

HİD481 İzotop Hidrolojisi

5. Hafta Küresel Yağışta Duraylı İzotoplar

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



Kaynak kitap: Clark & Fritz, Environmental Isotopes in Hydrology

Yağışın Duraylı İzotop İçeriğini Belirleyen ETKİLER !

Literatürde yağışın duraylı izotop içeriğinin değişimi açıklanırken sağ tarafta belirtilen “Etkiler” den bahsedilir.

- Yağışın duraylı izotop içeriği üzerinde etkili olan bu unsurlar;
- Hava Sıcaklığı
- Enlem
- Yağışın gerçekleştiği Yüksek
- Yağışın gerçekleştiği Mevsim
- Yağış Miktarı
- Yağışın gerçekleştiği bölgenin denizden uzaklığının bir ifadesi olan Karasallık şeklinde adlandırılırlar.

Gerçekte bu etkilerin tamamı bir tek etkene, yağışın gerçekleştiği sıcaklığa bağlıdır.

- HAVA SICAKLIĞI ETKİSİ
- ENLEM ETKİSİ
- YÜKSEKLİK ETKİSİ
- MEVSİM ETKİSİ
- MİKTAR ETKİSİ
- KARASALLIK ETKİSİ

Duraylı İzotop İçeriği – Beslenim Yükseltisi – Beslenim Sıcaklığı İlişkisi

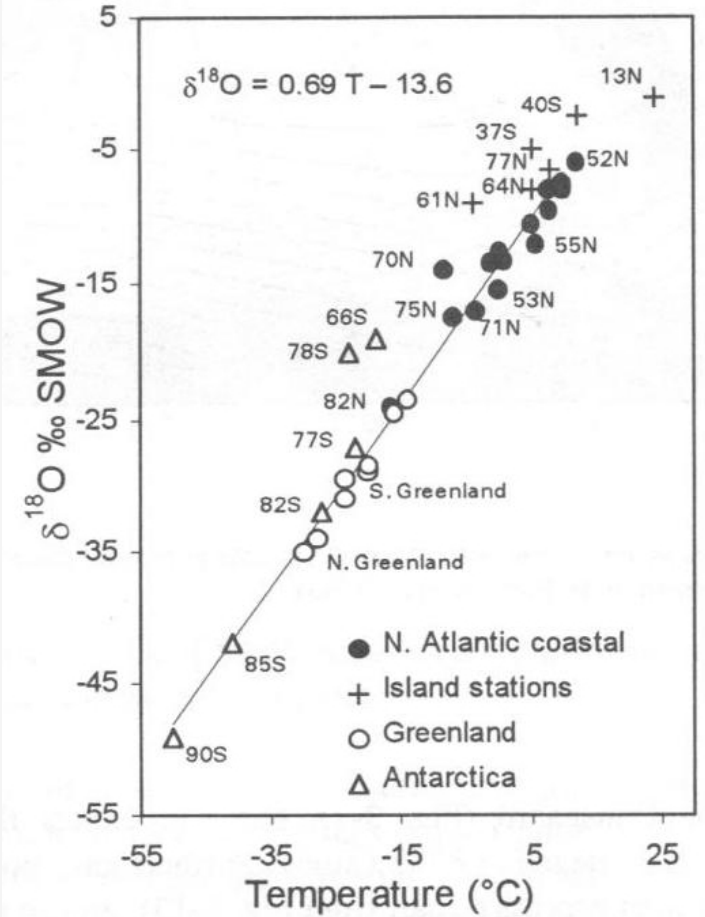
Yağışın duraylı izotop içeriği ile yer yüzeyindeki hava sıcaklığı arasında doğrusal bir ilişki olduğu ilk kez Dansgaard (1964) tarafından fark edilir.

Duraylı izotop içeriği soğuk ortamlarda bağlı olarak daha negative değerler alır; buna izotopik fakirleşme de (İng. isotopic depletion) denir. Ters durum -yani izotop içeriğinin ılık ortamlarda bağlı daha pozitif değerlere doğru kayması- ise izotopik zenginleşme (İng. Isotopic enrichment) olarak adlandırılır.

Dansgaard Eşitlikleri:

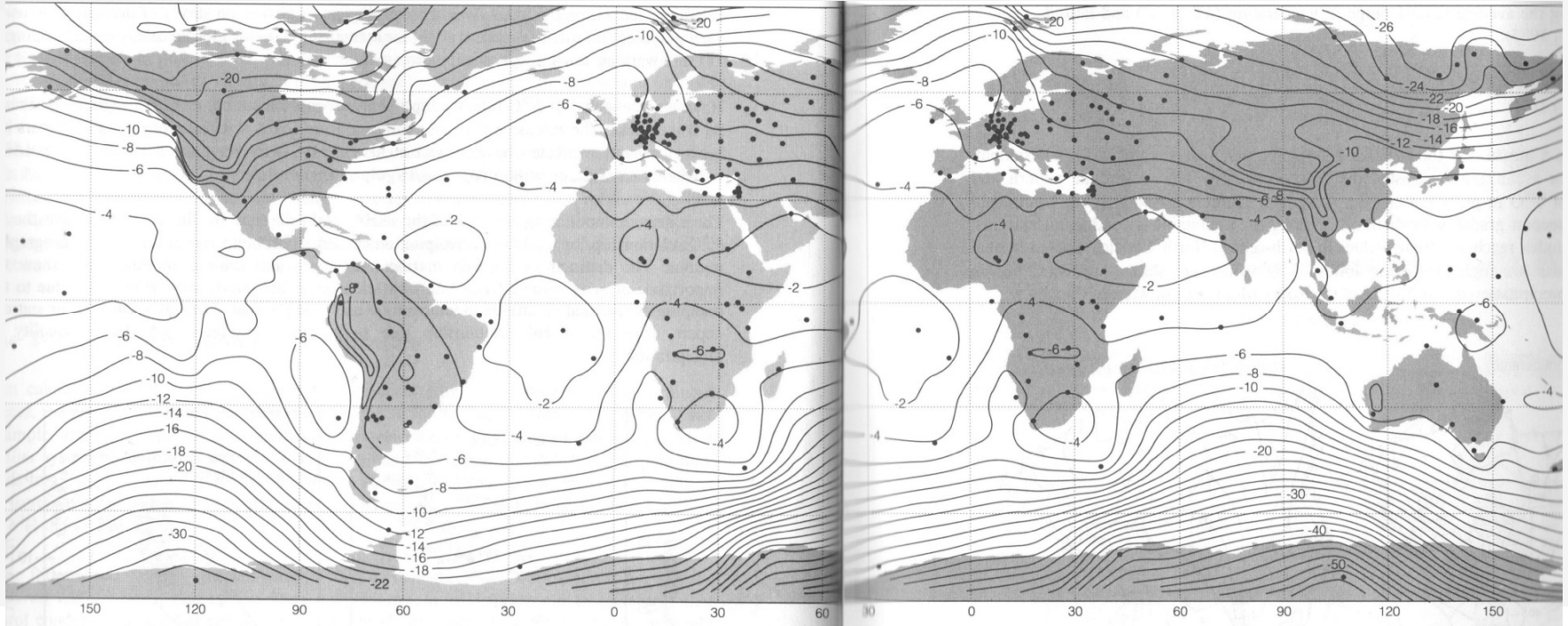
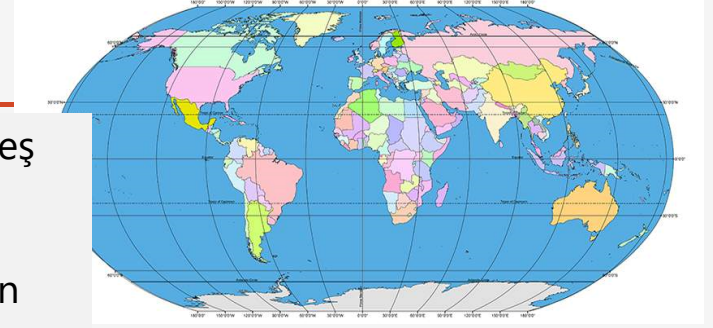
$$\delta^{18}\text{O} (\text{‰ SMOW}) = 0.695 * T_{\text{yıllık}} (\text{°C}) - 13.6$$

