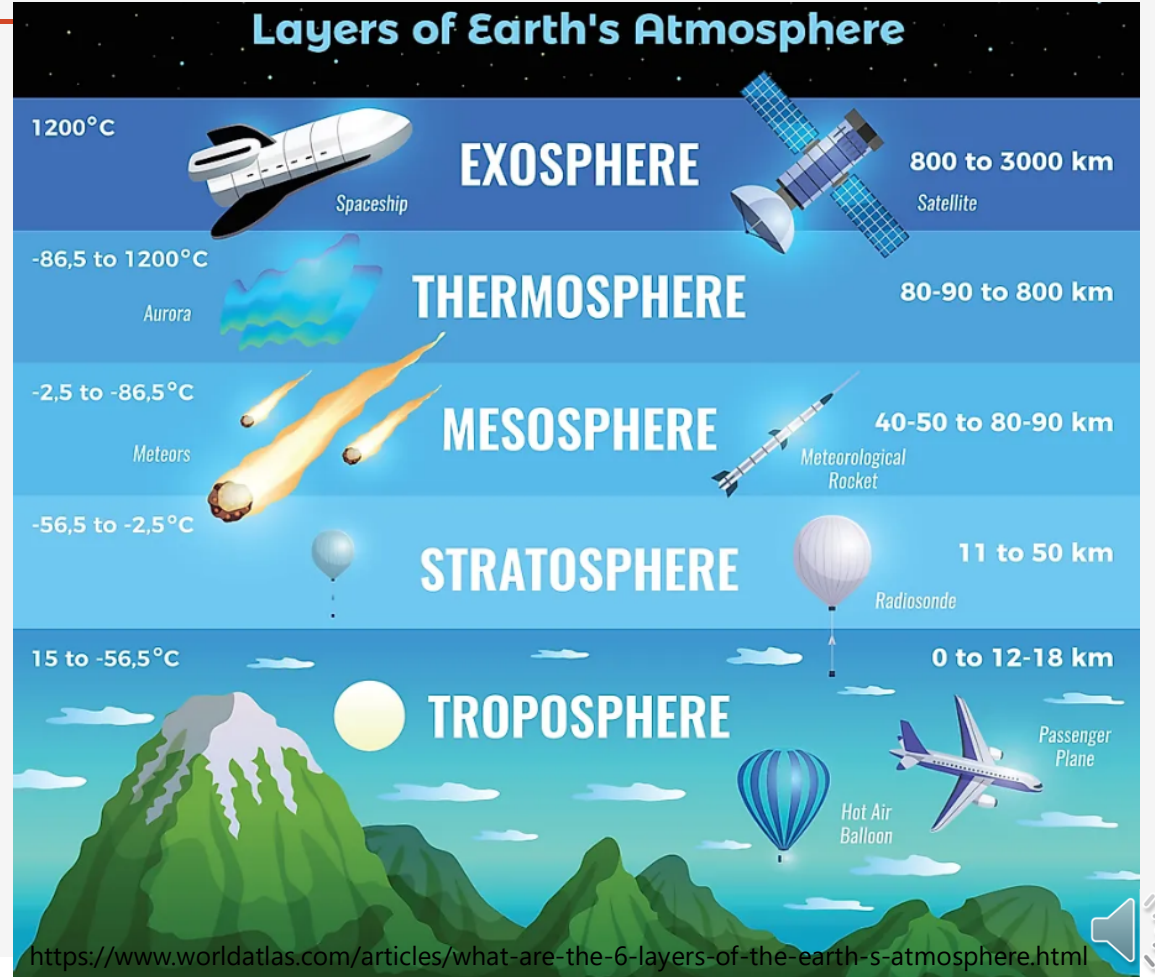
528 GW, 440 NPP, 1GWy^{-1}



Hidrojeolojik Süreçler ve Termodinamik İlkeleri

Atmosfer farklı bölümlerden oluşur.

- İklimi belirleyen meteorolojik süreçler yer yüzeyinden başlayan ~12-18 km kalınlığındaki troposfer tabakasında gerçekleşir.
- Bunun üzerinde ~50 km yüksekliğe uzanan stratosfer tabakası yer alır. Bu tabakanın tavanı meteoroloji balonlarının ulaşabileceği maksimum yükselti sınırıdır.
- Daha üstte ise Mezosfer (H ~80-90 km) ve Termosfer (H ~800 km) ile dış uzayın başladığı Egzosfer (H~3,000 km) tabakaları yer alır.
- Atmosferin troposfer dışındaki bölümünde gaz içeriği (basınç ~0 atm) dikkate alınmayacak kadar düşüktür.



