

YERALTI SICAKLIK KAYITLARINA GÖRE BATI ANADOLU'DA SON YÜZYILDA İKLİM DEĞİŞİKLİĞİ

**Kamil ERKAN^{1(*)}, Bülent AKKOYUNLU², Murat DOĞRUEL³, Mustafa Orkun İNAL¹,
Elif BALKAN⁴, Mete TAYANÇ¹**

¹Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Çevre Mühendisliği Bölümü, Göztepe/İstanbul

²Marmara Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, Göztepe/İstanbul

³Marmara Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik Elektronik Mühendisliği Bölümü,
Göztepe/ İstanbul

⁴Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Jeofizik Mühendisliği Bölümü, Buca/İzmir

ÖZET

Yer yüzeyindeki sıcaklık değişimleri yerin altına süzgeçlenerek iletilmekte olup geçmişte gidildikçe değişimlerin etkisi daha derinlere inmektedir. Sondaj kuyularından elde edilen yüksek hassasiyetli sıcaklık-derinlik verileri kuyunun bulunduğu noktada geçmişe ait yüzey sıcaklık değişimlerini incelemeye kullanılabilir. Bu çalışmada sistematik olarak kuyu sıcaklık verilerine dayalı iklimsel değişimler Türkiye'de ilk defa incelenmiştir. Bu amaçla derinlikleri 100-200 m olan toplam 30 adet sondaj kuyusunda sıcaklık verisi toplanmıştır. Toplanan verilerin incelenmesi sonucu Çanakkale'de bir, İzmir'de bir, Manisa'da bir, Uşak'ta iki, ve Kırıkkale'de bir olmak üzere toplam altı kuyuda iklimsel etkiler gözlenmiştir. İklim sinyali elde edilen kuyularda sıcaklık-derinlik verilerine paleoiklimsel modelleme uygulanmış ve 1900'den başlayan yüzeysel sıcaklık rekonstrüksiyonları üretilmiştir. Buna göre Batı Anadolu'da ortalama yüzey sıcaklığı 1950'li yılların başlarında başlayarak 1980'li yılların sonuna kadar yaklaşık 0.2 °C düşmüştür. Sıcaklıklar 1990'lı yıllardan itibaren hızlı bir artış trendine girmiş olup, kara yüzeyi sıcaklık artış eğilimi günümüze kadar olan dönemde 1.0 °C'lık bir büyüklüğe ulaşmıştır. Bu sonuçlar enstrümantal hava sıcaklığı artış değerleri ile uyum göstermektedir.

ANAHTAR SÖZCÜKLER

İklim değişikliği, Batı Anadolu, kuyu sıcaklık logları

ABSTRACT

The surface temperature changes diffuse into the ground with decreasing amplitude, and effect of a change longer back in time travels to deeper levels in time. High quality temperature-depth data collected from boreholes can be used to investigate the surface temperature changes in time where the hole is located. In this study, the climate change in Turkey is investigated systematically for the first time based on borehole temperatures. For this purpose, data were collected from a total of 30 boreholes with depths of 100-200m. As a result of data analysis, the

(*) kamil.erkam@marmara.edu.tr

climatic effects were observed in six boreholes that are one in Çanakkale, one in İzmir, one in Manisa, two in Uşak, and one in Kırıkkale. Paleoclimatic modelling was applied to the temperature-depth data and climate reconstructions starting from 1900 was generated. According to this, average surface temperature decreased by 0.2 C starting 1950 to 1980. Starting 1990, temperatures has entered a trend of fast increase, and land surface temperature changes has reached to a magnitude of 1.0 C until the present day. These results are in agreement with the increasing temperature observed with instrumental values.