$$\delta^2\text{H} (\text{‰ SMOW}) = 5.6 * T_{\text{yıllık}} (\text{°C}) - 100$$



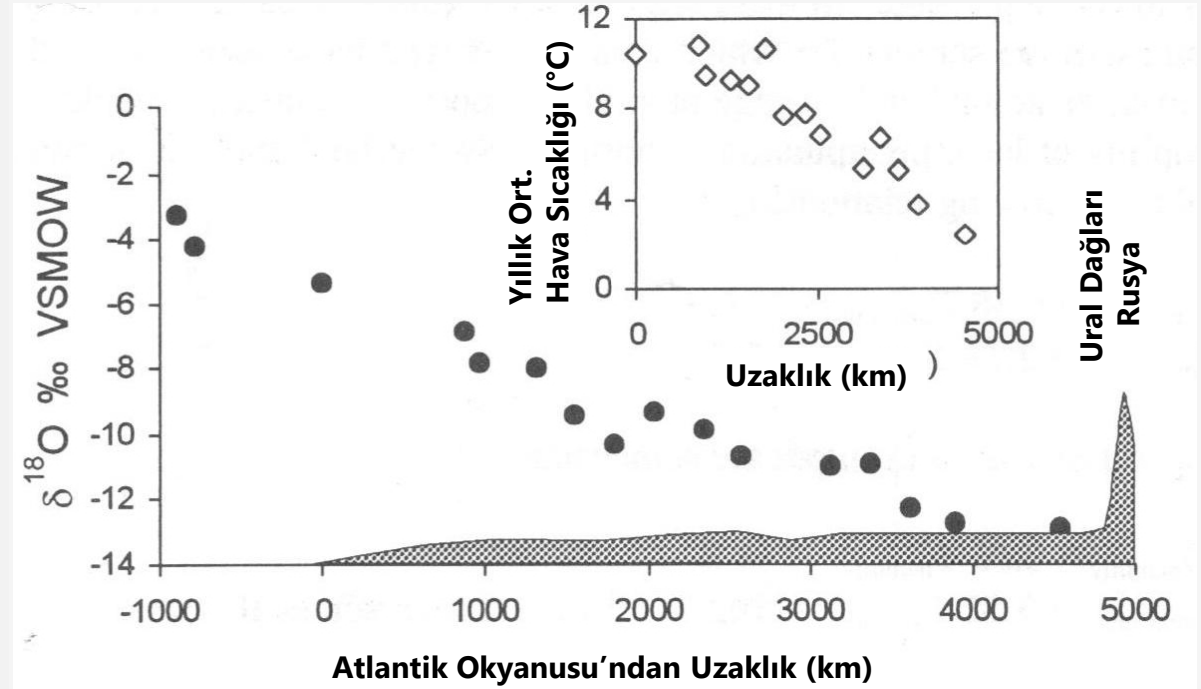
Duraylı İzotop İçeriği – Enlem Etkisi

Enlem derecesi arttıkça kutuplara yaklaşıldığından birim alana ulaşan güneş radyasyonu azalmaktadır. Bu nedenle, yıllık ortalama hava sıcaklığı alçak enlemlere göre daha düşük olmaktadır. Daha düşük sıcaklıkta oluşan yağışların δ duraylı izotop içerikleri daha negatif, yani yağış izotopik açıdan daha fakir) olur.



Duraylı İzotop İçeriği – Karasallık Etkisi

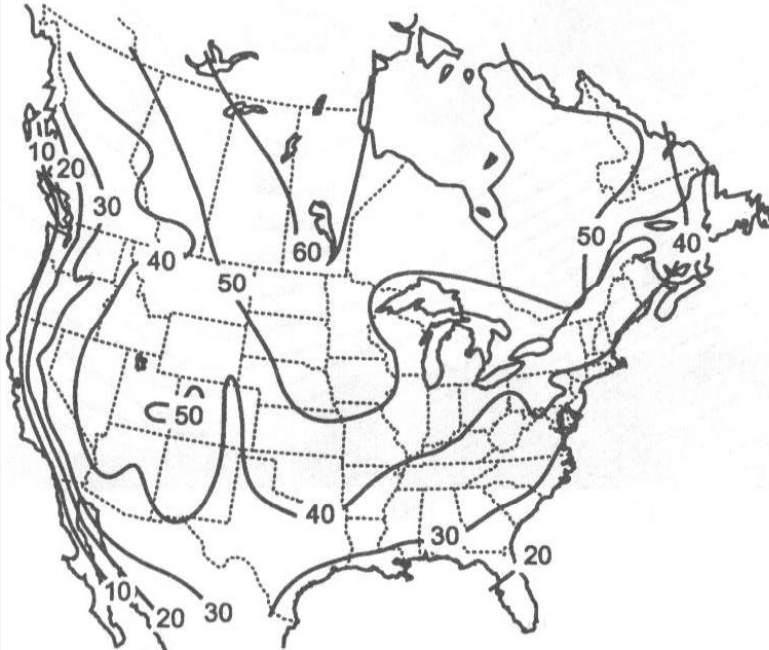
Kıydan karanın iç kesimlerine doğru gidildikçe iklim karasallaşır (İng. Continentality). Karasallaşmadan kast edilen iklimin kuraklaşması yani yağışın azalmasıdır. Başlangıçtaki/kıydaki nemden itibaren karaların içlerine doğru yağış miktarı gittikçe azalır, iklim karasallaşır ya da kuraklaşır. Belirli bir sıcaklıkta belirli miktarda yağış oluşur, daha fazla yağış oluşması için sıcaklığın daha da düşmesi gerekir. Duraylı izotop içeriği üzerindeki karasallık etkisi aslında azalan sıcaklık etkisinden başka bir şey değildir. Karaların iç kesimlerinde yağış oluşması için hava sıcaklığının dah da düşmesi gerektiğinden karasallaşma arttıkça yağışların δ duraylı izotop içerikleri daha negatif, yani yağış izotopik açıdan daha fakir olur.



Duraylı İzotop İçeriği – Karasallık Etkisi

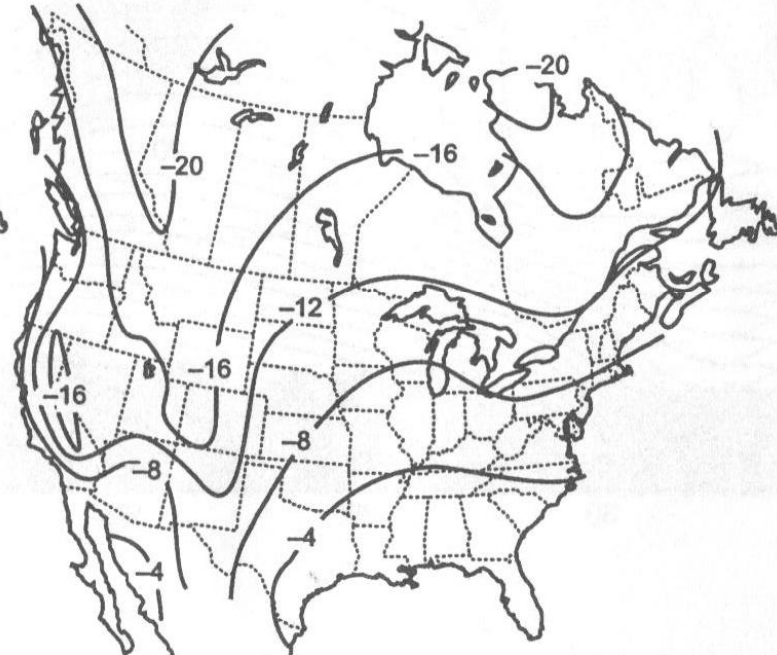
Okyanuslardan karaların iç kesimlerine doğru karasallık artar. Soldaki harita Kuzey Amerika Kıtası'nda Conrad karasallaşma indisinin değişimini göstermektedir. Karasallaşma artan değerlerle orantılı olarak artmaktadır.

Karasallık Indisi



Sağdaki haritada yıllık yağışın $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinin değişimi gösterilmiştir. Kıyılardan iç kesimlere, kuzey enlemlere ve daha yüksek kotlara gidildikçe izotop içeriği fakirleşmektedir.