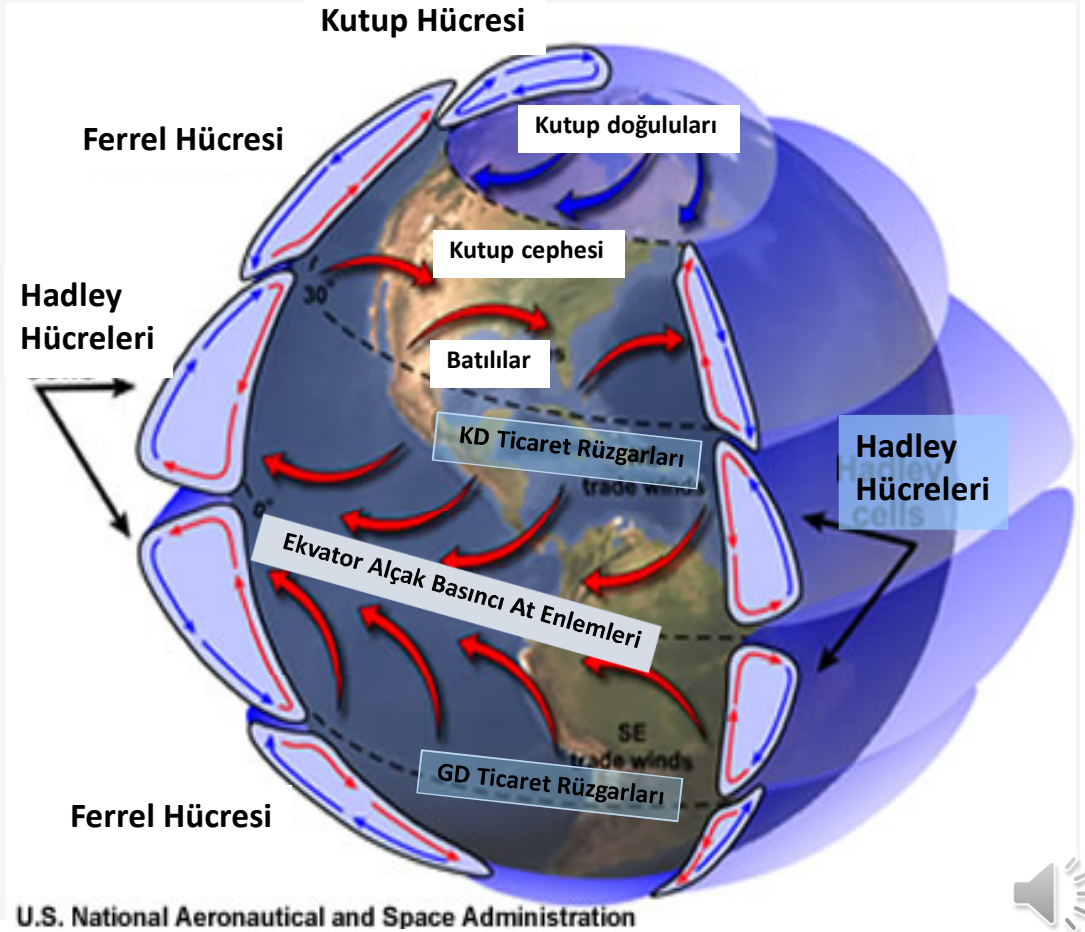
Hidrojeolojik Süreçler ve Termodinamik İlkeleri

Yerküre iklimi ve ısı enerjisi taşınımı

Güneşten gelen radyasyon enerjisinin yerküredeki taşınımı farklı coğrafi bölgelerdeki iklimi belirleyen temel etkidir. Ekvator kuşağı kabaca 30° kuzey/güney enlemleri arasında uzanır ve yerkürede birim alana en çok güneş radyasyonun ulaştığı bölgedir. Kabaca 30° ile 60° kuzey ve 30° ile 60° güney enlemleri arasındaki gölge ılıman kuşak, 60° ile 90° kuzey ve 60° ile 90° güney enlemleri arasında kalan bölgeler ise kutup kuşağı olarak adlandırılır.

Yerküreye ulaşan güneş ışınları ekvator bölgesinde daha dik olup, güneş ışınlarının yer yüzeyi ile arasındaki açı kutuplara doğru artar. Bu durum, ekvatordan kutuplara doğru birim yüzey alana daha az güneş ışını (radyasyonu) ulaşmasına neden olur. Radyasyon şeklinde birim alana ulaşan enerjinin ekvatorda daha fazla, kutuplarda daha az olması ekvator bölgesinin kutuplara göre daha çok ısınmasına neden olur.

