



# ÇEV903 KÜRESEL İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

Doç. Dr. Özgür ZEYDAN

<https://ozgurzeydan.com.tr/>

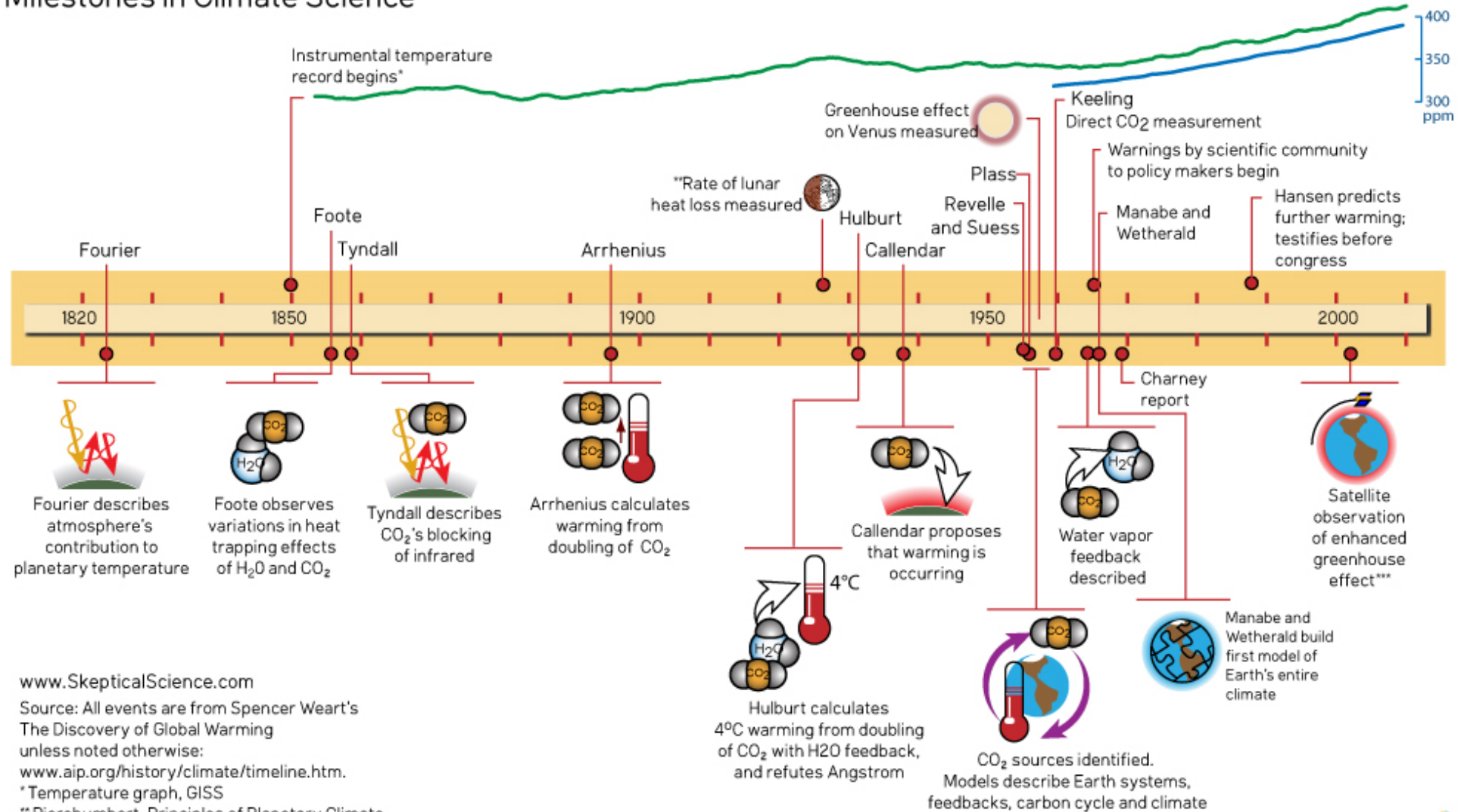


# İklim Değişikliğine Giriş

- İklim değişikliğinin tarihçesi
- Hava durumu ve iklim kavramları
- Doğal iklim değişikliği
- Milankovitch döngüleri
- Geçmiş zamanların iklimi

# İklim Değişikliğinin Tarihçesi

## Milestones in Climate Science



[www.SkepticalScience.com](http://www.SkepticalScience.com)

Source: All events are from Spencer Weart's  
The Discovery of Global Warming  
unless noted otherwise:  
[www.aip.org/history/climate/timeline.htm](http://www.aip.org/history/climate/timeline.htm).

\* Temperature graph, GISS

\*\* Pierrehumbert, Principles of Planetary Climate

\*\*\* Nature, 15 March 2001

# Jean Fourier

- 1820'lerde Fransa'da Jean Fourier ısıнын davranışını araştırırken yaptığı hesaplamalar dünyanın bu kadar sıcak olmaması gerektiğini ortaya çıkardı.
- Peki dünyayı ısıtan neydi? Bu soruyu düşünürken bazı önerilerde bulundu.
- Bunların arasında güneşten gelen ısı enerjisinin dünya atmosferine nüfuz ettiği ve bir kısmının uzaya geri kaçmadığı düşüncesi de yer alıyor.
- Isınan havanın bir çeşit yalıtkan battaniye gibi davrandığından şüpheleniyordu.

# John Tyndall

- Doğa tarihçisi John Tyndall, Fourier'in sorusuna ve önerisine yeni bir bakış açısı getirdi.
- Bir dağcı olan Tyndall, buzullarda iklim kaynaklı değişikliklere dair kanıtlar gözlemledi ve ısıyı hapsetme özelliklerini ölçmek için deneyler yaptı.
- Bu, su buharının ( $H_2O$ ) ve karbondioksitin ( $CO_2$ ) ısıyı hapsetmede iyi olduğunu keşfetmesine yol açtı.

# Svante Arrhenius

- Tyndall'ın içgöröleri İsveçli bir bilim insanının ilgisini çekti.
- Svante Arrhenius, dünya sıcaklığının su buharı tarafından düzenlenmediğini, çünkü suyun atmosfere girip çıkmasıyla hızla geri dönüşüm yaptığını keşfetti.
- Bunun yerine, karbondioksitin atmosferin uzun ömürlü bir sakini olması ve zamanla nispeten yavaş değişmesi nedeniyle sıcaklığı doğrudan düzenlediğini gördü.