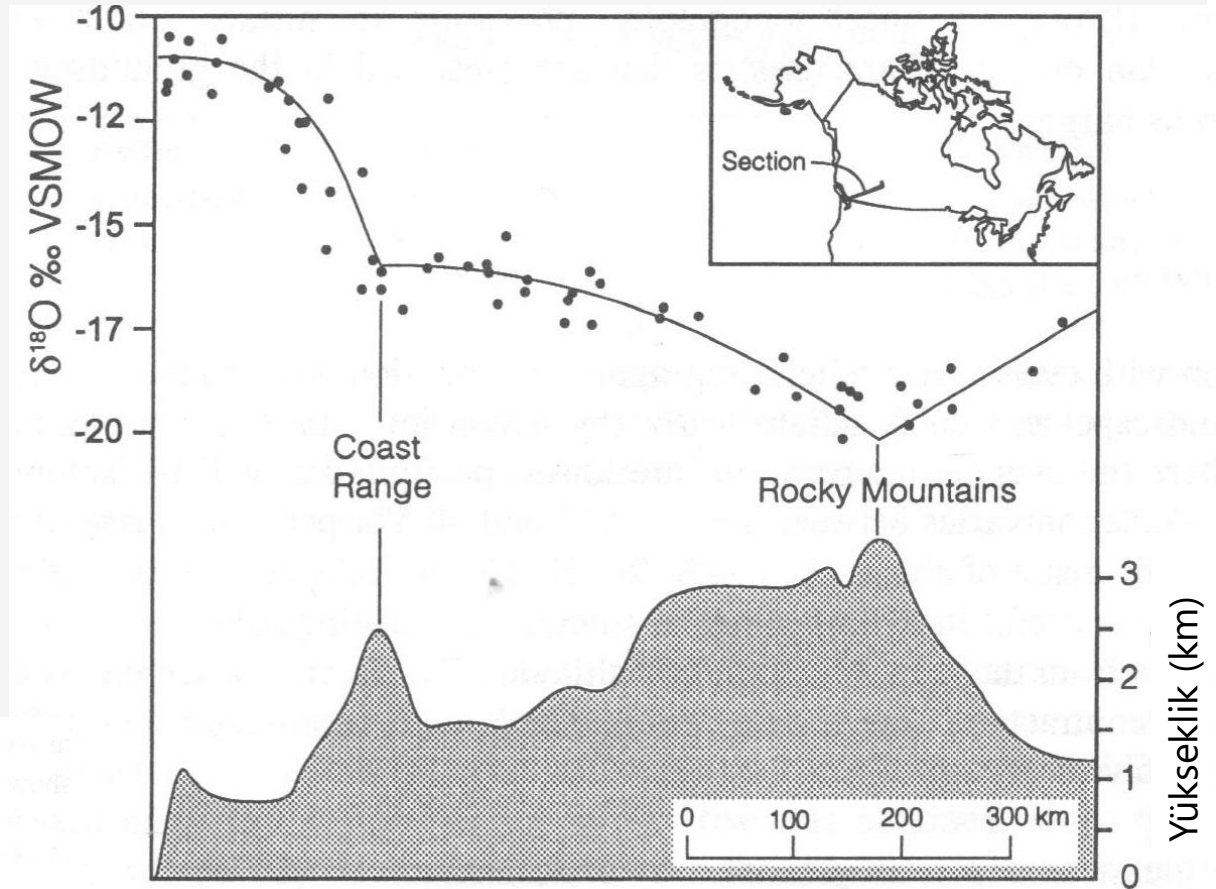
Yağışın $\delta^{18}\text{O}$ İçeriği



Duraylı İzotop İçeriği – Karasallık Etkisi ya da Hava Sıcaklığı Etkisi

Pasifik Okyanusu kıyısından Kanada içlerine uzanan sağdaki kesitte yağışın $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki değişim gösterilmektedir. Kıyıda Coast Range dağlarına doğru artan yükselti ile sıcaklık azalmakta, ardışık yağışların $\delta^{18}\text{O}$ içeriği fakirleşmektedir (daha negatif değerler). Daha sonra, Rocky Mountains'a doğru gidildikçe topoğrafya gradyanındaki azalmaya bağlı olarak $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki negatifleşme eğilimi de azalmaktadır. Rocky Mountains'tan sonra yağış oluşturan nemin kaynağı değiştiği için $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinde pozitifleşme görülmektedir. Sonuç olarak, Pasifik Okyanusu'ndan Rocky Mountain'a uzanan kesimde $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki negatifleşme eğiliminin nedeni "karasallaşma" ya da buna bağlı olarak hava sıcaklığının azalmasıdır.

West Coast (Victoria)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{annual}} = 0.18 T_{\text{annual}} - 11.2$
Western Interior Canada	$\delta^{18}\text{O}_{\text{annual}} = 0.49 T_{\text{annual}} - 17.3$
Eastern Canada	$\delta^{18}\text{O}_{\text{annual}} = 0.43 T_{\text{annual}} - 13.6$



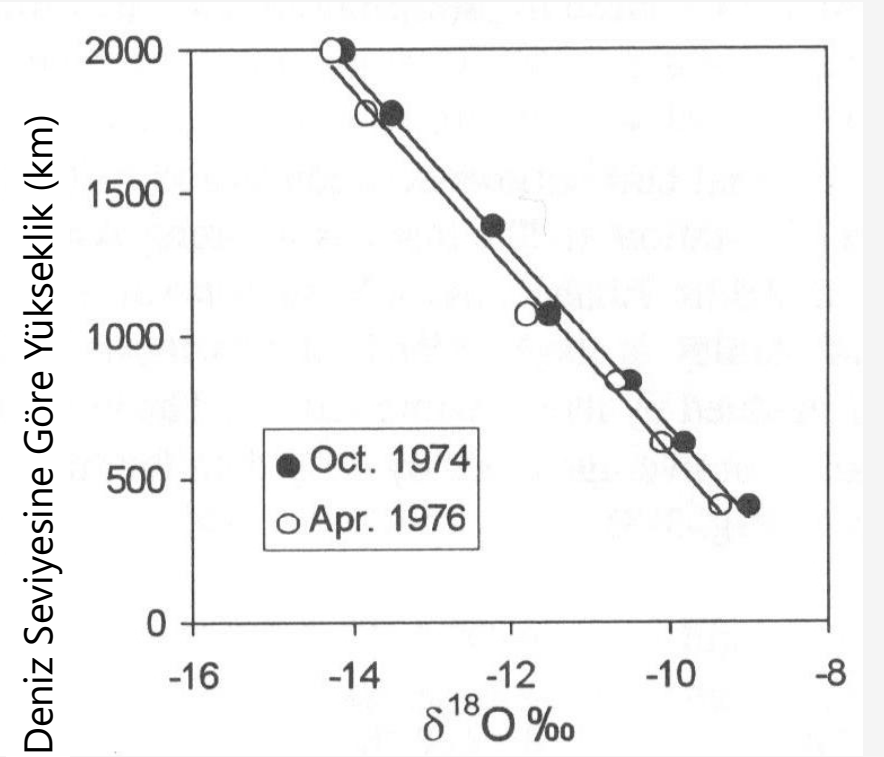
Duraylı İzotop İçeriği – Yükselti (Kot) Etkisi

Sağdaki şekilde İtalya'da Alp Dağlarının Akdeniz'e bakan yamacında yağıştaki aylık $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinin yüksekliğe bağlı değişimi gösterilmiştir.

Ekim ve Nisan aylarında farklı yüksekliklerde yapılan ölçümlere göre $\delta^{18}\text{O}$ içeriği artan yükseklikle negatifleşmektedir. Bu durumun, temel nedeni artan yükseklikle hava sıcaklığının doğrusal biçimde azalmasıdır. Bu araştırmada Ekim ve Nisan aylarında her bir örnekleme yüksekliğindeki ortalama hava sıcaklığı aynıdır. Bu nedenle $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri hemen hemen aynı olmuştur.

Hesaplanan ortalama izotop gradyanı (isotope lapse rate) $-0.31 \text{ ‰ } \delta^{18}\text{O}/100 \text{ m}$ düzeyindedir.

Bir araştırma alanında yağışın $\delta^{18}\text{O}$ içeriği ile yükseklik arasında güçlü bir doğrusal ilişki belirlenmesi durumunda örnekleme yapılmayan yükseltilerde gerçekleşen yağışların $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri de tahmin edilebilir. Bu bilgi farklı suların beslenme yükseltilerinin ve beslenme sıcaklıklarının tahmin edilmesinde kullanılabilir.