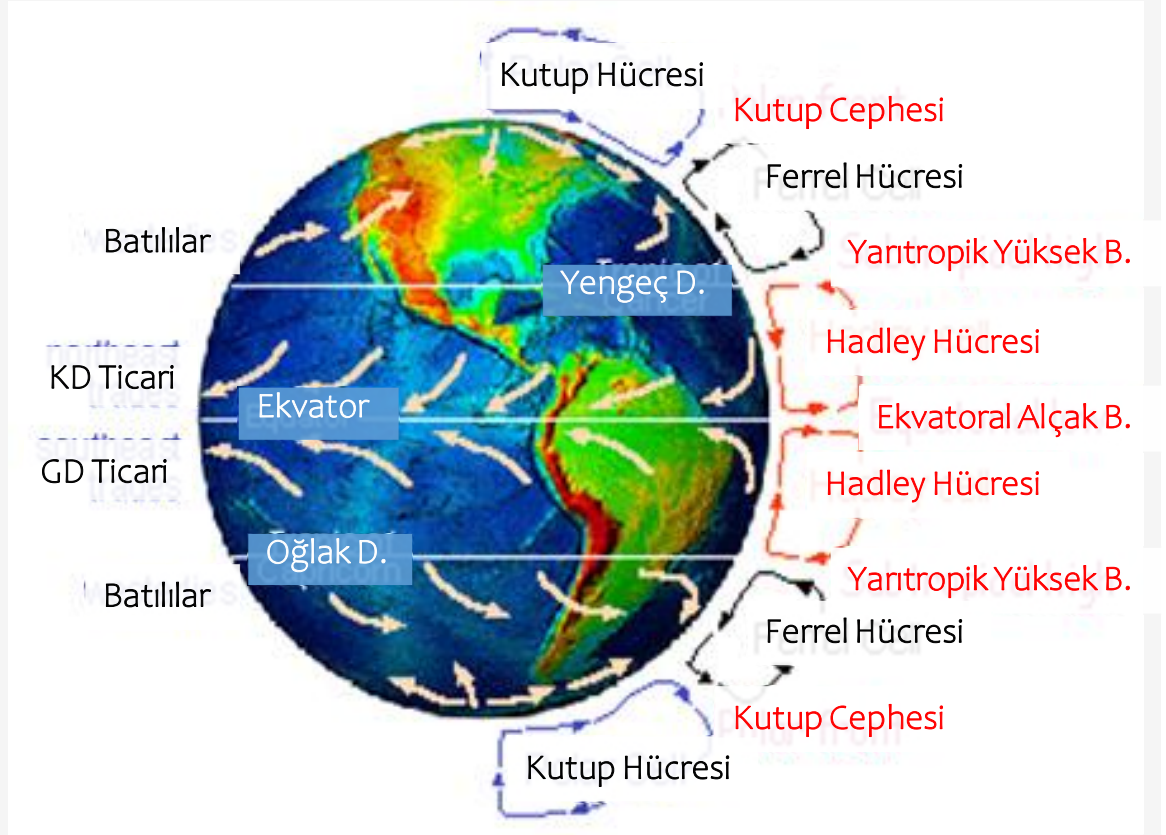
taşınan ener Bu durum, yer atmosferindeki hava dolaşımını, buna bağlı olarak da iklimi etkiler. Atmosferde başlıca üç adet hava akımı (dolaşımı) hücresi vardır: Hadley hücreleri, Ferrel hücreleri ve Kutup hücreleri. Bu hücrelerde hava akımları denizde başlayıp, denizde sonlandıklarından kapalı hücreler oluştururlar.



Hidrojeolojik Süreçler ve Termodinamik İlkeleri

Atmosferde başlıca üç adet hava akımı (dolaşımı) hücresi vardır: Hadley hücreleri, Ferrel hücreleri ve Kutup hücreleri. Bu hücrelerde hava akımları denizde başlayıp, denizde sonlandıklarından kapalı hücreler oluştururlar.

Dönence: Güneş ışınlarının yılda iki kez yeryuvarına dik açı ile geldiği, sıcak kuşağın kuzey ve güney sınırlarını oluşturan ve ekvatorun (eşleğin) 23 derece 27 dakika kuzey ve güneyinden geçen çemberlerin her biri.



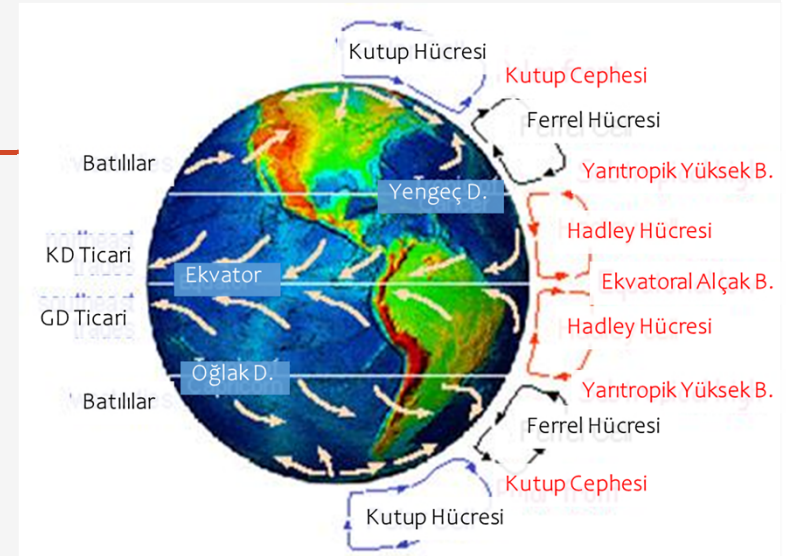
(<http://maps.unomaha.edu/Peterson/geog1000/Notes>)