# Arvid Hogbom

- Arrhenius bu konuları araştırırken, doğal karbondioksit döngüleri üzerinde çalışan İsveçli jeolog Arvid Hogbom ile birlikte çalıştı.
- Hogbom, kömür yakan fabrikalardan kaynaklanan CO<sub>2</sub> emisyonlarının bazı doğal kaynaklardan kaynaklanan emisyonlara benzer olduğunu keşfetmişti.
- İki araştırmacı, insan kaynaklarından kaynaklanan emisyonların yüzyıllar boyunca artması ve birikmesi durumunda ne olacağını sordu.
- Arrhenius, atmosferdeki CO<sub>2</sub> konsantrasyonunun iki katına çıkarılmasının küresel ortalama sıcaklığı 5 ila 6°C artıracığını hesapladı.

# Charles David Keeling

- Amerikalı bilim adamı Charles David Keeling (1928-2005), arabalardan ve fabrikalardan çıkan karbondioksitin Dünya iklimini olumsuz etkilediğine dair ilk kanıtı sundu
- Hawaii'deki sönmüş bir yanardağ olan Mauna Loa'daki bir meteoroloji istasyonuna yerleştirdiği aletlerle atmosferdeki karbondioksiti 47 yıl boyunca ölçtü.
- Charles David Keeling, atmosferdeki karbondioksit seviyesinin arttığını gösterdi.
- Bugüne kadar Keeling Eğrisi, atmosferik karbondioksitin devam eden yükselişinin grafiğini çizmek için aynı amaçla kullanılıyor.



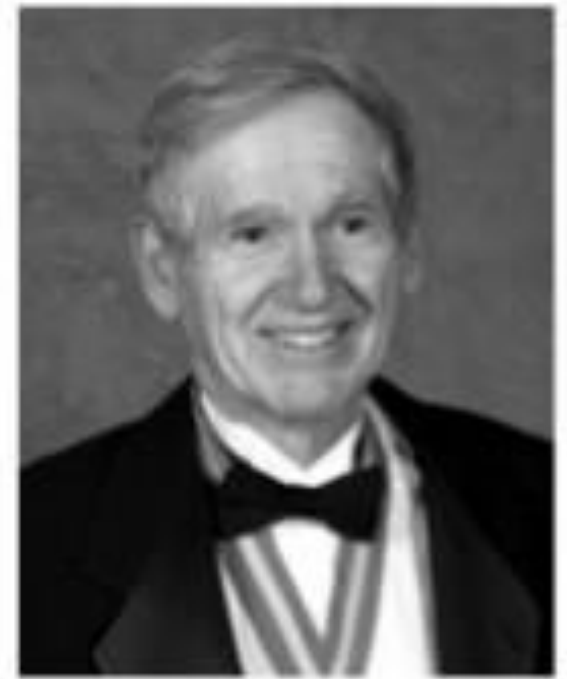
**Joseph Fourier**



**John Tyndall**



**Svante Arrhenius**



**Charles David Keeling**

<https://www.weathergamut.com/2017/07/05/a-brief-history-of-how-we-know-co2-drives-climate-change/>

# Villach Konferansı

- Ekim 1985'te Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP), Dünya Meteoroloji Örgütü (WMO) ve Uluslararası Bilim Konseyi (ICSU), karbondioksit ve diğer sera gazlarının iklim değişiklikleri ve ilgili etkilerdeki rolüne ilişkin uluslararası bir değerlendirme bulundu.
- Villach Konferansı olarak anılan etkinlikte, 29 ülkeden bilim insanları bir araya gelerek 21. yüzyılın ilk yarısında sıcaklık artışlarının insanlık tarihinde görülenden daha fazla olacağına dair önemli bir açıklama yaptı.

# İklim Değişikliği Tarihçesi

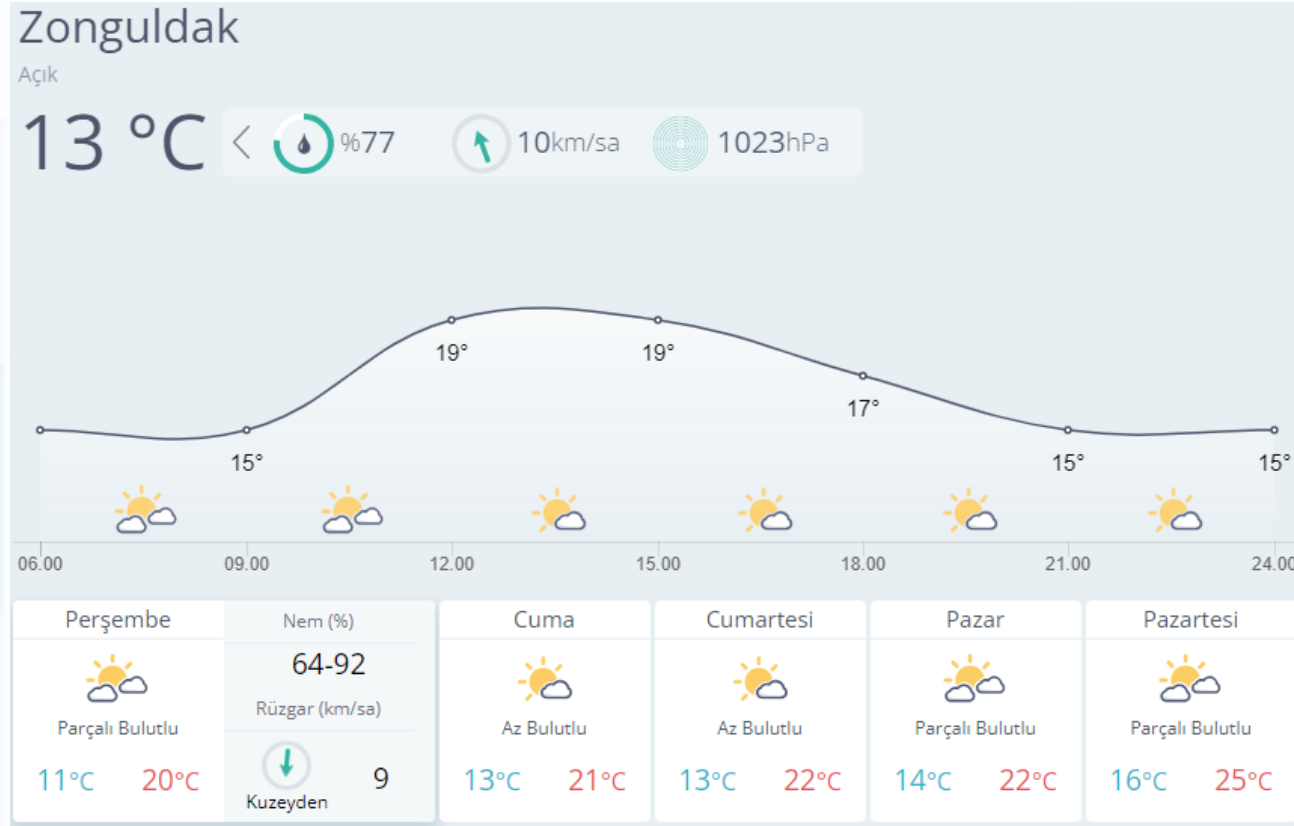
- 1991: İlk IPCC raporu yayımlandı.
- 1992: Birleşmiş Milletler İklim Değişikliği Çerçeve Sözleşmesi
- 1995: 1. Taraflar Konferansı Toplantısı
- 1997: Kyoto Protokolü
- 2007: IPCC, iklim ile ilgili yapmış olduğu çalışmalar sebebiyle Nobel Barış ödülü aldı.
- 2015: Paris İklim Anlaşması