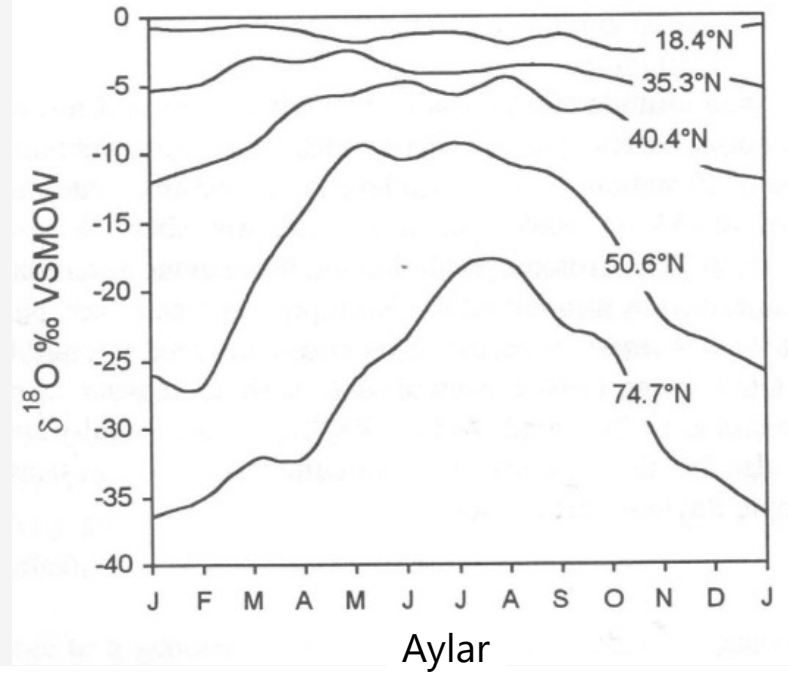
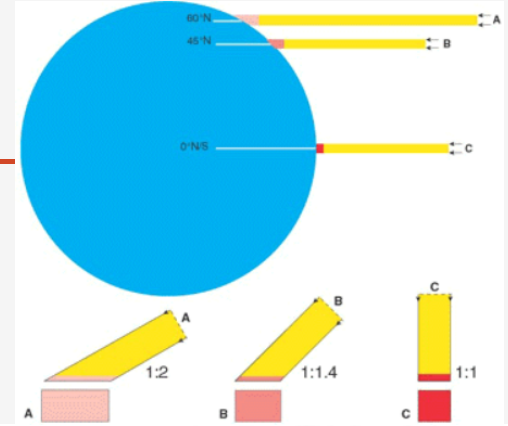
Duraylı İzotop İçeriği – Enlem Etkisi

Sağdaki şekilde kuzey yarıküre boyunca seçilen deniz seviyesindeki örnekleme noktalarında aylık yağışların $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinin enleme bağlı olarak değişimi gösterilmiştir. Gözlemler ekvatora yakın 18.4 °Kuzey enlemi ile Kuzey Kutbuna yakın 18.4 °Kuzey enlemi arasında Ocak ayından (January) Ocak ayına gerçekleştirilmiştir.

Hava sıcaklığı diğer etkenlerin yanı sıra artan enlem derecesi ile azalmaktadır. Bu durumun nedeni, yer yüzeyindeki eğrilmeden dolayı kutuplara yaklaştıkça güneşten gelen, biri alana düşen radyasyon miktarının azalmasıdır.

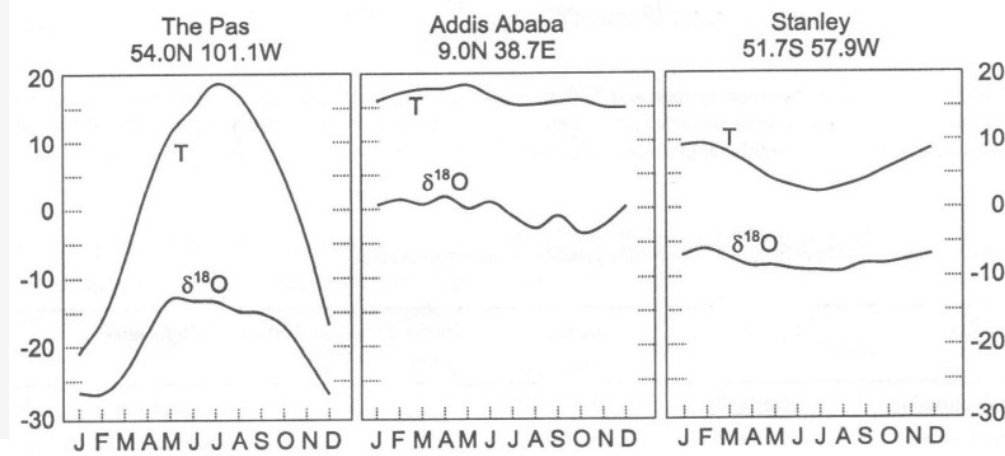
Yerkürenin elipsoid biçiminden ve yerküre ekseninin yatıklığından dolayı kutuplara doğru gidildikçe birim alana ulaşan güneş radyasyonu miktarı değişmektedir. Bu durum yüzeye ulaşan enerji ve bundan kaynaklanan hava sıcaklığını belirleyen temel etkindir. Bu etki ekvator dolayında yıl boyunca önemli bir değişim göstermez. Buna karşın kutuplara yaklaşıldıkça bu etki artmaktadır.

$\delta^{18}\text{O}$ içeriğinin enleme ve aylara göre değişiminin nedeni enleme ve aylara göre hava sıcaklığının değişmesidir.



Duraylı İzotop İçeriği – Enlem Etkisi

Aşağıdaki şekilde farklı coğrafi konumlarda aylık yağışların $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinin Ocak ayından (January) Aralık ayına (December) değişimi gösterilmiştir. The Pas 54.0 °Kuzey enleminde karasal, Addis Ababa 9.0 °Kuzey enleminde karasal-ekvatorial, Stanley 54.0 °Güney enleminde denizel (Atlantik Okyanusu, Falkland Adaları) gözlem istasyonlarıdır. Tüm istasyonlarda aylık yağışların $\delta^{18}\text{O}$ içeriği ile aylık ortalama hava sıcaklığı paralel bir değişim göstermektedir. Yağışların $\delta^{18}\text{O}$ içeriği azalan sıcaklıkla negatifleşmektedir (fakirleşmektedir). The Pas'ta yıl boyu değişim genliği karasallaşma etkisinden dolayı daha yüksektir. Ekvatorial kuşakta yıl boyu güneşlenme miktarında önemli değişim olmadığından sıcaklık aylık yağışların $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki salınım sınırlıdır. Stanley, The Pas ile aynı enlemde bulunmakla birlikte, okyanusla çevrili bir ada olduğundan sıcaklık ve $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinde önemli bir salınım gözlenmemektedir. Bu durumun nedeni suyun ısı kapasitesinin yüksek oluşu ve okyanus suyu sıcaklığının yıl boyu sınırlı bir salınım göstermesidir.