Hidrojeolojik Süreçler ve Termodinamik İlkeleri

Hadley Hücreleri: Ekvator kuşağında güneş radyasyonu ile ısınan deniz suyu buharlaşarak yükselir ve atmosferin üst kotlarında soğuyarak kutuplara (kuzey yarıkürede kuzeye, güney yarıkürede güneye) doğru hareket ederler. Buharlaşma ısı ile atomik/moleküler vibrasyondaki artış moleküller arası uzaklığın artmasına, atmosfer yoğunluğunun azalmasına neden olur. Sonuç, ısınan havanın atmosferin üst kotlarına yükselmesidir. Isınma ekvator üzerinde en yüksek düzeyde olup azalan yoğunlukları nedeniyle yükselen hava kütleleri, kütlenin korunumunu sağlayacak biçimde troposfer-stratosfer ara yüzeyi boyunca kutuplara doğru hareket ederler. Bu süreçte, troposferden stratosfere doğru oluşan ısı kaybı hava kütlesinin soğumasına ve yoğunluğunun artmasına neden olur. Hava kütlesi artan yoğunluğu nedeniyle yer/deniz yüzeyine doğru alçalır ve yer/deniz yüzeyinden aldığı ısı ile kütle dengesini de sağlamak üzere ekvatora doğru hareket ederek döngüsünü tamamlar ve yeni döngüye başlar.

Ferrel Hücreleri: Hadley hücreleri ile kutup hücreleri arasında yer alan Ferrel hücrelerinden de benzer bir döngü gerçekleşir. Ferrel hücrelerindeki çevrim yer/okyanus yüzeyi boyunca ısınan hava kütlelerinin bu yüzey boyunca kutuplara doğru hareket etmesi ve 60° enlemi dolayında (ılıman kuşağın kutba yakın sınırı) yükselmesi ve stratosfere ısı kaybı nedeniyle soğuyup yoğunlaşarak tekrar ekvator yönüne hareket etmesi şeklinde gelişir. Yoğunluğu gittikçe artan Ferrel hücrendeki hava akımı kabaca 30° enlemi (ılıman kuşağın ekvatora yakın sınırı) dolayında yer/deniz seviyesine alçalarak döngüsünü tamamlar ve yeni döngüyü başlatır.

Her iki yarı kürede kabaca 30° enlemi dolayında Hadley ve Ferrel hücrelerindeki hava akımlarının birlikte alçalmaları kuzey ve güney yarı kürelerde sürekli esen "batılı" (westerlies) ve "ticaret" (trade) rüzgârlarının oluşmasını sağlar. Söz konusu rüzgârlarının sürekli aynı yönde esmeleri Amerika kıtasının keşfedilmesinde ve yelkenli teknelerin okyanuslardaki seyahatlerinde etkili olmuştur.



Kutup Hücreleri: Kutup hücreleri kabaca 60° enlemlerinden kutuplara doğru uzanan bölgede yer alır. Kutuplardaki aşırı soğuklardan dolayı atomik/moleküler vibrasyon oldukça düşük seviyede olup, moleküller birbirine bağlı daha yakın konumdadır. Bu nedenle, birim hacimde daha fazla molekül bulunur ve havanın yoğunluğu oldukça yüksektir. Kutuplardan yer/deniz yüzeyi boyunca düşük enlemlere doğru hareket eden hava kütleleri 60° enlemi dolayında yeterince ısı kazanır ve yükselir. Kütle dengesini korumak üzere kutuplara doğru hareket eden hava kütlesi stratosfere olan ısı kaybından dolayı soğur, yoğunlaşarak kutuplar üzerinde yer/deniz düzeyine alçalır.

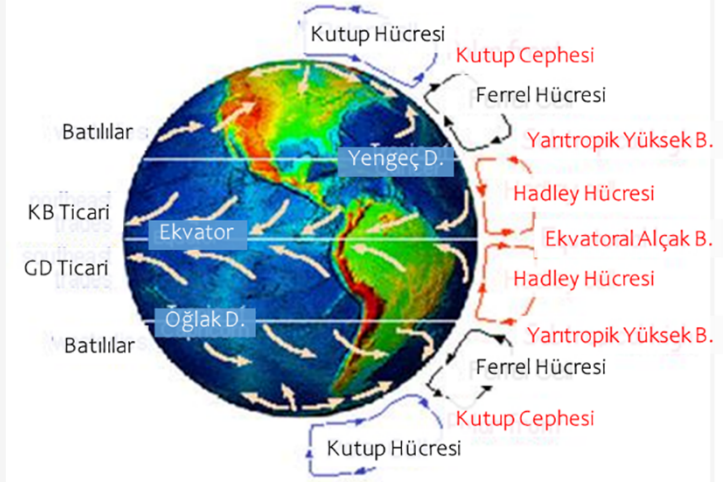


Hidrojeolojik Süreçler ve Termodinamik İlkeleri

Hadley, Ferrel ve Kutup hücrelerindeki döngü 3 ayrı dişlinin hareketine benzer. Hadley ve kutup hücrelerinde dönüş kutuplara doğru iken, bu iki dişli arasında yer alan Ferrel dişlisi düşük enlemlere doğru döner.

