



ASOS JOURNAL

The Journal of Academic Social Science

Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, Yıl: 14, Sayı: 178, Temmuz 2026, s. 112-128

ISSN: 2148-2489 Doi Number: <http://dx.doi.org/10.29228/ASOS.94609>

Yayın Geliş Tarihi / Article Arrival Date
31.05.2026

Yayınlanma Tarihi / The Publication Date
29.07.2026

Prof. Dr. Sabri KARADOĞAN

Dicle Üniversitesi, Ziya Gökalp Eğitim Fak.
skaradogan@dicle.edu.tr
Orcid: 0000-0002-0680-5745

Doç. Dr. Ahmet YILDIRIM

Dicle Üniversitesi, Ziya Gökalp Eğitim Fak.
ahmetyildirim21@hotmail.com
Orcid: 0009-0006-5371-3030

TARİH BOYUNCA İKLİM DEĞİŞİKLİKLERİ VE YER SİSTEMİ İLİŞKİSİ: DÜNYA İKLİMİNİN GELECEĞİNİ BOND DÖNGÜLERİ ÜZERİNDEN OKUMAK*

Öz

İklim değişiklikleri tarih boyunca yalnızca atmosferik bir olgu olarak değil, Yer Sistemi bileşenleri arasındaki karmaşık etkileşimlerin bir sonucu olarak gerçekleşmiştir. Geleneksel olarak nispeten durağan kabul edilen Holosen dönemi boyunca gözlemlenen ve "Bond Döngüleri" olarak bilinen binyıl ölçekli (1000-1500 yıl) iklim salınımları ile spesifik iklim anomalilerinin (8.2 ka, 4.2 ka, 3.25 ka ve Küçük Buzul Çağı) analizi, bu çalışmanın temelini oluşturmaktadır. Araştırma, küresel ve bölgesel çoklu vekil (multi-proxy) paleoçevre ve jeoarkeoloji verilerine dayanan kapsamlı bir literatür sentezi sunmaktadır. Kuzey Atlantik'teki buzul erimeleri, Atlantik Meridyonel Devrilme Dolaşımı'ndaki (AMOC) yavaşlamalar, güneş aktivitesindeki dalgalanmalar ve volkanizmanın tetiklediği bu doğal iklim krizleri; Anadolu, Mezopotamya ve Doğu Akdeniz'de Akad ve Hitit imparatorluklarının çöküşü gibi dramatik sosyo-politik sonuçlar doğurmuştur.

* Bu çalışma 78. Türkiye Jeoloji Kurultayı'nda bildiri olarak sunulmuştur.

Bununla birlikte çalışma, bu krizlerin her zaman mutlak bir çöküş yaratmadığını; medeniyetlerin kuraklığa dayanıklı tarım ve göçerlik gibi hayatta kalma ve adaptasyon stratejileri de geliştirdiğini ortaya koymaktadır. Sonuç olarak, geçmişteki bu doğal döngülerin genliği ($\pm 0.2^{\circ}\text{C}$) dikkate alındığında, 20. yüzyıldaki insan kaynaklı (antropojenik) sıcaklık artışının doğal sınırları eşgi görülmemiş bir hızla aştığı görülmektedir. Gelecekteki olası iklim krizlerini öngörebilmek ve yönetebilmek için, gezegenin doğal "kalp atışları" olan geçmiş iklim döngülerini ve toplumların adaptasyon pratiklerini anlamak hayati bir referans noktasıdır.

Anahtar kelimeler: İklim Değişikliği, Bond Döngüleri, Yer Sistemi, Holosen, Jeoarkeoloji, Anadolu.

CLIMATE CHANGES AND EARTH SYSTEM INTERACTIONS THROUGHOUT HISTORY: READING THE FUTURE OF GLOBAL CLIMATE THROUGH BOND CYCLES