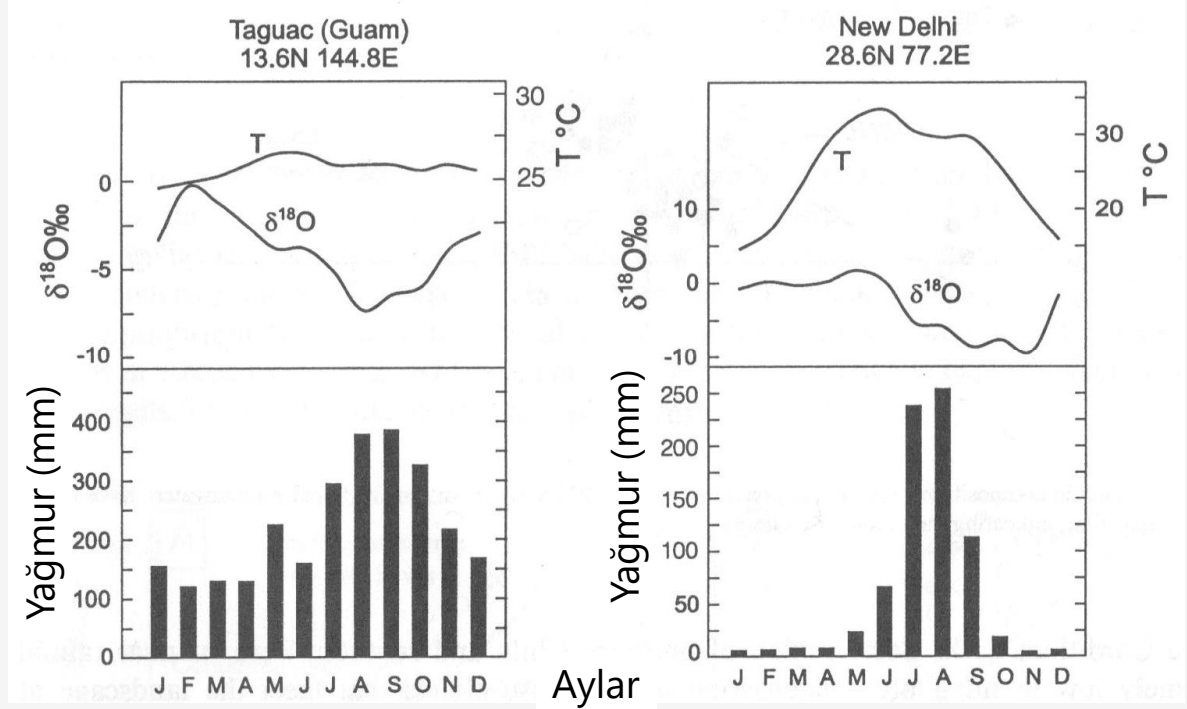


Duraylı İzotop İçeriği – Miktar Etkisi

Sağdaki şekilde tropik denizel iklimi etkisindeki Guam istasyonu (13.6 °Kuzey) ile muson iklimi (tropik, nemli iklim) etkisindeki New Delhi (28.6 °Kuzey) istasyonunda aylık ortalama sıcaklık, aylık yağışların $\delta^{18}\text{O}$ içeriği ve aylık ortalama yağış miktarları gösterilmiştir.

Guam istasyonunda hava sıcaklığı yıl boyu 25 °C dolayında olup, önemli salınım göstermemektedir. New Delhi istasyonunda da yıllık ortalama sıcaklık 25 °C dolayında olup, sıcaklık 20-30 °C aralığında salınmaktadır.

Bu koşullarda düşük miktarda yağışın gerçekleştiği aylarda buharlaşma yağış üzerinde daha etkili olmakta yağışların $\delta^{18}\text{O}$ içeriği bağlı pozitif değerlere kaymaktadır (izotopik açıdan zenginleşmektedir). $\delta^{18}\text{O}$ içeriğindeki bu değişimin temel nedeni hava sıcaklığının yüksek olmasıdır.

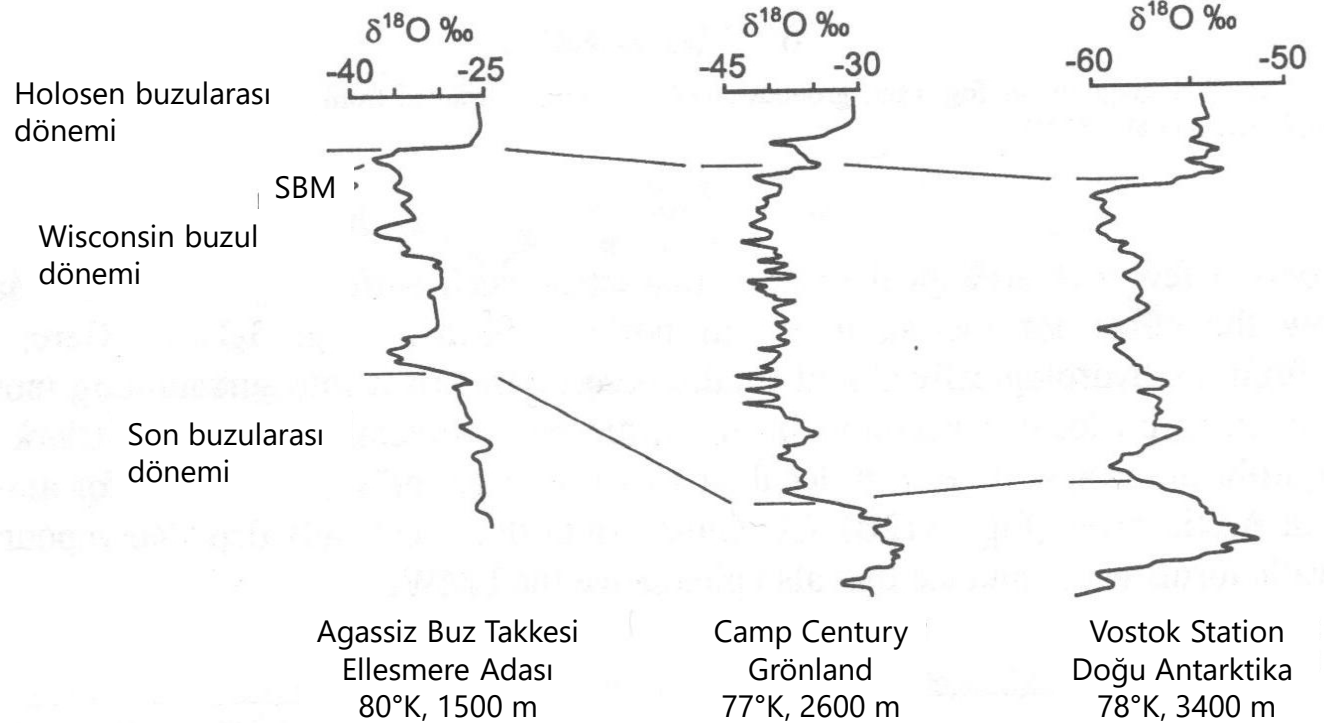


Duraylı İzotop İçeriği – Paleoiklim ve Buzul Karotları

Aşağıda kuzey ve güney kutup bölgelerinden alınan buzul karotlarında ölçülen $\delta^{18}\text{O}$ içeriklerinin derinlik boyunca değişimi gösterilmiştir. Üst kesim içinde bulunduğumuz Holosen buzularası dönemidir. Bu dönem ~20 bin yıl önce Son Buzul Maksimumu (SBM) yaşandıktan sonra başlamıştır. Wisconsin buzul dönemi son buzul dönemidir. Ondan önce Son buzularası dönemi yaşanmıştır. Kuvaterner buzullaşması günümüzden 2.6 milyon – 20 bin yıl aralığında yaşanmıştır.



Willi Dansgaard, 1922-2011
Paleoiklim biliminin öncüsü.



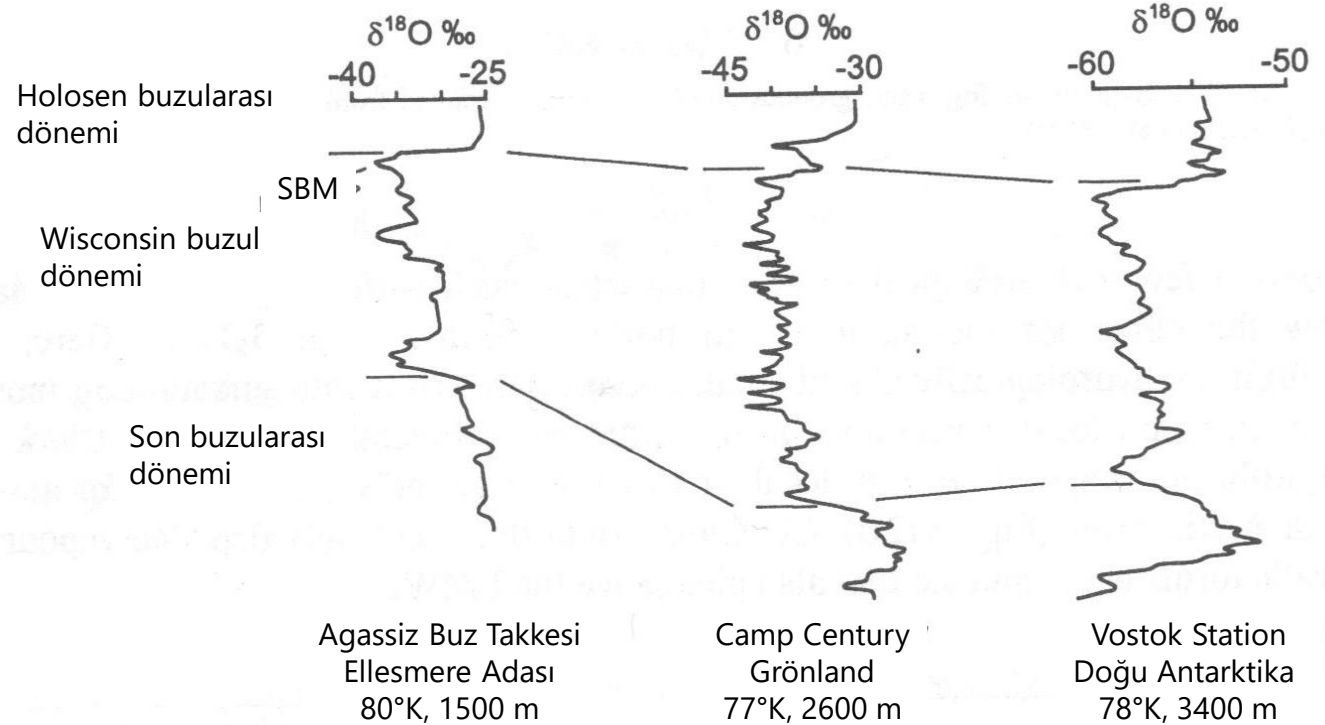
Duraylı İzotop İçeriği – Paleoiklim ve Buzul Karotları