KEYWORDS

Climate change, Western Anatolia, borehole temperature logs

1. GİRİŞ

Yeraltı sıcaklıklarının iklim değişimini gösterdiğinize dair ilk sistematik çalışmalardan biri 1980'lerde Alaska'da yapılmıştır (Lachenbruch ve Marshall, 1986). Dünya ısı akısı veri tabanında bulunan altı binin üzerinde kuyu sıcaklık verileri kullanılarak son 20 bin yıla ait iklim değişimleri modellenmiştir (Huang ve Pollack, 1997). Bu çalışmalar dünyamızın ilk ve orta Holosen dönemde (10-5 Ka b.p.) ortalama sıcaklığın günümüzdeki değerin 0.2-0.6 °C üzerinde olduğunu göstermiştir. Kuzey Amerika, Avrupa, Afrika ve Avustralya'da 358 kuyu kullanılarak son 500 yıla ait iklim değişimi modellenmiş ve son beş yüzyılda ortalama sıcaklığın 1.0 derece arttığını göstermiştir (Pollack, Huang, ve Shen, 1998). Bu sonuçların daha sonra yapılan multi-proksi yöntemlere dayalı sonuçlarla uyumlu olduğu görülmüştür (Moberg vd., 2005).

Yeraltı jeotermal gradyanının düşey doğrultuda tek boyutlu olarak değiştiği varsayılırsa bunun altı sınırını mantodan gelen bazal ısı akısı ve üst sınırını ortalama yüzey zemin sıcaklığı belirlemektedir (Bearsdmore ve Cull, 2001). Yüzey zemin sıcaklığı (ground surface temperature-GST) ile yüzey ortalama (hava) sıcaklığı (surface annual temperature-SAT) birbirlerinde farklı parametreler olmakla birlikte zemin sınırındaki termal etkileşim sonucu bu parametreler birbirleriyle tamamen veya kısmen bağlıdır (Birch, 1948). Yüzey zemin sıcaklıklarının ortalama hava sıcaklıklarının rekonstrüksiyonunda kullanılıp kullanılmayacağına dair son zamanlarda bazı analitik çalışmalar yapılmıştır (Mann ve Schmidt, 2003; González-Rouco vd., 2003). Genel iklimsel modelleri üzerinde yapılan çalışmalarda yaz sıcaklıklarında tamamen kış aylarında ise kısmen bire birlik olduğu gösterilmiştir (González-Rouco vd., 2003). Bunun sonucunda kısa dönemli aralıklarda ısınmanın GST için SAT'a göre daha fazla olması beklenebilir. Ancak uzun dönemli aralıklarda GTS ile SAT arasındaki farkın ihmal edilebilir seviyede olduğu ortaya konmuştur (González-Rouco vd., 2003).

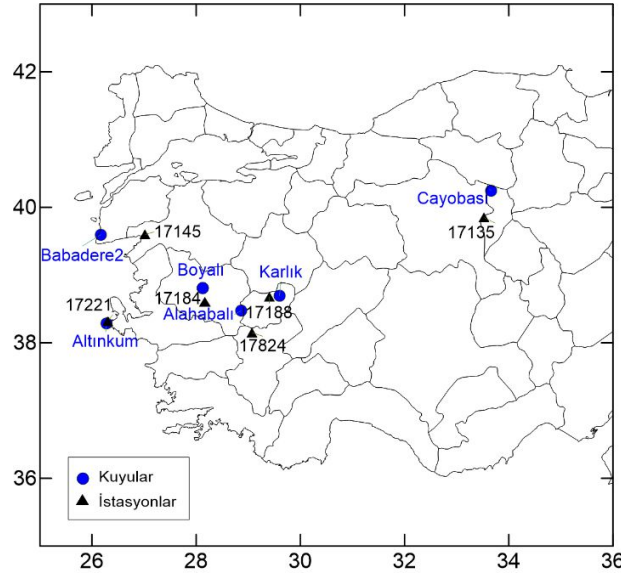
2. MATERYAL VE METOD

İklim değişiminin sondaj kuyu sıcaklıkları ile araştırılabilmesi için kuyunun içindeki termal iletimin kondüktif olması ve konvektif etkilerin minimal düzeyde olması gerekmektedir. Bunlardan en önemlisi kuyunun bulunduğu kayaç yapısının su hareketine engel olacak şekilde olmasıdır. Kısmen ya da tamamen geçirgen kayaçlarda bulunan kuyular su hareketinden dolayı iklim çalışmalarına uygun değildir. Bu çalışma kapsamında ziyaret edilen kuyular yer altı su üretimi amacıyla açılan ancak verimliliklerinin düşük olması nedeniyle kullanılmayan veya bazen

de henüz yeni açıldığından üretime geçmemiş kuyulardır. Kuyuların yerleşimlerinin su bulmaya göre seçilmeleri bizim için dezavantaj oluşturmaktadır. Bu nedenle ziyaret edilen otuzun üzerinde kuyudan ancak altı tanesi iklim çalışmaları için gerekli olan şartları sağlamaktadır.