Jet Akımı (Jet Stream): Jet akımları troposfer ve stratosfer sınırı (tropopause) boyunca batıdan doğuya doğru dar ve menderesli kanallar içinde esen güçlü hava akımlarıdır. Kutupsal jet akımları 9-12 km yükseklikte, yarı-tropik jet akımları ise 10-16 km yükseklikte gerçekleşirler. Söz konusu farklı yükseklikler yer kürenin bir küre değil elipsoid olmasından ve Hadley, Ferrel ve Kutup hücrelerinin bu elipsoid üzerindeki değişen kalınlıklarından kaynaklanmaktadır. Meteorolojik olayların gerçekleştiği troposfer ekvatorunda en kalın, kutuplarda en incedir. Jet akımları çoğunlukla Kutup-Ferrel ve Hadley-Ferrel hücre sınırları boyunca gerçekleşirler.

Coriolis Kuvveti: Coriolis kuvveti hava kütlelerinin açısal hızları ile yer küre üzerindeki doğrusal hızları arasındaki farktan kaynaklanan bir eylemsizlik kuvvetidir (inertial force). Bu kuvvet ekvatorunda aynı boylam üzerinde bulunan hava kütlelerinin kutuplara doğru hareket ederken daha büyük boylamlara (sağa) doğru yönelmesine neden olur. Bu nedenle, belirli bir boylam derecesinden Hadley döngüsünde ekvatorunda (0° enlemi dolay) yükselen hava 30° enlemi dolayında daha büyük boylam derecesine sahip bir alanda yer/deniz yüzeyine iner. Bu nedenle, Oğlak (capricorn) ve Yengeç (cancer) dönenceleri (tropik) arasında, rüzgârlar her zaman kuzey yarı kürede kuzeydoğudan ekvatora doğru (kuzeydoğu ticaret rüzgârları), güney yarı kürede ise güneydoğudan ekvatora doğru (güneydoğu ticaret rüzgârları) eserler. Ferrel döngüsü içinde oluşan "batılı rüzgârlar" (westerlies) ise 30° enleminden (yüksek basınç alanı) 60° enlemine doğru kuzey yarı kürede kuzeydoğuya, güney yarı kürede ise güneydoğuya doğru (alçak basınç alanı) eserler.

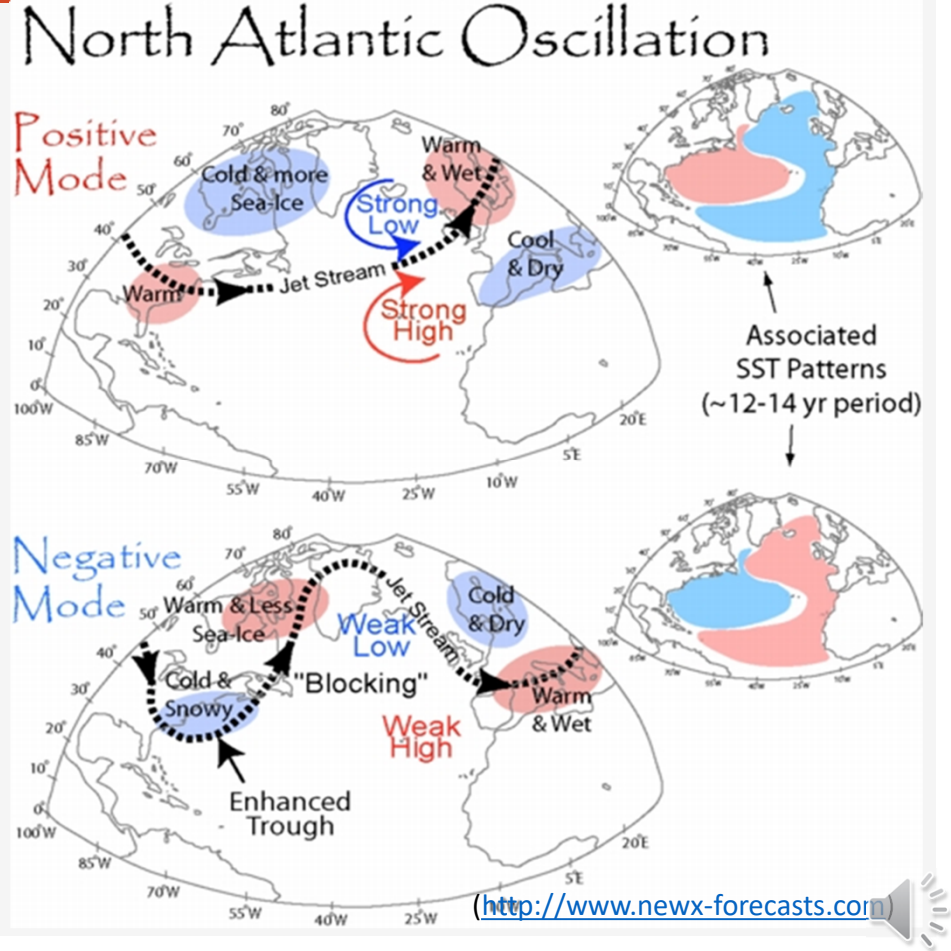


Basınç Merkezleri: Sıcaklık arttıkça havayı oluşturan gaz atomlarının/moleküllerinin vibrasyonları artmakta bu süreçte atom/moleküller arasındaki uzaklığı arttırarak birim hacim içindeki atom/molekül sayısını azaltmakta, böylece yoğunluğun azalmasına neden olmaktadır. Yoğunluğu azalan hava kendisine uygulanan yer çekim kuvvetinin azalmasından dolayı yükselmektedir. Sıcaklığın azalması bu sürecin tersten yaşanmasına neden olmaktadır.