Buzularası dönemlerde okyanustan buharlaşan su tekrar okyanusa dönerek hidrolojik döngüyü tamamlar. Buzul dönemlerinde ise hidrolojik döngüdeki suyun bir bölümü buz şeklinde kilitli kalmakta, denizlere dönememektedir. Bu durum, zamanla okyanus suyunun ve buzulların izotopik bileşiminin değişmesine neden olur.

Buharlaşıma sürecinde okyanus suyunda bulunan hafif izotoplardan yapılmış su molekülleri daha kolay biçimde (az buharlaşma enerjisi ile) buhar faza geçerler.

Sonuçta bu buhardan oluşan yağışın izotopik bileşimi de hafif izotop açısından zengin (ya da ağır izotop açısından fakir) olur.

Bu süreç buzun $\delta^{18}\text{O}$ içeriğinin negatif değerlere kayması ile kendini gösterir. Buzun $\delta^{18}\text{O}$ içeriği buzul dönemlerinde daha negatif değerlere (şekilde sola) kayar. Buzularası dönemlerde ise tersi (sağa kayma) olmaktadır.

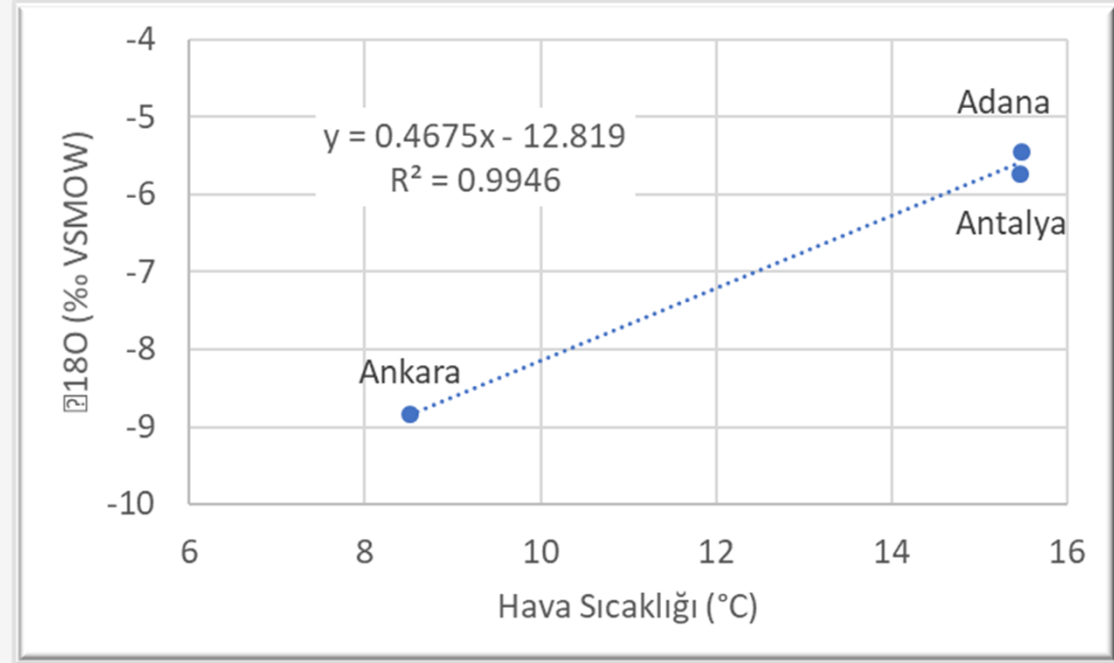


Duraylı İzotop İçeriğinden Beslenim Yükseltisi ve Beslenim Sıcaklığı Hesaplama

Örnek Uygulama

Çizelge 1: 1963-2001 döneminde yağışın yağış miktarı ağırlıklı yıllık ortalama $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri (Temmuz, Ağustos, Eylül ayları hariç) ve ortalama hava sıcaklığı

İstasyon	$\delta^{18}\text{O}$ (‰)	Sıcaklık (°C)
Ankara	-8.84	8.51
Adana	-5.44	15.49
Antalya	-5.73	15.46



Regresyon Eşitliği, $Y = a + b \cdot X$

$$\delta^{18}\text{O} = 0.4675 \cdot T(^{\circ}\text{C}) - 12.819 \quad R^2 = 0.99$$

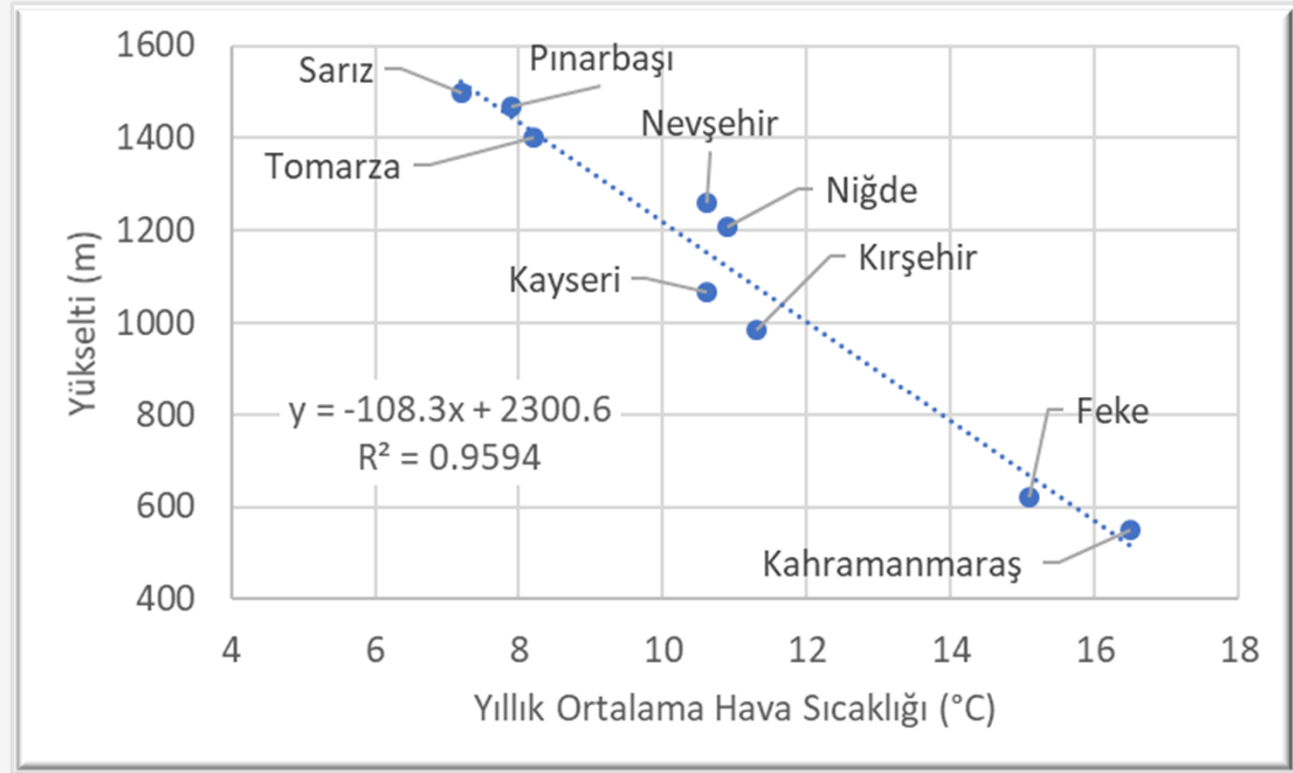
$$T(^{\circ}\text{C}) = -1 * [(-12.819 - \delta^{18}\text{O}) / 0.4675]$$

Duraylı İzotop İçeriğinden Beslenim Yükseltisi ve Beslenim Sıcaklığı Hesaplama

Örnek Uygulama

Çizelge 2. Meteoroloji istasyonlarında ölçülen yıllık ortalama hava sıcaklığı ve istasyon kotları.