Türkiye'nin Batı ve Orta Anadolu bölgelerinde iklim değişikliğinin sondaj kuyularından araştırmak amacıyla 2015-2016 yılları arasında yapılan veri toplama çalışmalarında uygun bulunan altı kuyunun yerleşimleri Şekil 1'de gösterilmiştir. Kuyuların tümü şehir merkezlerinden uzak kırsal kesimlerde dir. En yakın olan kuyu Karlık olup Uşak merkezine 18 km uzaklıktadır. Boyalı kuyusu dışındaki kuyular açık ve düz arazide yerleşik olup üstleri açıktır. Boyalı kuyusu bir vadi içinde olup yüzey ağaçlarla kaplıdır.

Şekil 1'de ayrıca kuyuya en yakın ve en az 50 yıllık veri geçmişi olan meteorolojik istasyonlar gösterilmiştir.



Şekil 1. İklimsel modelleme çalışmaları için kullanılan kuyuların yerleşimleri ve bu kuyulara yakın olan ve veri uzunluğu kesintisiz olarak 50 yıldan fazla olan meteorolojik istasyonlar (istasyon numaralarındaki numaralar WMO kodlarını göstermektedir).

Kuyulara ait bazı demografik bilgiler ve ölçüm bilgileri Tablo 1'de verilmiştir. Kuyulardan Karlık ve Boyalı kuyularına ait daha önce ölçülen sıcaklık-derinlik ölçümleri mevcut olup bu kuyularda tekrarlı ölçümler yapılmıştır. Tüm kuyularda derinlik ölçüm aralıkları 1-5m arasında değişmektedir. İklimsel çalışmalarda derinlik ölçüm aralığının sonuçlarda etkisinin az olması nedeniyle (Clow, 1992) genellikle 5-m ölçüm aralığı yeterli görülmüştür. Kuyulara ait arkaplan termal değerleri (To, TG)'de hesaplanmış ve Tablo 1'e eklenmiştir.

Tablo 1. İklimsel modellemede kullanılan kuyulara ait demografik bilgiler. To=arkaplan yüzey sıcaklığı; TG: Arkaplan jeotermal gradyanı

Kuyu adı	İl	Enlem	Boylam	Açıldığı yıl	Ölçüm yılı	Derinlik (m)	Ölçüm aralığı (m)	To (°C)	TG (°C/km)	Litoloji
Babadere2	CAN	39.5965	26.1682	2016	2016	124	5	16	90	Kil
Altunkum	IZM	38.2863	26.2771	<2015	2015	111	1	17.2	33.6	Killi kireçtaşı
Çayobası	KRK	40.2456	33.6614	2016	2016	93	5	15.05	39	Killi alüvyon
Boyalı	MAN	38.8324	28.1412	<1995	1995/2016	104	2	16.3	36.8	Alüvyon
Alahabalı	USA	38.4725	28.8614	<1996	2015	195	5	15.55	34.9	Mika şist
Karlık	USA	38.6974	29.5992	<1996	1996/2015		2	12	47.7	Kil/Marn