Hidrojeolojik Süreçler ve Termodinamik İlkeleri

Basınç Merkezleri: Sıcaklık arttıkça havayı oluşturan gaz atomlarının/moleküllerinin vibrasyonları artmakta, bu süreç atom ve moleküller arasındaki uzaklığı arttırarak birim hacim içindeki atom/molekül sayısını azaltmakta, böylece yoğunluğun azalmasına neden olmaktadır. Yoğunluğu azalan hava kendisine uygulanan yer çekim kuvvetinin azalmasından dolayı yükselmektedir. Sıcaklığın azalması bu sürecin tersten yaşanmasına neden olmaktadır. Hava akımları her zaman yoğunluğun yüksek olduğu bölgeden düşük olduğu bölgeye doğrudur. Yoğunluk hava sıcaklığına hava sıcaklığı da (yerel etkenler dışında başlıca) –okyanus akıntılarına ve- güneşlenme şiddetine, güneşlenme şiddeti de enleme, mevsime ve gün içindeki zaman bağlı olduğundan sürekli olarak değişir. Bu durum iklim ve meteorolojik koşulların sürekli değişmesine neden olmaktadır. Yerkürenin kendi eksenini etrafındaki dönüşüne ilişkin Milankovitch çevrimleri olarak anılan ~41,000, ~100,000 ve ~413,000 yıllık periyodik değişimler uzun süreli iklim değişimlerine neden olurlar (örg. buzul çağları).

Hava yoğunluğunun (basıncının) belirli bölgelerdeki değişimi hava akımlarının yörüngesini ve ulaştıkları bölgelerdeki yıllık iklimi belirler. Türkiye iklimini üzerinde de etkili olan bu tür süreçlerden birisi de Kuzey Atlantik Salınımı'dır (İng. North Atlantic Oscillation, NOA). İzlanda ve Azor Adaları üzerindeki hava basınçlarının bağıl büyüklüklerine bağlı olarak Kuzey Amerika kıtası üzerinden gelen hava akımları kuzeye (NAO+) ya da güneye (NAO-) yönelirler. NAO- yıllarda Akdeniz Havzası ve Anadolu daha ılık ve yağışlı kış mevsimi geçirir. Süreç ~12-14 yıllık salınımına sahiptir.

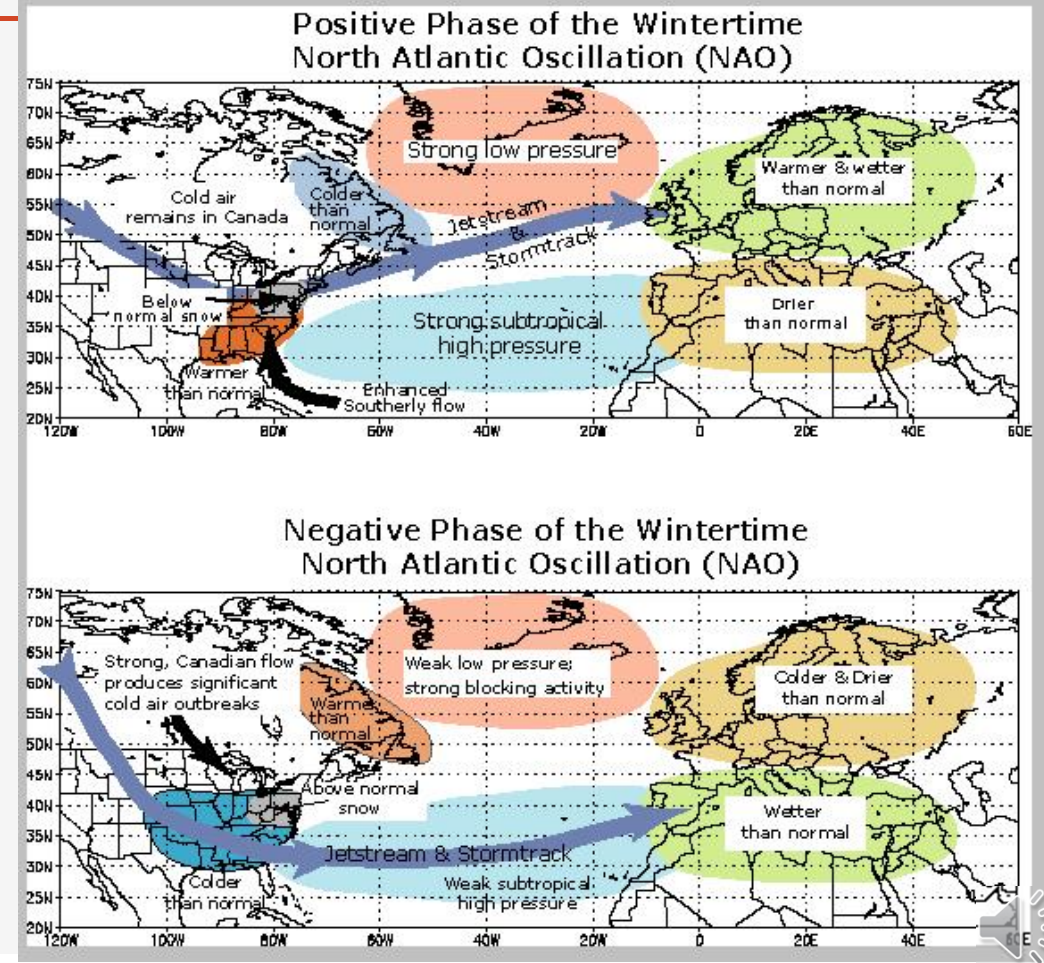


Hidrojeolojik Süreçler ve Termodinamik İlkeleri

Kuzey Atlantik Salınımı, NAO:

NAO+ yıllarda Avrupa kışları daha ılık ve yağışlı iken Akdeniz Havzası ve Anadolu normalden daha kuraktır. Bu durumun neden Grönland üzerindeki güçlü alçak basınç sisteminin Kuzey Amerika Kıtasından gelen hava akımını kendi üzerine çekmesidir. Bu dönemde ekvator kuzeyinde Atlantik Okyanusu üzerinde güçlü bir yarıtropik yüksek basınç sistemi yer alır.

NAO- yıllarda Grönland üzerindeki alçak basınç sistemi ile ekvator kuzeyinde Atlantik Okyanusu üzerindeki yarıtropik yüksek basınç sistemi daha zayıftır. Bu durum atmosferin üst tabaklarındaki hızlı rüzgarların (İng. jet stream) daha güneyden esmesine ve altlarındaki hava akımlarını etkilemesine neden olur. NAO- kışlarda Akdeniz Havzası normalden daha fazla yağış alır.



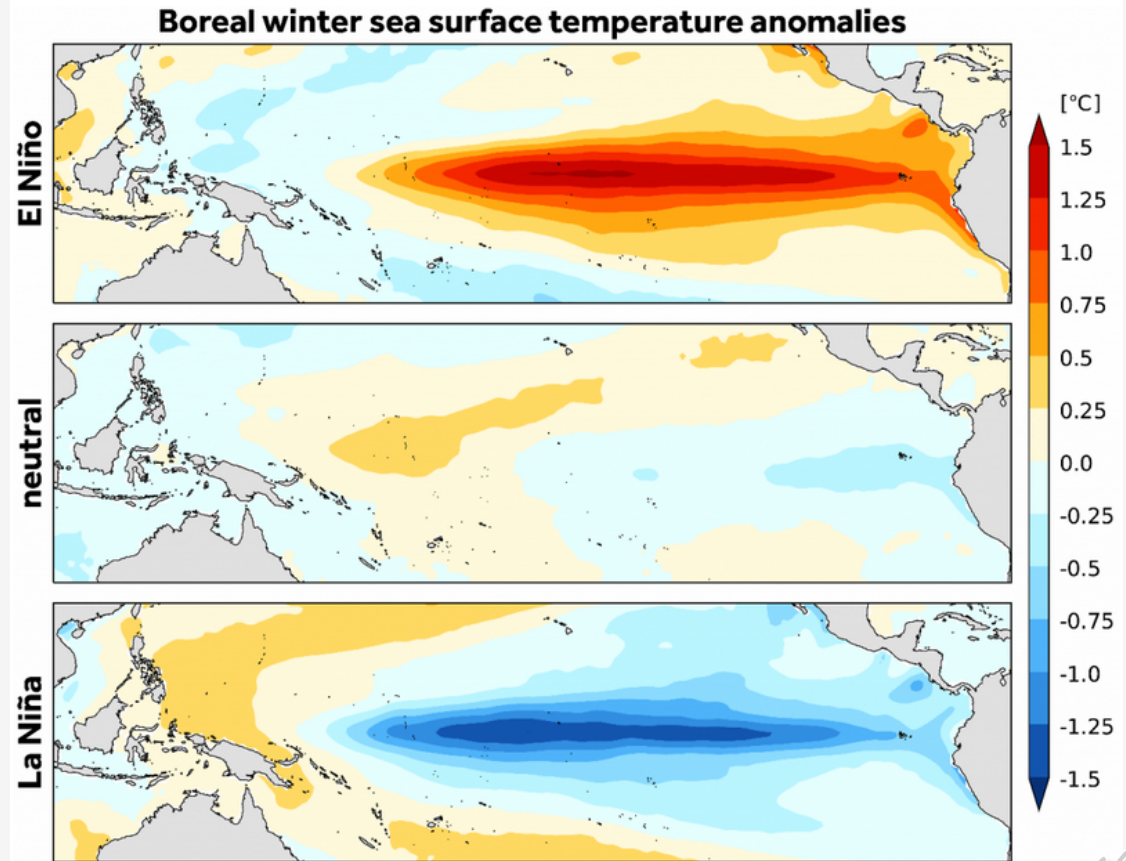
Hidrojeolojik Süreçler ve Termodinamik İlkeleri

Uzakbağlantılar (İng. Teleconnections):

Yerkürenin farklı yerlerindeki meteorolojik süreçler bir birlerini etkiler. Bu etkileşime uzakbağlantı denir. Bir yerdeki iklimin başka bir yerdeki iklim üzerindeki etkisi olarak tanımlanabilir.