Abstract

Climate changes throughout history have occurred not merely as atmospheric phenomena but as a result of complex interactions among Earth System components. This study focuses on the analysis of millennial-scale climate oscillations known as "Bond Cycles" (varying between 1000-1500 years) and specific extreme climate anomalies (the 8.2 ka, 4.2 ka, 3.25 ka events, and the Little Ice Age) observed during the Holocene, a period traditionally considered relatively stable. The research presents a comprehensive literature synthesis based on global and regional multi-proxy paleoenvironmental and geoarchaeological data. Triggered by North Atlantic ice melts, slowdowns in the Atlantic Meridional Overturning Circulation (AMOC), variations in solar activity, and volcanism, these natural climate crises led to dramatic socio-political consequences in Anatolia, Mesopotamia, and the Eastern Mediterranean, such as the collapse of the Akkadian and Hittite empires. However, the study also highlights that these crises did not always result in absolute collapse; civilizations developed survival and adaptation strategies, including drought-resistant agriculture and pastoralism. Ultimately, considering the amplitude of past natural cycles ($\pm 0.2^{\circ}\text{C}$), the 20th-century anthropogenic temperature rise has exceeded natural boundaries at an unprecedented rate. Understanding past climate cycles—the planet's natural "heartbeats"—and the adaptation practices of past societies constitutes a vital reference point for anticipating and managing potential future climate crises.

Keywords: Climate Change, Bond Cycles, Earth System, Holocene, Geoarchaeology, Climate Adaptation, Anatolia.

GİRİŞ

İklim değişikliği, günümüzde bilim dünyasının ve insanlığın üzerinde en çok tartıştığı, geleceğe yönelik en kritik kriz senaryolarını barındıran konuların başında gelmektedir. Tarih boyunca gerçekleşen iklim değişiklikleri, yalnızca atmosferik bir olgu olarak değil; okyanuslar, buzullar, litosfer, biyosfer ve atmosferden oluşan Yer Sistemi (Earth System) bileşenleri arasındaki karmaşık etkileşimler ve geri besleme (feedback) mekanizmaları bağlamında

incelenmesi gereken dinamik doğa olaylarıdır (Bengtsson ve Hammer, 2001). Yeryüzünde yaşamı ve coğrafyayı derinden etkileyen bu iklimsel oynamalar, salt Pleyistosen buzul çağlarıyla sınırlı kalmamış, iklimin nispeten ılıman ve kararlı olduğu varsayılan Holosen döneminde de devam etmiştir (Karadoğan ve Yıldırım, 2026).

Yaklaşık 11.700 yıl önce başlayan, tarım devrimine ve karmaşık insan medeniyetlerinin ortaya çıkışına zemin hazırlayan Holosen epoku, geleneksel paleoklimatoloji anlayışında iklimsel açıdan oldukça durağan bir dönem olarak kabul edilmekteydi (Wanner vd., 2011). Ancak son çeyrek yüzyılda buz karotları, okyanus ve göl derin deniz tortulları (sedimentler) ve mağara çökellerinden (speleotemler) elde edilen yüksek çözünürlüklü çoklu vekil (multi-proxy) verileri, bu dönemin sanılanın aksine durağan geçmediğini göstermiştir. Veriler, Holosen'in milenyum (binyıl) ve yüz yıllık ölçeklerde dikkate değer sıcaklık ve nem dalgalanmaları barındırdığını açıkça ortaya koymaktadır (Mayewski vd., 2004).

Bu dinamiklerin merkezinde yer alan milenyum ölçekli iklim salınımları, ilk kez Gerard Bond ve çalışma arkadaşları tarafından Kuzey Atlantik derin deniz tortularında tespit edilmiş ve literatüre "**Bond Döngüleri**" olarak geçmiştir (Bond vd., 1997). Bu döngüler, Kuzey Atlantik'teki buzdağlarının erimesiyle tetiklenen, okyanus yüzey sularının soğuduğu ve yaklaşık 1000-1500 yıl aralığında değişkenlik gösteren düzensiz soğuma dönemleridir (Bond vd., 1997; Wanner ve Bütikofer, 2008). Başlangıçta bu döngülerin 1470 yıllık kesin periyotlarla tekrarlayan bir "iklim saati" olduğu öne sürülse de, güncel literatür bu olayların her zaman sabit bir periyoda sahip olmadığını ve Holosen boyunca farklı süreçlerin bir araya gelmesiyle şekillendiğini göstermektedir (Wanner ve Bütikofer, 2008).