3. SONUÇLAR

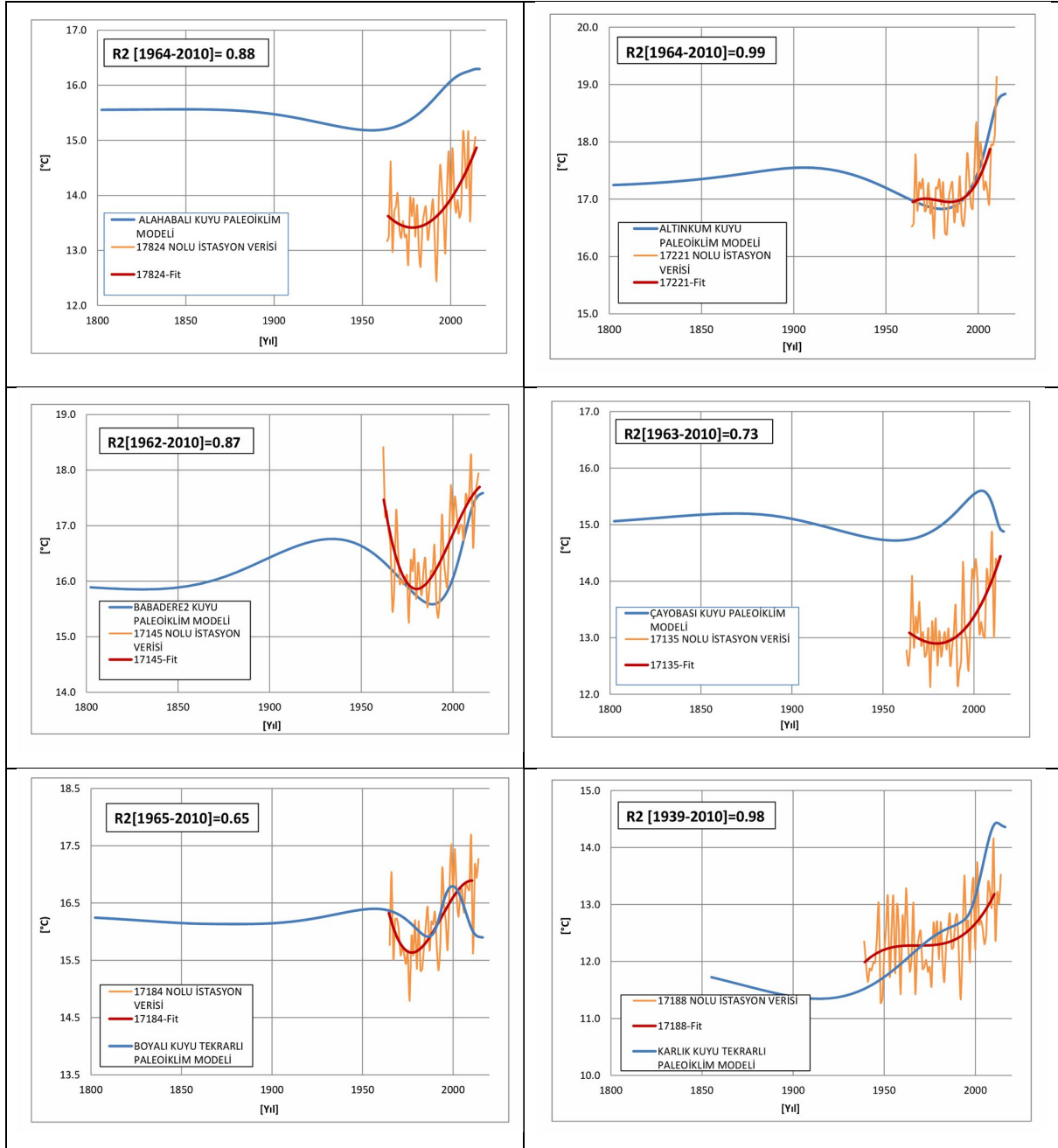
Kuyu sıcaklıklarının iklimsel modellemesinde Shen ve Beck (1991) tarafından geliştirilen FSI (Functional Space Inversion) yazılımı kullanılmıştır. Bu yazılım kuyu sıcaklık verilerini belirli regularizasyon yöntemlerini kullanarak yüzey sıcaklık değişimi için evrik olarak modellemektedir. Yazılım dünya genelinde yapılan kuyu iklim çalışmalarında farklı yerlerde uygulanmış ve sonuçların güvenilirliği test edilmiştir (Pollack ve Huang, 2000).

Modellemede Tablo 1’de verilen arkaplan değerleri kullanılmıştır. Kayaçların termal iletkenlikleri Balkan vd. (2016) çalışması temel alınarak belirlenmiştir.