# İklim Değişikliği Tarihçesi – Yakın Dönem

- 2023: BM Genel Sekreteri António Guterres, küresel ısınma döneminin sona erdiğini ve "küresel kaynama çağının geldiğini" söyledi.  
(<https://www.theguardian.com/science/2023/jul/27/scientists-july-world-hottest-month-record-climate-temperatures>)
- 2025: T.C. İklim Kanunu ([RG: 09.07.2025 - 32951](#))
- 2025: İklim değişikliğini önemsiz gösterme çabaları:  
"A Critical Review of Impacts of Greenhouse Gas Emissions on the U.S. Climate" ABD Enerji Bakanlığı

# Hava Durumu

- Hava Durumu, belirli bir yerdeki günlük şartları tanımlar, örneğin, bir gün bulutlu ve nemli iken ertesi gün güneşli olabilir.



# İklim

- İklim, yeryüzünün herhangi bir yerinde uzun yıllar boyunca yaşanan ya da gözlenen tüm hava koşullarının ortalama durumu, ya da daha sistematik bir yaklaşımla, belirli bir alandaki hava koşullarının, atmosfer elemanlarının değişkenlikleri ve ortalama değerleri gibi uzun süreli istatistikleri ile tanımlanan sentezi olarak tarif edilir.
- İklim sistemi, atmosfer, kara yüzeyleri, kar ve buz, okyanuslar ve diğer su kütleleri ile canlıları kapsayan karmaşık ve etkileşimli bir sistemdir.
- Güneş radyasyonu, iklim sisteminin güç kaynağıdır.

# Hava Durumu ve İklim Farklı Mıdır?

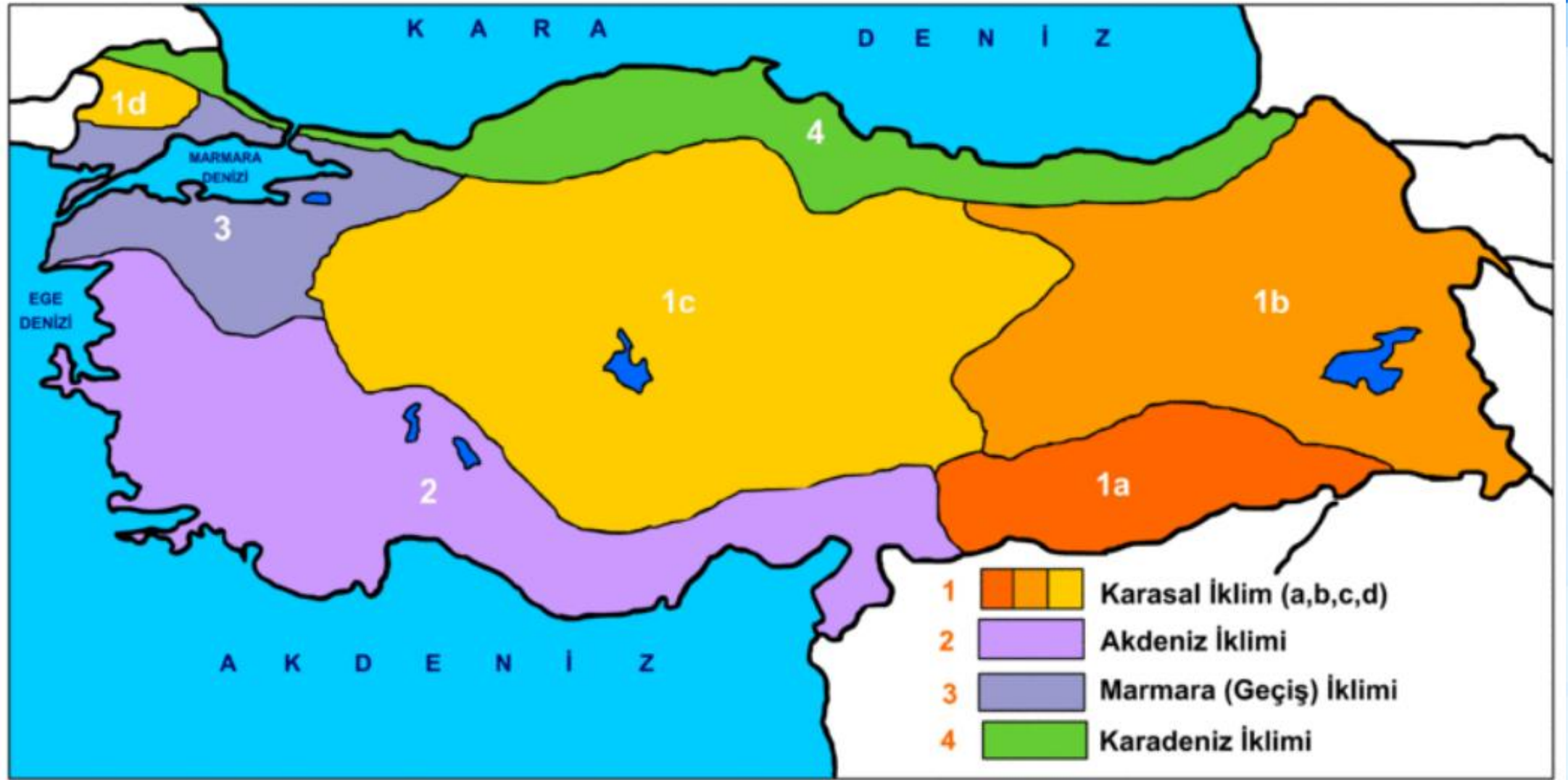
- Hava durumu ve iklim farklı fakat ilişkili olgulardır.
- Hava durumu, bir yerdeki günlük şartları tanımlar.
- İklim, bir yerdeki görece daha uzun zaman dilimlerinde (örneğin 30 yıl) ortalama hava koşullarını tanımlar.
- Hava durumu bir günden ertesi güne değişebilir, ancak iklimin değişmez olduğunu kabul ederiz.