Holosen boyunca gözlemlenen bu ani soğuma olayları ve iklim anomalileri, yerkürenin enerji bilançosunu etkileyen dışsal faktörler ile **Atlantik Meridyonel Devrilme Dolaşımı'ndaki (AMOC)** zayıflamaların ortak bir sonucudur (Bond vd., 2001; Clark vd., 2001). Araştırmalar, Erken Holosen'deki şiddetli soğuma olaylarının (örneğin M.Ö. 6200 yıllarındaki 8.2 ka olayı) devasa buzul göllerinin okyanusa ani tatlı su boşaltmasıyla (meltwater pulse) AMOC'u yavaşlatmasından kaynaklandığını; Geç Holosen'deki krizlerin (örneğin 4.2 ka olayı veya Küçük Buzul Çağı) ise zayıflayan **güneş aktivitesi (TSI)** ve şiddetli **volkanik patlamalar** gibi faktörlerin karmaşık etkileşimiyle tetiklendiğini işaret etmektedir (Wanner ve Bütikofer, 2008; Gorbarenko vd., 2024).

Geçmişte yaşanan bu ekstrem iklim anomalileri ve Bond döngüleri, Anadolu, Doğu Akdeniz ve Mezopotamya havzasındaki insanlık tarihi üzerinde dramatik ve dönüştürücü etkilere sahip olmuştur (Weiss vd., 1993). Paleoklimatolojik ve jeoarkeolojik bulgular; 8.2 ka, 5.9 ka, 4.2 ka, 3.25 ka ve 2.8 ka gibi belirgin kuraklık ve soğuma olaylarının, medeniyetlerin çöküşüne (örneğin Akad ve Hitit imparatorlukları), büyük göç dalgalarına ve toplumların kuraklığa dayanıklı tarım ya da göçerlik gibi yeni adaptasyon stratejileri geliştirmesine neden olduğunu göstermektedir (DeMenocal, 2001; Staubwasser vd., 2003). Bu krizler, iklimin insanlık tarihi üzerinde sadece çevresel bir arka plan olmadığını, aynı zamanda sosyo-politik yapıları belirleyen aktif bir zorlayıcı güç olduğunu kanıtlamaktadır.

Günümüzde ise yerkürenin 20. yüzyıldan itibaren tecrübe ettiği küresel sıcaklık artışı, geçmişteki doğal Holosen döngülerinin genliğini ($\pm 0.2^{\circ}\text{C}$) eşi görülmemiş bir hızla aşmış durumdadır (Viau vd., 2006; Marcott vd., 2013). İnsan kaynaklı (antropojenik) sera gazı emisyonları gezegenin doğal ritmini maskelemekte ve AMOC gibi kritik akıntı sistemlerinin dengesini yeniden, ancak bu kez geri dönülemez şekilde bozma potansiyeli taşımaktadır (Caesar

vd., 2018). Bu bağlamda eldeki çalışmanın amacı; çoklu vekil (multi-proxy) paleoçevre yaklaşımlarını temel alan kapsamlı bir literatür sentezi ile, Kuzey Atlantik buzul erimeleri, okyanus akıntıları ve güneş aktivitesi arasındaki ilişkileri çözmektir. Tarih boyunca iklim değişikliklerinin Yer Sistemi ile ilişkisini "**Dünya'nın kalp atışları**" niteliğindeki Bond Döngüleri üzerinden okumak; günümüz antropojenik ısınmasının boyutunu kavramak, gelecekteki olası iklim krizlerini öngörebilmek ve sürdürülebilir bir gelecek inşa edebilmek için en temel bilimsel referans çerçevesini oluşturacaktır (Karadoğan ve Yıldırım, 2026).

YÖNTEM

Bu çalışma, özgün bir arazi veya laboratuvar verisine değil; küresel ve bölgesel ölçekte yapılmış güncel paleoklimatoloji, jeoarkeoloji ve paleoçevre araştırmalarının kapsamlı bir literatür sentezine dayanmaktadır. İncelenen literatürde geçmiş iklimleri yeniden inşa etmek için "Çoklu Vekil Paleoçevre Yaklaşımı" (Multi-proxy approach) kullanılmış olup, veriler şu doğal arşivlerden derlenmiştir:

Buz Karotları (GISP2, GRIP vb.): Kutuplardaki sıcaklık evrimini kaydeden $\delta^{18}O$ (Oksijen izotop) oranları ve geçmiş atmosfer gazları.

Denizel ve Gölsel Tortullar (Sedimentler): Kuzey Atlantik derin deniz tortularındaki Buzul Taşımali Döküntüler (IRD) ile geçmiş sıcaklığı ve bitki örtüsünü gösteren polen (çiçek tozu) analizleri.