Meteoroloji İstasyonu	Sıcaklık °C	Yükselti m
Feke	15.1	620
Sarız	7.2	1500
Tomarza	8.2	1400
Pınarbaşı	7.9	1470
Kayseri	10.6	1068
Kahramanmaraş	16.5	549
Kırşehir	11.3	985
Nevşehir	10.6	1260
Niğde	10.9	1208



$$Yükselti (m) = -108.3 * Sıcaklık (°C) + 2300.6 \quad R^2 = 0.96$$

$$Sıcaklık (°C) = -1 * [(2300.6 - Yükselti (m)) / -108.3]$$

Duraylı İzotop İçeriğinden Beslenim Yükseltisi ve Beslenim Sıcaklığı Hesaplama

Örnek Uygulama

Çizelge 3. Aladağ Karstik Akiferi kaynakları için ^{18}O kullanılarak hesaplanan beslenim sıcaklık ve yükseltileri.

Kaynak	$\delta^{18}\text{O}$	Boşalım Kotu (m)	Boşalım Sıcaklığı (°C)	Hesaplanan Beslenim Sıcaklığı (°C)	Hesaplanan Beslenim Yükseltisi (m)
Soğukpınar	-11.36	1800	4.4	3.1	1963
Göksu	-11.05	650	7.7	3.8	1892
Kapuzbaşı	-11.00	750	7.5	3.9	1880
Yerköprü-1	-10.79	800	13.9	4.3	1830
Yerköprü-2	-10.51	750	13.8	4.9	1766
Yerköprü-3	-10.93	450	15.1	4.0	1863
Bademdere	-11.81	1200	6.5	2.2	2067

$$\delta^{18}\text{O} = 0.4675 \cdot T(^{\circ}\text{C}) - 12.819 \quad R^2 = 0.99$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = -1 * [(-12.819 - \delta^{18}\text{O}) / 0.4675]$$

$$\text{Sıcaklık } (^{\circ}\text{C}) = -1 * [(2300.6 - \text{Yükselti (m)}) / -108.3]$$

$$\text{Yükselti (m)} = -108.3 * \text{Sıcaklık } (^{\circ}\text{C}) + 2300.6 \quad R^2 = 0.96$$

Duraylı İzotop İçeriğinden Beslenim Yükseltisi ve Beslenim Sıcaklığı Hesaplama

Örnek Uygulama

Aladağ Karstik Akiferi Kaynakları



Duraylı İzotop İçeriğinden Beslenim Yükseltisi ve Beslenim Sıcaklığı Hesaplama

Örnek Uygulama

Kapuzbaşı Kaynakları



Aladağ Karstik Akiferi Kaynakları

Göksu Kaynağı



Yerköprü-1 Kaynağı

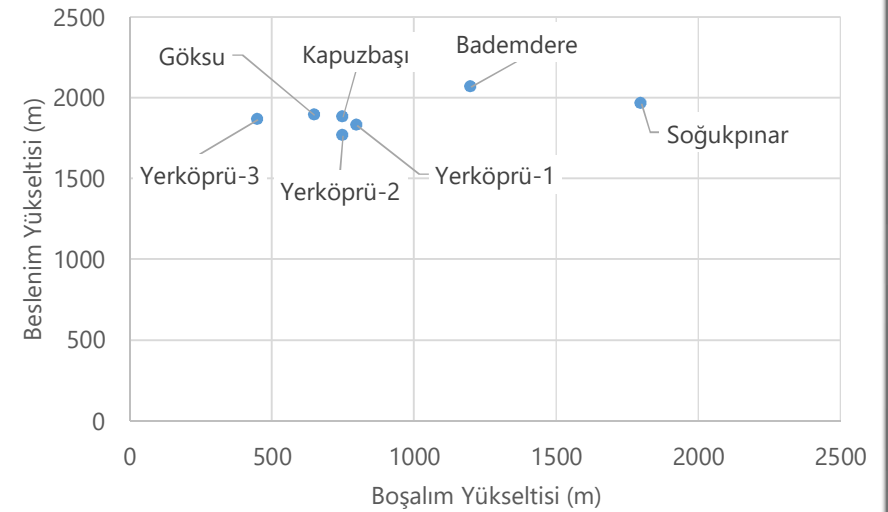
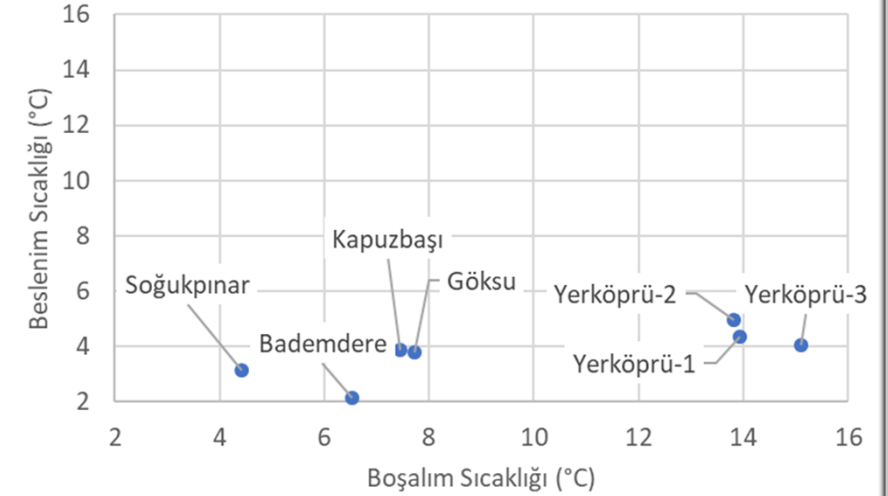


Duraylı İzotop İçeriğinden Beslenim Yükseltisi ve Beslenim Sıcaklığı Hesaplama

Kaynak	$\delta^{18}O$	Boşalım Kotu (m)	Boşalım Sıcaklığı (°C)	Hesaplanan Beslenim Sıcaklığı (°C)	Hesaplanan Beslenim Yükseltisi (m)
Soğukpınar	-11.36	1800	4.4	3.1	1963
Göksu	-11.05	650	7.7	3.8	1892
Kapuzbaşı	-11.00	750	7.5	3.9	1880
Yerköprü-1	-10.79	800	13.9	4.3	1830
Yerköprü-2	-10.51	750	13.8	4.9	1766
Yerköprü-3	-10.93	450	15.1	4.0	1863
Bademdere	-11.81	1200	6.5	2.2	2067