Pasifik Okyanusu'ndaki su çevrimi ve diğer etkenler ekvatorial bölgedeki denizsuyunun normalden daha sıcak (El Nino, oğlan çocuğu) ya da daha soğuk (La Nina, kız çocuğu)olmasını sağlar. Bu durum periyodiktir ve El Nino Güney Salınımı (İng. El Nino Southern Oscillation, ENSO) olarak anılır. ENSO'nun El Nino fazında Bu sürecin bir sonucu olarak Güney Amerika Kıtasının Pasifik Kıyısı boyunca tarımsal kuraklık ve balık kıtlığı oluşur ve yerel ekonomide büyük zararlar oluşur.

ENSO sadece Pasifik Okyanusu bölgesini etkilemekle kalmaz, Uzakbağlantı yoluyla yerkürenin diğer kesimlerindeki iklim üzerinde de etkili olur. Örneğin Türkiye iklimi üzerinde....



Hidrojeolojik Süreçler ve Termodinamik İlkeleri

Uzakbağlantılar (İng. Teleconnections):

Sağ üstteki şekilde tipik bir ENSO sürecinin rotası üzerindeki iklim etkileri gösterilmektedir. ENSO dönemlerinde NAO+'tır.

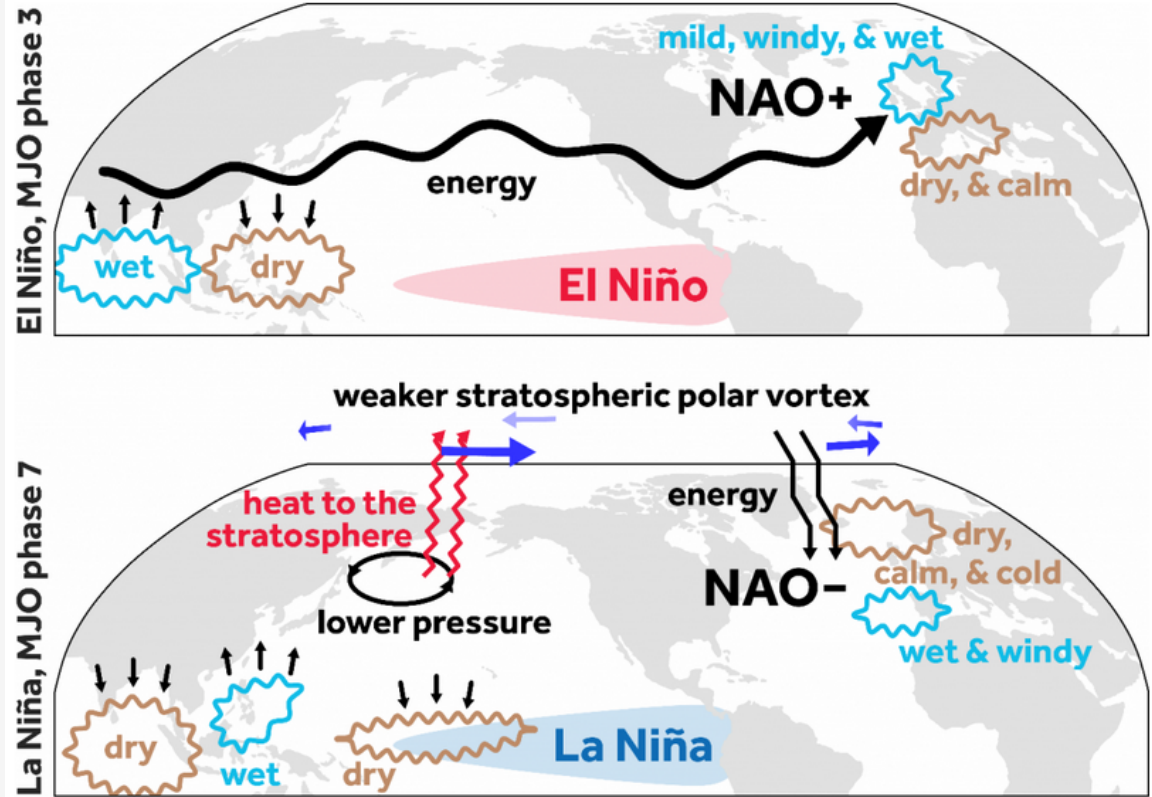
Diğer yandan ENSO'nun tersi süreçlerin etkili olduğu La Nina dönemlerinden NAO- iklim koşulları etkili olmaktadır.

NAO+ dönemlerde Kaliforniya yağışlı, Karayipler kurak iken, NAO- dönemlerde Kaliforniya kurak, Karayipler yağışlıdır.

Sonuç olarak;

"Yerküre bir termodinamik sistemler bütünüdür".

Meraklısına: Thermodynamic Foundations of the Earth System, Axel Kleidon



Hidrojeolojik Süreçler ve Termodinamik İlkeleri



Yerküre ikliminin kısa ve uzun dönemde nasıl değiştiğini Termodinamik İlkeleri çerçevesinde anlatınız.