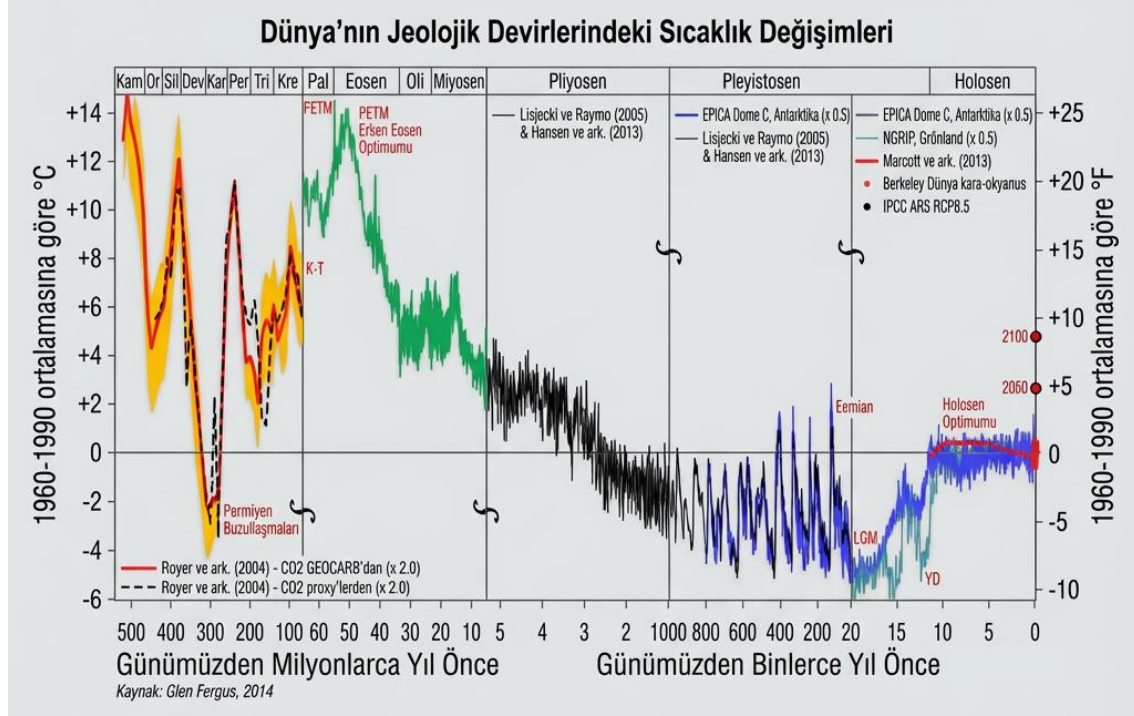
Mağara Çökelleri (Speleotemler): Anadolu ve çevresindeki mağaralardaki (sarkıt ve dikitler) karbon ($\delta^{13}C$) ve oksijen ($\delta^{18}O$) oranları ile milimetrik nem/kuraklık tayini.

Arkeolojik ve Tarihsel Veriler: Literatürden elde edilen iklim eğrileri; Anadolu, Akdeniz ve Mezopotamya uygarlıklarına ait arkeolojik yerleşimlerin terk ediliş, yıkılış veya mimari adaptasyon kayıtlarıyla eşleştirilmiştir.

Literatür tarama stratejisi, Web of Science, Scopus, Google Scholar ve ilgili kurum arşivleri (örneğin TÜBİTAK, TÜBA) gibi başlıca akademik veri tabanları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Tarama, "Bond Cycles", "Holocene climate variability", "multi-proxy paleoenvironmental reconstruction", "Anatolian geoarchaeology", "4.2 ka event", "8.2 ka event", "Little Ice Age" ve Türkçe karşılıkları ("Bond döngüleri", "Holosen iklim değişkenliği", "çoklu vekil paleoçevre rekonstrüksiyonu" vb.) gibi anahtar kelimelerin kombine edildiği Boolean operatörleriyle (AND, OR, NOT) yapılmıştır. Tarama dönemi 1990-2026 yılları arasında kapsamakta olup, gri literatür (kongre bildirileri, raporlar) de sınırlı ölçüde dahil edilmiştir.