FSI modelinin mevcut altı kuyuya uygulanması ile elde edilen sonuçlar Şekil 2’de görülmektedir (mavi eğriler). Kuyu derinliklerinin 100-200m olması nedeniyle modeller son yüz yıl için oluşturulmuştur. Bunlardan Boyalı ve Karlık kuyularına tekrarlı ölçüm modellemesi uygulanmıştır. Ancak Boyalı kuyusunun yerleşimindeki problemler nedeniyle ve Karlık kuyusunda ölçüm kalite problemleri nedeniyle model sonuçları güvenilir bulunmamıştır.

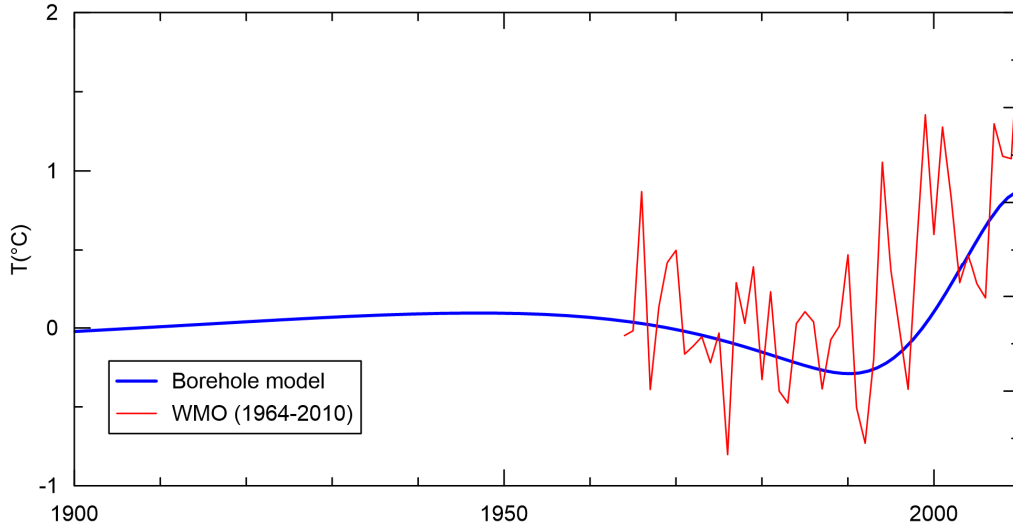
Şekil 2’de turuncu eğriler kuyuya en yakın meteorolojik istasyondan alınan enstrümantal meteorolojik değerleri göstermektedir. Kuyu iklim modeli ile enstrümantal verileri daha iyi karşılaştırabilmek amacıyla meteorolojik verilere ayrıca 3. derece polinomsal regresyon uygulanmıştır (kırmızı eğriler). Bu eğriler arasındaki korelasyon katsayıları hesaplanmış ve her bir panelin sol üst kısmında gösterilmiştir.

Bazı kuyularda paleoiklim modeli çıktıları ile enstrümantal veri arasında y-ekseni boyunca olan fark bu noktadaki yüzey hava sıcaklıkları (SAT) ile zemin yüzey sıcaklıklarının (GST) farklı olması ile açıklanabilir. Özellikle yüksek irtifalı bölgelerde kış aylarında karın örtme etkisi nedeniyle GST ortalaması 1-2 °C daha fazla olabilmektedir. Aradaki farklılık kısmen de ölçüm enstrümanları arasındaki kalibrasyon farkları nedeniyle olabilir.



Şekil 2. Paleoiklim model sonuçları (mavi eğriler), enstrümantal veriler (turuncu eğriler), ve enstrümantal verilere üçüncü derece polinomsal regresyon uygulayarak elde edilen veriler (kırmızı eğriler). Meteorolojik veriler yıllık ortalamalar alınarak gösterilmiştir. Panellerin sol üst kısımlarında verilen R2 değerleri belirtilen yıllar arası baz alınarak elde edilen korelasyon katsayılarını göstermektedir.