# Ortalama Hava Koşulları

ZONGULDAK	Ocak	Şubat	Mart	Nisan	Mayıs	Haziran	Temmuz	Ağustos	Eylül	Ekim	Kasım	Aralık	Yıllık
Ortalama Sıcaklık (°C)	6.3	6.4	8.1	11.5	15.7	19.9	22.4	22.7	19.5	15.7	11.7	8.3	14.0
Ortalama En Yüksek Sıcaklık (°C)	9.2	9.6	11.7	15.2	19.3	23.6	25.8	26.2	23.2	19.2	15.2	11.5	17.5
Ortalama En Düşük Sıcaklık (°C)	3.8	3.6	5.2	8.3	12.6	16.5	18.8	19.2	16.1	12.8	8.9	5.7	11.0
Ortalama Güneşlenme Süresi (saat)	2.0	2.6	3.5	5.1	6.2	8.1	8.9	8.3	6.3	4.2	3.0	2.1	5.0
Ortalama Yağışlı Gün Sayısı	17.63	15.50	15.03	12.10	10.63	9.37	6.70	6.23	9.40	12.67	12.77	17.93	146.0
Aylık Toplam Yağış Miktarı Ortalaması (mm)	127.7	93.9	96.4	57.1	59.5	83.0	69.7	81.6	125.9	147.5	134.5	161.8	1238.6

Ölçüm Periyodu ( 1991 - 2020)

# Türkiye İklim Bölgeleri



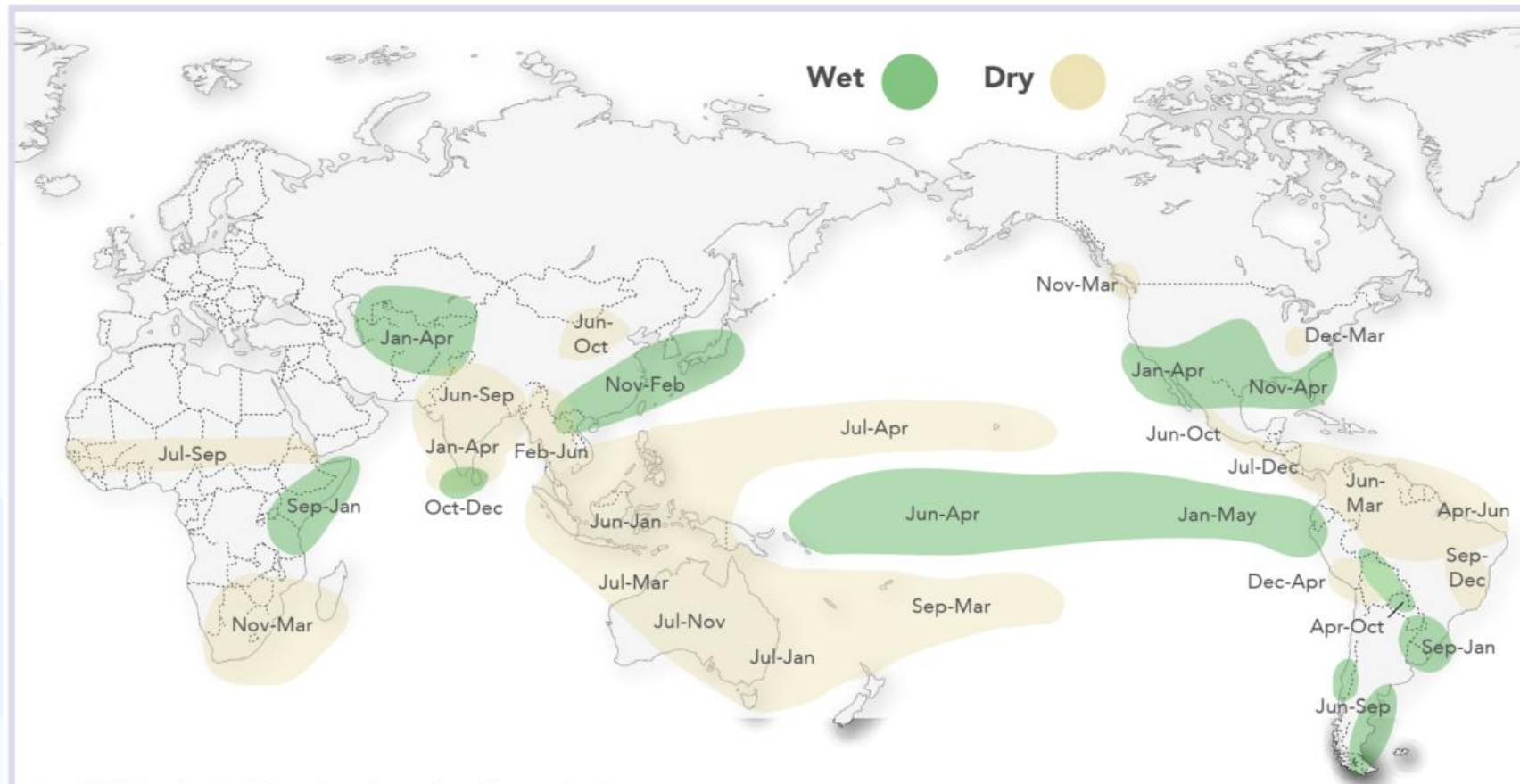
# Önemli Hava Olayları

- **El Nino ve La Nina:** Pasifik okyanusunda deniz suyu sıcaklığının artması veya azalması sonucu meydana gelen hava olaylarıdır.
- **Kuzey Atlantik Salınımı:** Atlas Okyanusunun kuzeyinde Azur yüksek basıncı ile İzlanda alçak basıncı arasındaki basınç farkı sebebi ile oluşan, Avrupa ve Türkiye'yi etkileyen hava olayıdır.

# El Niño

## El Niño and Rainfall

El Niño conditions in the tropical Pacific are known to shift rainfall patterns in many different parts of the world. The regions and seasons shown on the map below indicate typical but not guaranteed impacts of La Niña. For further information, consult the probabilistic information\* that the map is based on.