Senteze dâhil edilen çalışmalar, yüksek çözünürlüklü (sub-decadal ila centennial ölçekli) multi-proxy verilere dayalı, Holosen epoku (yaklaşık M.Ö. 9700 - günümüz) ile kronolojik olarak uyumlu, hakemli dergilerde yayımlanmış makaleler ve kitap bölümleriyle sınırlı tutulmuştur. Dışlama kriterleri arasında düşük çözünürlüklü veya tek vekil (single-proxy) çalışmalar, belirgin metodolojik hatalar içeren yayınlar, Holosen dışı dönemlere odaklanan araştırmalar ve yetersiz veri kalitesine sahip kaynaklar yer almaktadır. Dahil etme süreçleri, PRISMA benzeri sistematik derleme protokolüne uygun olarak gerçekleştirilmiştir.

3. BULGULAR VE YORUM: GEÇMİŞ İKLİM OLAYLARI VE ANADOLU'YA ETKİLERİ



Şekil 1. Jeolojik dönemler boyunca küresel sıcaklık değişiklikleri (Glen Fergus, 2014'ten uyarlanmıştır. CC BY-SA).

Holosen boyunca meydana gelen binyıl ölçekli soğuma olayları ve spesifik iklim anomalileri, küresel iklim sistemini derinden etkilemiş ve insanlık tarihi üzerinde dönüştürücü sonuçlar doğurmuştur. Kapsamlı literatür taraması, özellikle Kuzey Atlantik'teki okyanus-atmosfer dinamiklerindeki bozulmaların medeniyetlerin gidişatını nasıl şekillendirdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Bu bağlamda, literatürde en çok dikkat çeken ve medeniyetlerin gidişatını etkileyen ekstrem olayların başında 8.2 ka olayı gelmektedir.

3.1. 8.2 ka Olayı (M.Ö. 6200)

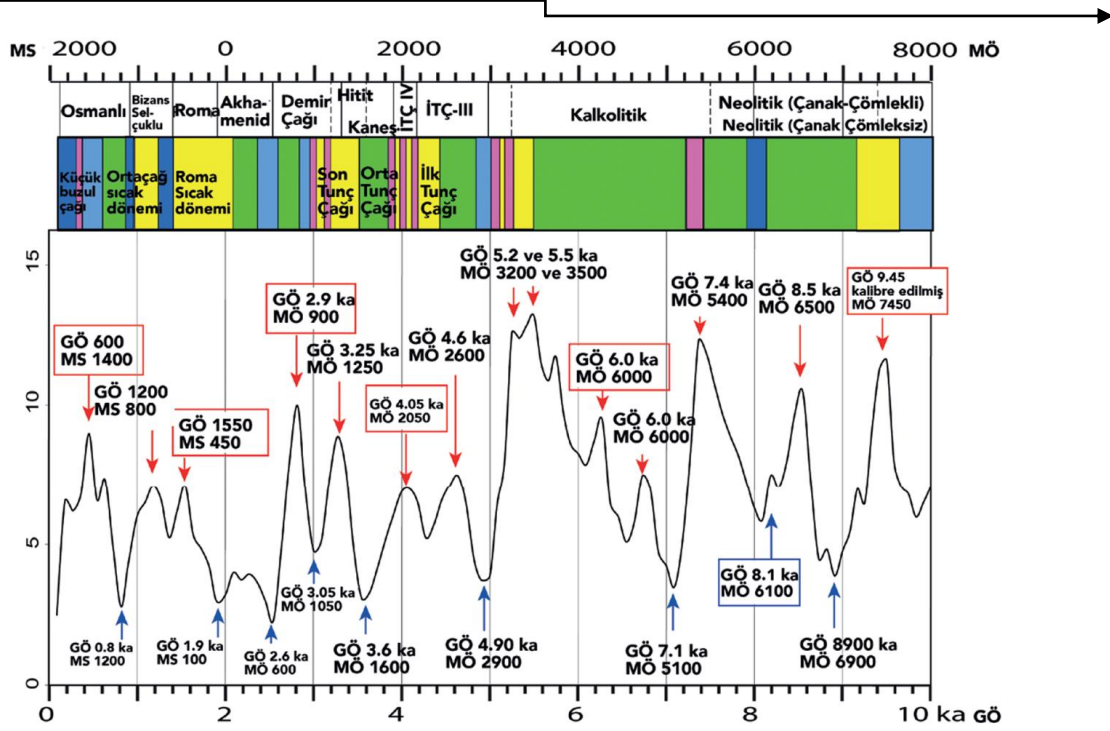
Dünyadaki Etkileri: Günümüzden yaklaşık 8200 yıl önce (M.Ö. 6200) gerçekleşen 8.2 ka olayı, nispeten ılıman geçen Holosen epokunun en belirgin ve ani iklim değişimi (soğuma/kuraklaşma) olarak kabul edilmektedir (Alley ve Ágústssdóttir, 2005). Bu olayın temel tetikleyicisi, Kuzey Amerika'daki devasa Laurentide Buz Örtüsü'nün erimesi ve Agassiz ile Ojibway gibi buzul göllerinin sularının katastrofik bir şekilde Kuzey Atlantik'e boşalmasıdır (Barber vd., 1999; Matero vd., 2017). Bu devasa tatlı su deşarjı, Atlantik Meridyenel Devrilme Dolaşımı'nın (AMOC) zayıflamasına ve yüzey sularının tuzluluğunun azalarak batma sürecinin (derin su oluşumunun) sekteye uğramasına neden olmuş, bu da küresel ölçekte şiddetli bir soğuma evresini başlatmıştır (Clark vd., 2001; Alley ve Ágústssdóttir, 2005).