Model sonuçlarının güvenilir olduğu dört adet kuyuya ait (Alahabalı, Altinkum, Babadere2, Cayobası) ortalama model sonuçları Şekil 3'te gösterilmiştir. Buna göre Türkiye'nin batısında ortalama yüzey sıcaklığının 1980'li yıllara kadar hafif miktarda (0.2 °C) düştüğünü ve bundan sonra günümüze kadar hızlı bir artış gösterdiğini görülmektedir. Ortalama yüzey sıcaklıklarındaki 1990'dan beri artış 1.0 °C civarındadır.



Şekil 3. İklim modelleri oluşturulan dört adet kuyuya (Alahabalı/Altinkum/Babadere2/Cayobası) ait ortalama model sonuçları (mavi eğri) ve bu kuyulara yakın olan meteorolojik istasyonların ortalama verileri (kırmızı eğri). Kuyu modellerinde arkaplan sıcaklıkları (T_o , Tablo 1) çıkarılmıştır. Meteorolojik sıcaklıklar 1964-1990 arası ortalamasına göredir.

4. TARTIŞMA

Çalışma sonuçlarına göre yüzey zemin sıcaklıklarındaki (GST) artış ile meteorolojik verilerden elde edilen ortalama yüzey sıcaklıkları (SAT) oldukça yakın uyum göstermektedir. Kuyu sıcaklıklarına göre elde edilen sonuçlar meteorolojik verilerden bağımsız olarak Batı Anadolu'da da son yıllarda hava sıcaklıklarındaki artışı göstermektedir. Modellemede kullanılan kuyuların farklı mikro-iklimsel etkilerden (ormanlık alan gibi) uzak olmasına dikkat edilmiştir. Kuyular şehirleşme etkisinden uzak kırsal alanlarda olmasına rağmen yüzey sıcaklıklarında ısınma etkisi gözlenmiştir. Elde edilen paleoiklimsel modeller Türkiye'de son yüzyıla ait iklimin değişimine ışık tutmaktadır.

TEŞEKKÜR: Bu çalışma 113R019 no'lu proje ile TÜBİTAK tarafından ve FEN-C-YLP-110915-0437 no'lu projeye Marmara Üniversitesi BAPKO tarafından desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- Balkan, E., Erkan, K. and Salk, M., 2017. Thermal conductivity of major rock types in western and central Anatolia regions, Turkey. *Journal of Geophysics and Engineering*, 14(4), pp.909-919.
- Beardsmore, G.R., Cull, J.P., 2001. Crustal heat flow a guide to measurement and modeling. Cambridge: Cambridge University Press.
- Birch, A.F., 1948. The effects of Pleistocene climatic variations upon geothermal gradients. *American Journal of Science*, 246(12), pp.729-760.
- Clow, G.D., 1992. The extent of temporal smearing in surface-temperature histories derived from borehole temperature measurements. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 98(2-4), pp.81-86.
- González-Rouco, F., Von Storch, H. and Zorita, E., 2003. Deep soil temperature as proxy for surface air-temperature in a coupled model simulation of the last thousand years. *Geophysical Research Letters*, 30(21).
- Huang, S., Pollack, H.N. and Shen, P.Y., 1997. Late Quaternary temperature changes seen in world-wide continental heat flow measurements. *Geophysical Research Letters*, 24(15), pp.1947-1950.
- Lachenbruch, A.H., Marshall, B.V., 1986. "Changing climate: geothermal evidence from permafrost in the Alaskan Arctic", *Science*, 234, 689-696.
- Mann, M.E. and Schmidt, G.A., 2003. Ground vs. surface air temperature trends: Implications for borehole surface temperature reconstructions. *Geophysical Research Letters*, 30(12).
- Moberg, A., Sonechkin, D.M., Holmgren, K., Datsenko, N.M. and Karlen, W., 2005. Highly variable Northern Hemisphere temperatures reconstructed from low-and high-resolution proxy data. *Nature*, 433(7026), p.613.
- Pollack, H.N., Huang, S., 2000. "Climate reconstruction from subsurface temperatures", *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 28, 339-365.
- Pollack, H.N., Huang, S., Shen, P-Y., 1998. "Climate change record in subsurface temperatures: a global perspective", *Science*, 282, 279-281.
- Shen, P. Y., Beck, A. E., 1991. "Least squares inversion of borehole temperature measurements in functional space", *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 96(B12), 19965-19979.