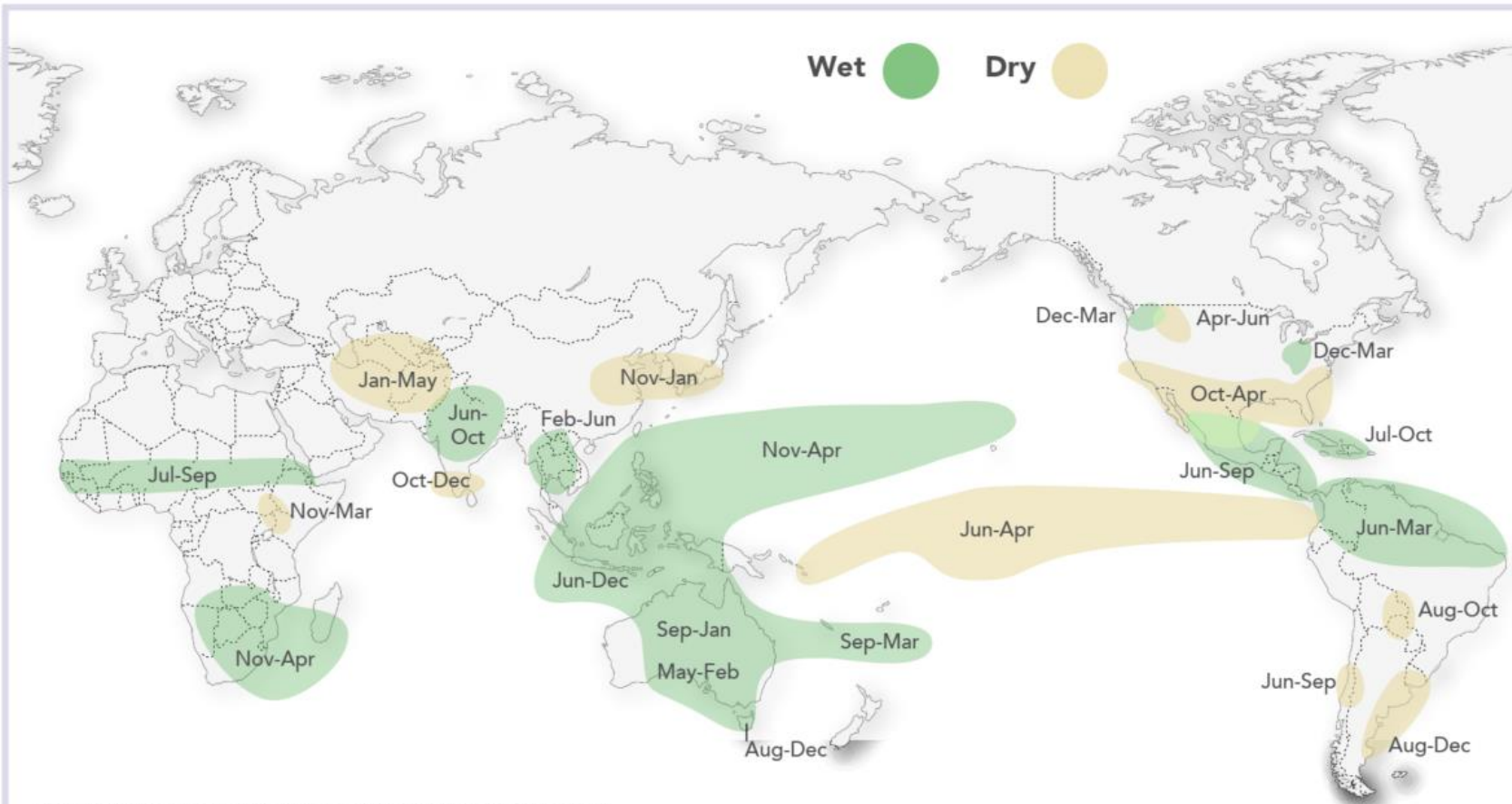
\*<http://iridl.ldeo.columbia.edu/expert/home/lenssen/ensoTeleconnections/>  
For more information on El Niño and La Niña: <http://iri.columbia.edu/enso>

Sources:  
1. Lenssen, Goddard and Mason, 2020. Seasonal Forecast Skill of ENSO Teleconnection Maps. Weather Forecasting, 2387–2406  
2. Mason and Goddard, 2001. Probabilistic precipitation anomalies associated with ENSO. Bull. Am. Meteorol. Soc. 82, 619–638

# La Nina

## La Niña and Rainfall

The La Niña conditions in the tropical Pacific are known to shift rainfall patterns in many different parts of the world. The regions and seasons shown on the map below indicate typical but not guaranteed impacts of La Niña. For further information, consult the probabilistic information\* that the map is based on.



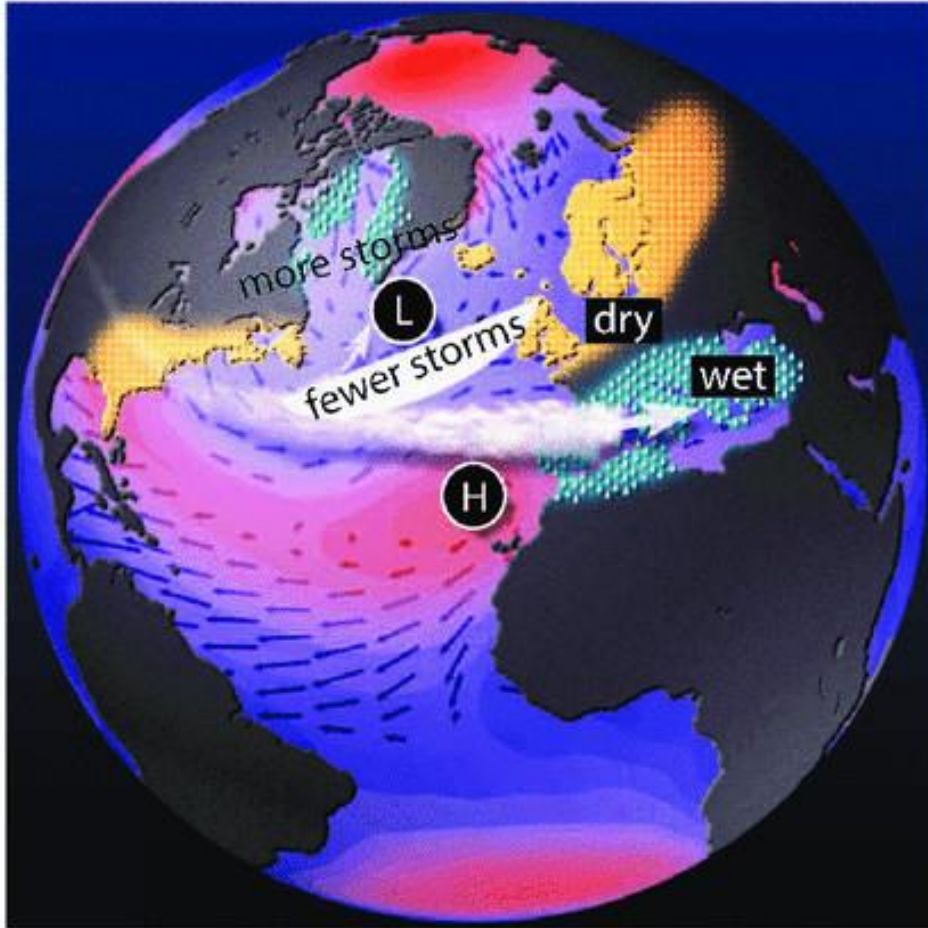
\*<http://iridl.ldeo.columbia.edu/expert/home/.lenssen/ensoTeleconnections/>  
For more information on El Niño and La Niña: <http://iri.columbia.edu/enso>

Sources:

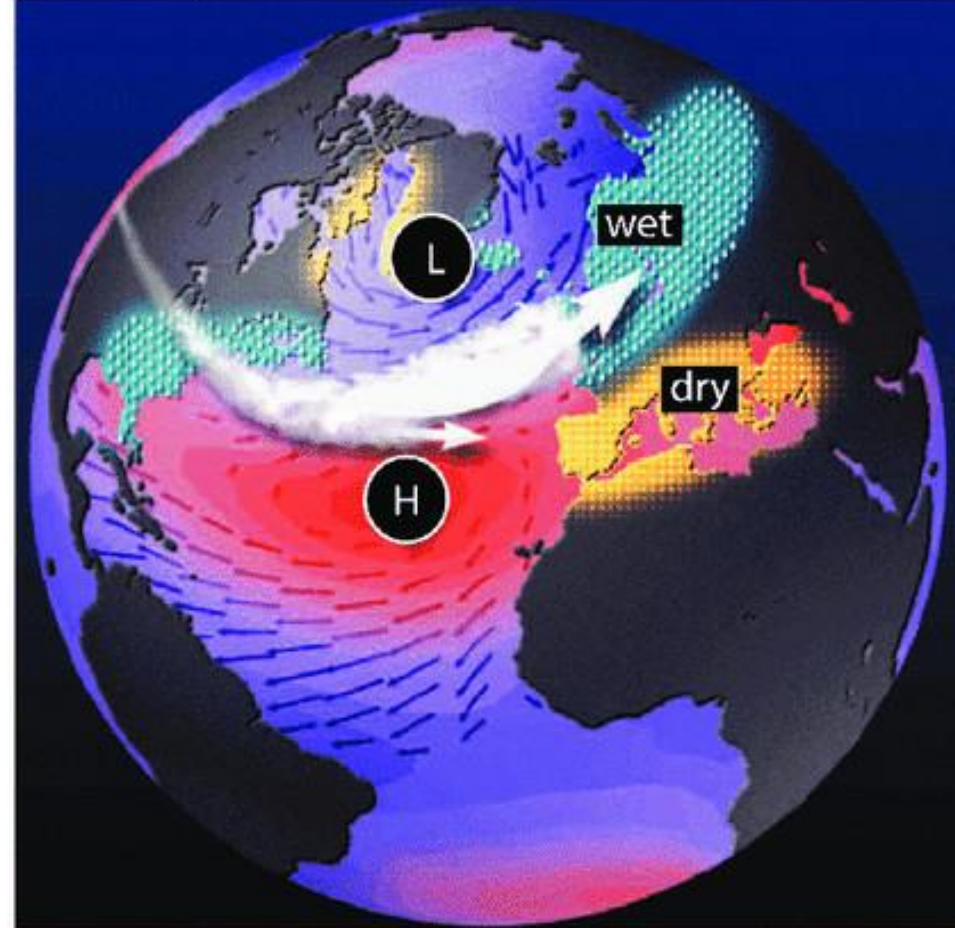
1. Lensen, Goddard and Mason, 2020. Seasonal Forecast Skill of ENSO Teleconnection Maps. *Weather Forecasting*, 2387–2406
2. Mason and Goddard, 2001. Probabilistic precipitation anomalies associated with ENSO. *Bull. Am. Meteorol. Soc.* 82, 619–638

# Kuzey Atlantik Salınımı

a) NAO negative-mode



b) NAO positive-mode

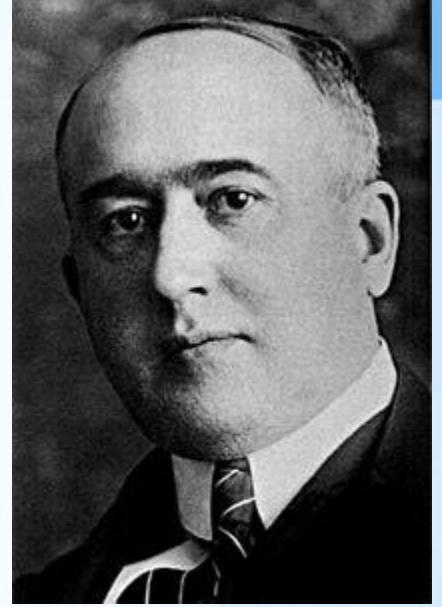


# Doğal İklim Değişikliği

- Doğal iklim değişiklikleri çok uzun zaman dilimlerinde (26.000 – 100.000 yıl) gerçekleşmekte.
- Milankovitch döngüleri bu değişiklikleri açıklamaktadır.
- Ayrıca iklimi etkileyen diğer doğal etmenler şunlardır:
  - Güneş değişkenliği
  - Volkanik patlamalar
  - Okyanus akıntıları

# Milankovitch Döngüleri

- Milankovitch döngüleri, Dünya'nın hareketlerindeki değişikliklerin binlerce yıl boyunca iklimi üzerindeki kolektif etkilerini anlatır.
- Sırp matematikçi, jeofizikçi ve gökbilimci Milutin Milanković' tarafından geliştirilmiştir.



# Milankovitch Döngüleri

## Milankovitch Cycles

Global Impact

Precession



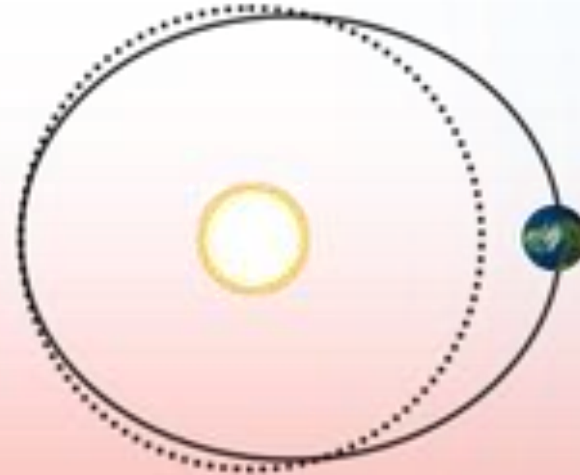
26,000

Obliquity



41,000

Eccentricity



100,000

0

50,000

100,000

150,000

200,000

Time (years)