$$T(^{\circ}C) = -1 * [(-12.819 - \delta^{18}O) / 0.4675]$$

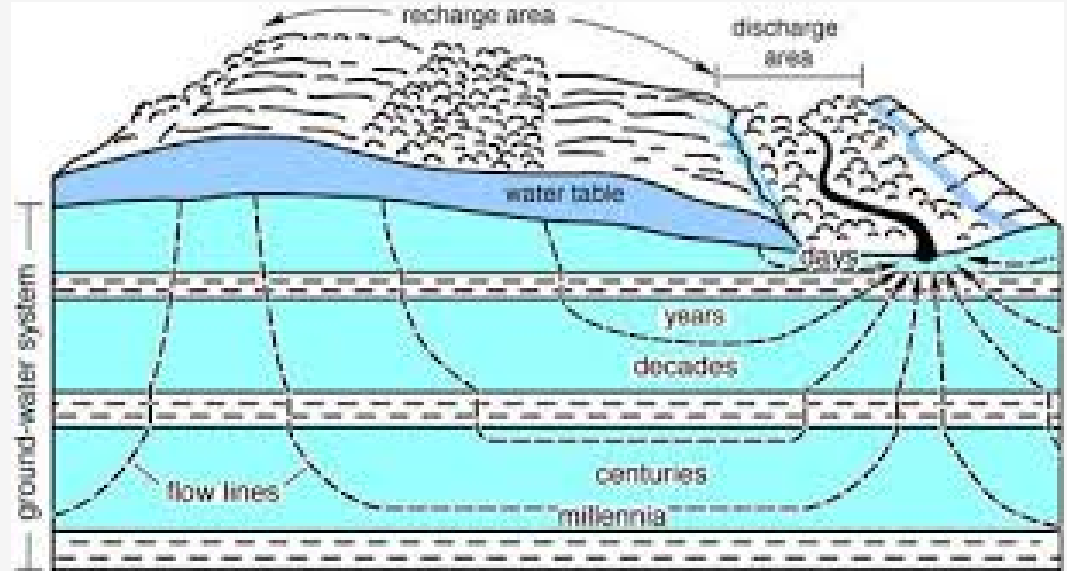
$$Yükselti (m) = -108.3 * Sıcaklık (^{\circ}C) + 2300.6 \quad R^2 = 0.96$$



Beslenim Yüksekliği – Dolaşım Derinliği – Yeraltısuyu Akım Çizgileri

Yeraltısuyu yerçekimi etkisiyle yüksek kotlardan (beslenim bölgesinden) alçak kotlara (boşalım bölgesine) doğru hareket eder.

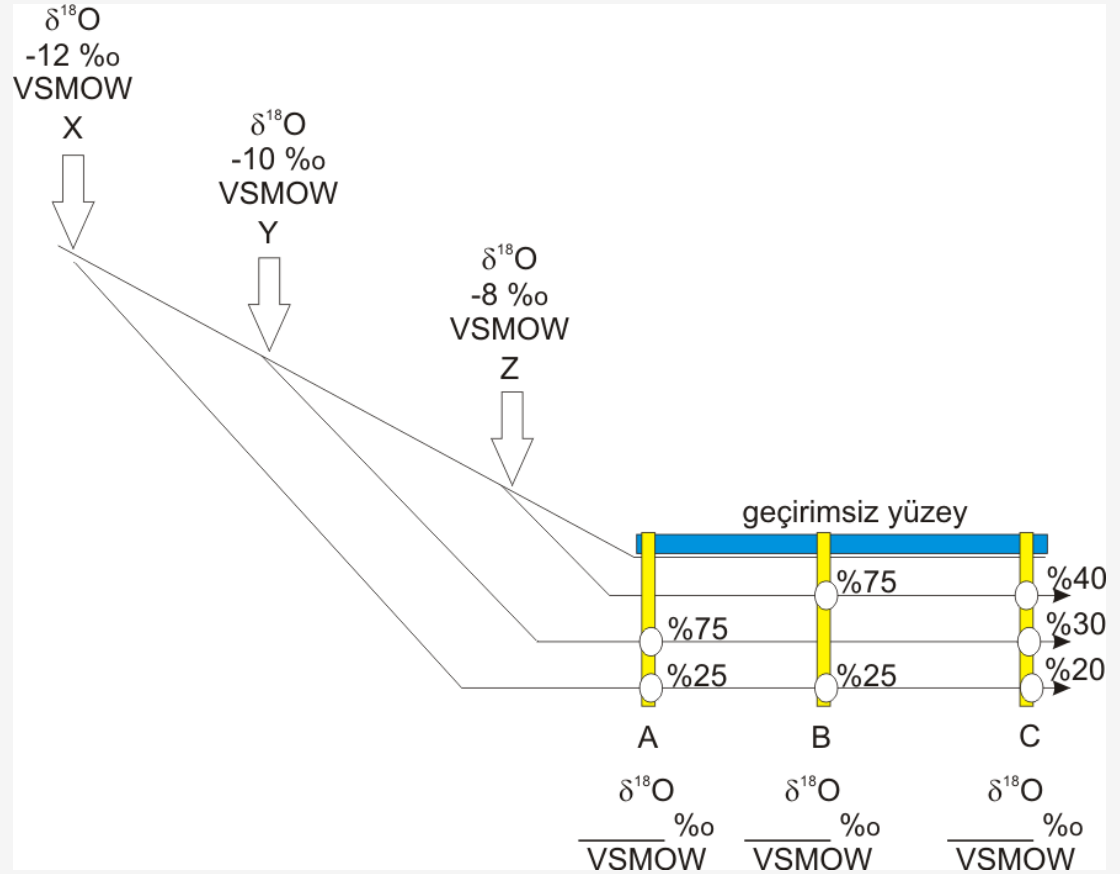
Beslenim ve boşalım bölgeleri arasındaki uzaklık arttıkça yeraltısuyu akım çizgisinin derinliği artar. En uzaktan beslenen akım çizgisi en derinde, en yakından beslenen akım çizgisi en sığ derinliktedir. Akarsu, deniz, göl, bataklık ve kaynak gibi yeraltısuyu boşalım yerlerinde farklı derinliklerden gelen akım çizgileri birbirlerine yaklaşırlar. Buna karşın beslenim-boşalım bölgeleri arasında herhangi bir yerde açılan derin sondaj kuyularında akım çizgileri birbirine paraleldir.



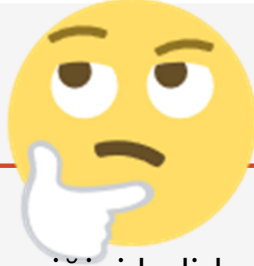
Hidrojeolojik araştırmalarda sistemin karakterizasyonu amacıyla yeraltısuyu gözlemleri için kullanılan kuyular çoğunlukla yeraltısuyu üretimi amaçlı kuyulardır. Araştırma amaçlı kuyular belirli derinliklerdeki suyun örneklenmesi için teçhiz edilirken, üretim kuyuları her derinlikteki su veren tüm birimleri kesecek şekilde teçhiz edilirler. Bu nedenle üretim kuyularında örneklenen yeraltısuyu farklı beslenim alanlarına ait farklı derinliklerdeki akım çizgileri boyunca akan suların karışımından oluşur.

Beslenin Yüksekliği – Dolaşım Derinliği – Yeraltısuyu Akım Çizgileri

- Sağdaki şekilde yer alan A, B ve C üretim kuyuları farklı derinliklerde filtrelendi.
- Kuyudan çekilen su miktarına her bir filtre seviyesinden sağlanan % katkı şekil üzerinde gösterilmiştir.
- İlgili filtre derinliklerin ulaşan yeraltısuyu akım çizgilerinin beslenim alanlarındaki $\delta^{18}\text{O}$ içerikleri şekil üzerinde gösterilmiştir.
- Belirtilen değerleri kullanarak A, B ve C kuyularından örneklenen suların $\delta^{18}\text{O}$ içeriklerini hesaplayınız.
- Hesapladığınız değerlerin ne anlama geldiğini yorumlayınız.



Neler öğrendik ?



- ✓ Yağışın duraylı izotop içeriğini belirleyen etkiler nelerdir?
- ✓ Bu etkilerin sıcaklıkla nasıl bir ilişkisi vardır?
- ✓ İzotopik zenginleşme/fakirleşme sıcaklıkla nasıl ilişkilidir?
- ✓ Enlem etkisi nedir, sıcaklıkla nasıl ilişkilidir?
- ✓ Karasallık etkisi nedir, sıcaklıkla nasıl ilişkilidir?
- ✓ Miktar etkisi nedir, sıcaklıkla nasıl ilişkilidir?
- ✓ Buzul karotları nasıl paleoiklim bilgisi taşırlar?
- ✓ Duraylı izotop içeriğinden beslenme yükseltisi/sıcaklığı nasıl hesaplanır?
- ✓ Beslenme yüksekliği, dolaşım derinliği ve duraylı izotop içeriği nasıl ilişkilidir?