<https://theory.labster.com/astronomical-factors-climate/>

# Milankovitch Döngüleri

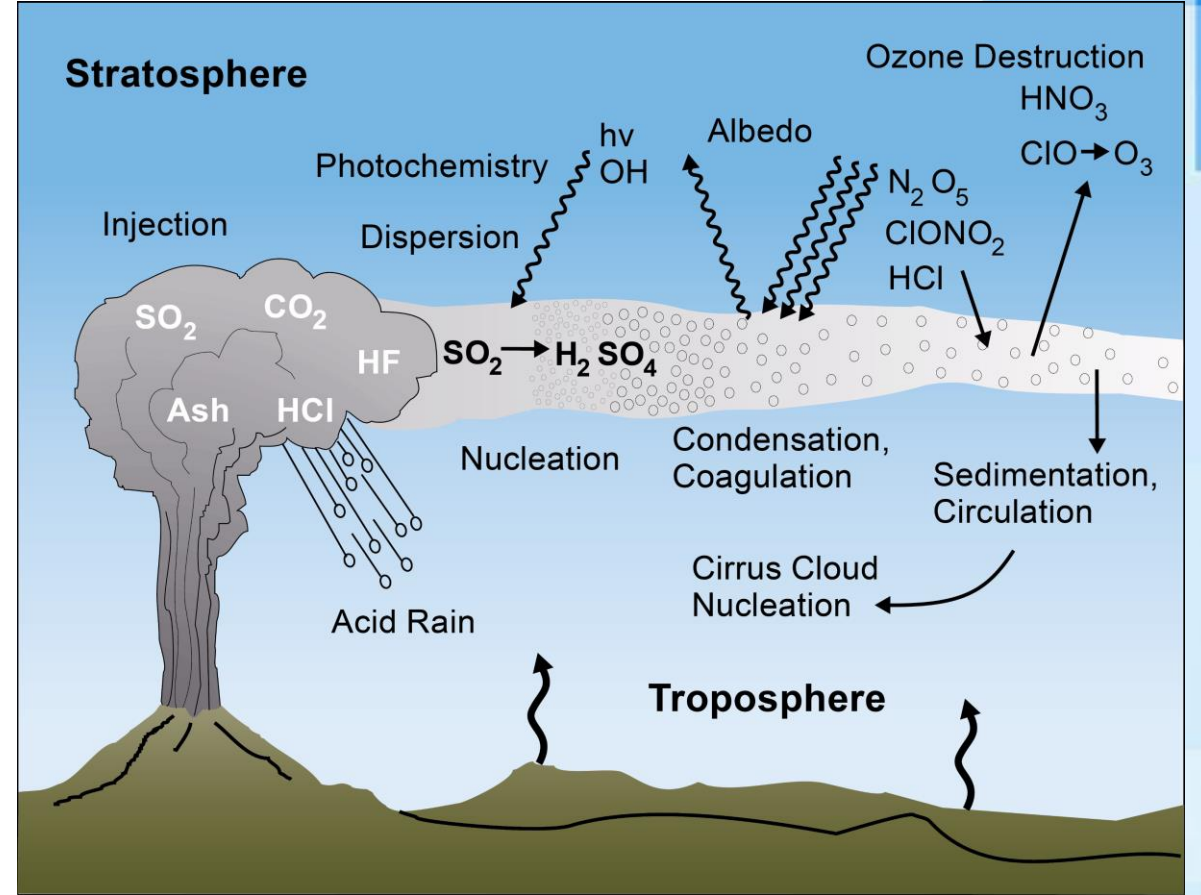
- Eksen eğiminin değişmesi
  - Süre: 41000 yıl
- Dünyanın ekseninin yalpalanması
  - Süre: 26000 yıl
- Yörünge şeklinin değişmesi
  - Süre: 100000 yıl

# Güneş Değişkenliği

- Gökbilimci Heinrich Schwabe 17 yıl süren güneş gözlemlerinde Güneş lekelerini araştırmıştır.
- Güneş lekelerinin sayısı ve boyutundaki değişikliklerin 11 yıllık döngüsel varyasyonla değiştiği bulunmuştur.
- Genellikle sadece yavaş varyasyonların iklimi etkileyebileceğine inanılmaktadır.

# Volkanik Patlamalar

- Volkanlar patlamalar sırasında stratosfere çok miktarda gaz, aerosol ve kül enjekte edilir.
- Kükürt dioksit gibi volkanik gazlar küresel soğumaya neden olabilirken, bir sera gazı olan karbondioksit küresel ısınmayı artırır.



# Pinatubo Yanardağı Patlaması (1991)

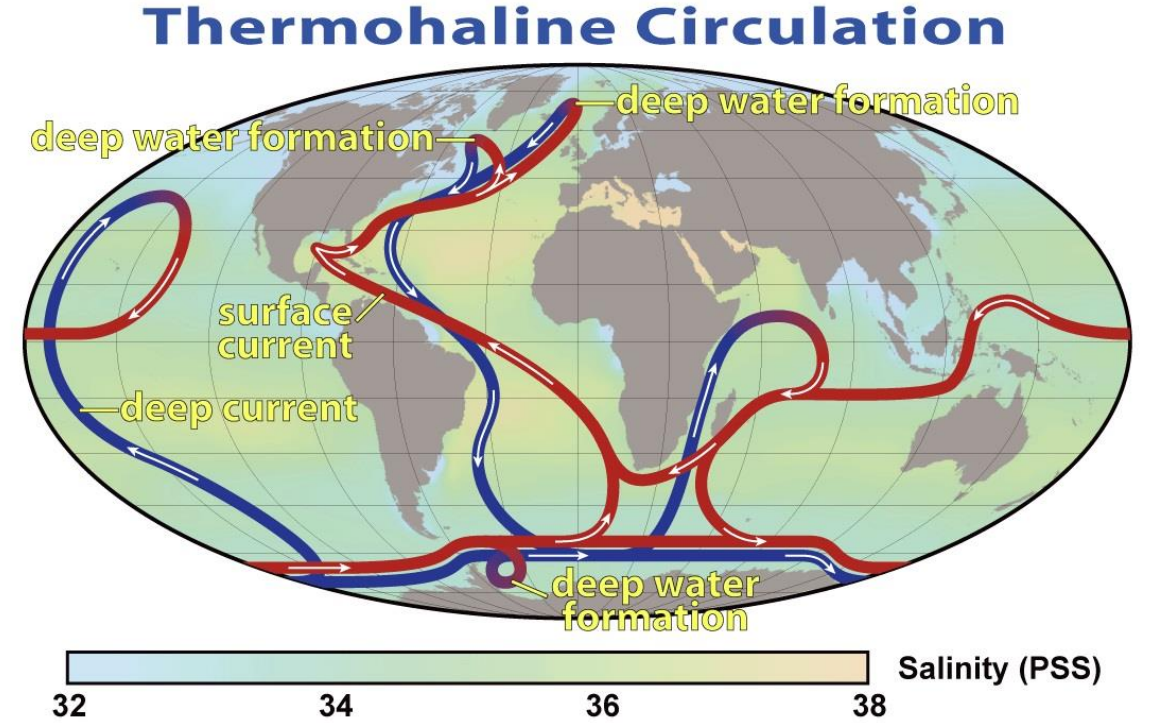
- Pinatubo, önemli miktarda güneş radyasyonunun Dünya'nın yüzeyine ulaşmasını engelledi, bu da stratosferin 3,5 °C ısınmasına ve kuzey yarımkürenin troposferinin 0,2 ila 0,7 °C arasında soğumasına neden oldu.



<https://www.aeronomie.be/en/news/2021/30-years-after-mt-pinatubo-eruption-illustration-relationship-between-volcanoes-and>

# Okyanus Akıntıları

- Okyanus akıntıları küresel iklimi düzenler ve güneş radyasyonunun Dünya yüzeyine ulaşan düzensiz dağılımına karşı koymaya yardımcı olur.
- Okyanustaki akımlar olmasaydı, bölgesel sıcaklıklar daha aşırı olurdu - ekvatorda süper sıcak ve kutuplara doğru soğuk - ve Dünya'nın topraklarının çok daha azı yaşanabilir olurdu.



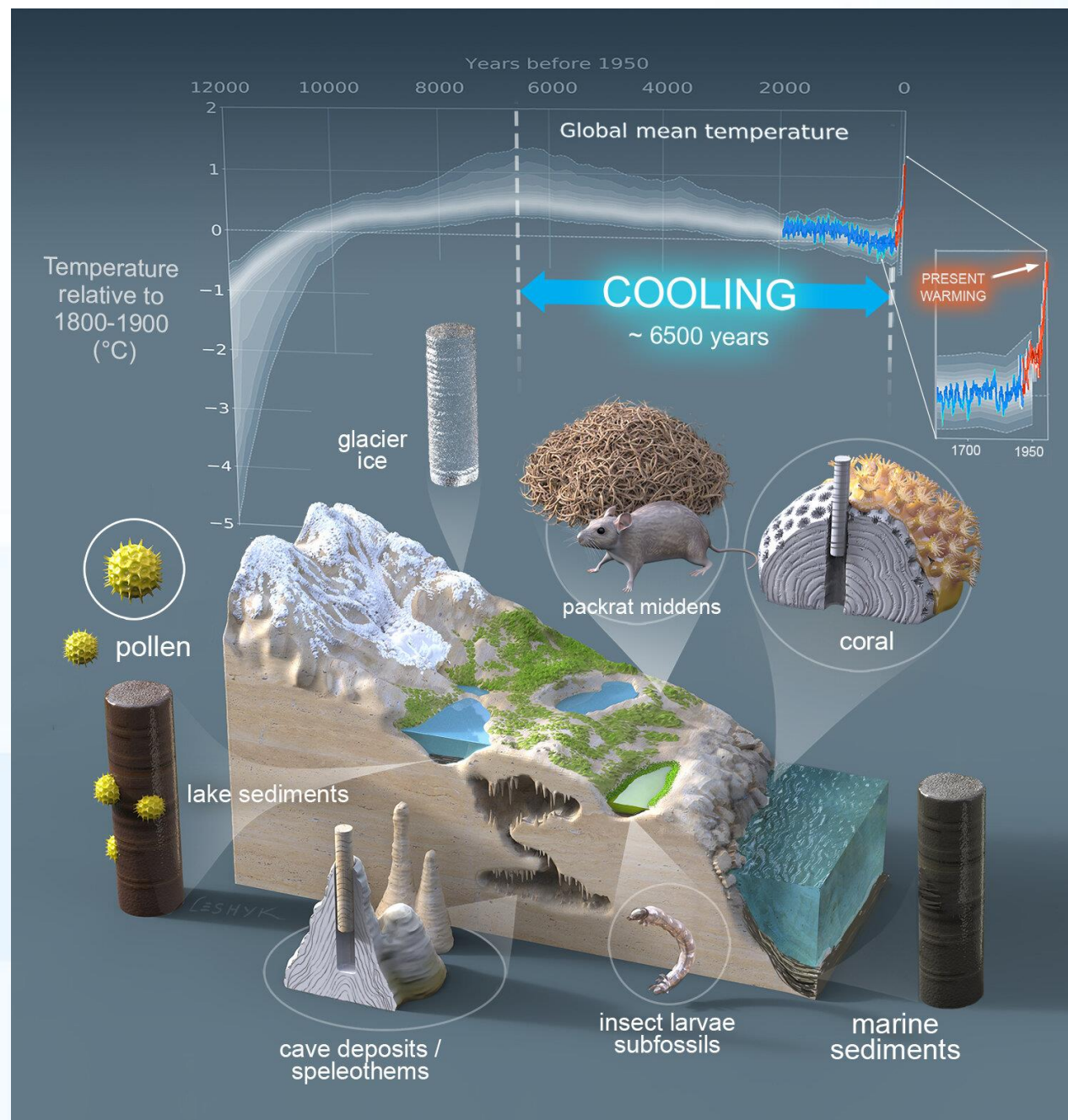
# Doğal ve İnsan Kaynaklı (Antropojenik) İklim Değişiklikleri

Son yıllarda yaşadığımız ısınma ancak insan kaynaklı iklim değişikliği ile açıklanabilir.

İnsan etkisi: Fosil yakıtların tüketilmesi sonucunda artan sera gazı emisyonları ve sera etkisinin kuvvetlenmesi.

# Geçmişteki İklimi Nasıl Biliyoruz?

- Paleoklimatoloji: ölçüm yapılmamış dönemlerin iklimini inceleyen bilim dalıdır.
- Paleoklimatoloji, kayalar, tortular, sondaj delikleri, buz tabakaları, ağaç halkaları, içinde korunmuş verileri kullanarak geçmiş zamanların iklimi hakkında bilgiler verir.



<https://phys.org/news/2020-06-major-paleoclimatology-global-upended-years.html>

# A 150,000-year climatic record from Antarctic ice

C. Lorius\*, J. Jouzel†, C. Ritz\*, L. Merlivat†, N. I. Barkov‡,  
Y. S. Korotkevich† & V. M. Kotlyakov§

<http://www.claude-lorius.com/files/publications/publication-dans-le-magazine-nature-1985-8.pdf>



Claude Lorius

Antarktika'da 1965 yılında buz örnekleri toplayıp içki kadehine bırakarak bir keşif yaptı.

Yarım asır sonra o günü şöyle anlattı:

"Bir akşam buzulda derin sondaj çalışması yaptıktan sonra karavanımıza döndük ve içtiğimiz viskiye derinlerden getirdiğimiz geçmiş dönemlerde oluşmuş buz küplerini koyduk.

"Bardaklarımızdaki hava kabarcıklarını görünce, bunların buzda hapsolmuş atmosfer örnekleri olduğu fikrine vardım."

# Kaynaklar

- <https://www.co2.earth/25-stories/163-1820-1930-fourier-to-arrhenius>
- <https://www.cleanenergytransition.org/post/chronicling-global-warming-milestones>
- <https://iklim.gov.tr/ssss/temel-kavramlar>
- <https://www.mgm.gov.tr/veridegerlendirme/il-ve-ilceler-istatistik.aspx?k=H&m=ZONGULDAK>