Grönland buz karotlarından elde edilen veriler, bu dönemde sıcaklıkların aniden 5.4 ile 11.7°C (ortalama 7.4°C) arasında düştüğünü, kar birikiminin azaldığını ve atmosferik toz, deniz tuzu ile orman yangını dumanlarında büyük bir artış yaşandığını göstermektedir (Leuenberger vd., 1999; Alley ve Ágústsdóttir, 2005). Eş zamanlı olarak atmosferik metan seviyelerindeki düşüş, tropikal bölgelerdeki sulak alanların hızla kurduğuna işaret etmektedir (Alley ve Ágústsdóttir, 2005). Olayın etkileri Avrupa genelinde yaz sıcaklıklarında ortalama 1.5-2°C'lik düşüşler, Kuzey Avrupa ve Akdeniz havzasında (İspanya, İtalya, Kuzey Afrika) şiddetli kuraklık, Orta Avrupa ve Alplerde ise artan yağışlarla göl seviyelerinde yükselme şeklinde oldukça karmaşık bir hidrolojik desenle kendini göstermiştir (Tinner ve Lotter, 2001; Magny ve Begeot, 2004). Küresel rüzgâr ve yağış sistemlerindeki bu bozulma, Tropikal Yakınsama Kuşağı'nın (ITCZ) hızla güneye kaymasına neden olmuş; Afrika ve Asya yaz musonlarının zayıflamasıyla birlikte (Haug vd., 2001; Gupta vd., 2003) geniş coğrafyalarda kuraklık baş göstermiştir.

Anadolu'daki Etkileri: Kuzey Atlantik kaynaklı bu küresel anomali, Yakın Doğu ve Anadolu'da özellikle şiddetli bir kuraklaşma (aridifikasyon) ve yaz aylarında daha kuru koşullar olarak kendini göstermiştir. Yaklaşık 150-400 yıl süren bu kuraklık periyodu, tarım ve hayvancılık gibi temel geçim kaynaklarını zorlayarak Anadolu'daki erken çiftçi (Neolitik) toplumların direncini test etmiş, yerleşim terklerine ve çok ciddi kültürel dönüşümlere yol açmıştır.

Arkeolojik bağlamda bu iklim krizi, Anadolu'da Çanak Çömleksiz Neolitik (PPN) dönemin sonu ile Çanak Çömlekli Neolitik (Pottery Neolithic) döneme geçiş sürecine denk gelmektedir. Güneydoğu Anadolu'da, Göbekli Tepe sonrası evrelere denk gelen Nevalı Çori gibi PPNB yerleşimlerinin su kaynaklarının azalması ve bitki örtüsünün değişmesiyle terk edildiği veya küçüldüğü görülmüştür. Kuraklık, avcı-toplayıcılıktan tarıma yeni geçmiş olan bu toplumları Kıbrıs ve Orta Anadolu'ya doğru göç etmeye zorlamıştır. Gökçeada (İmbros) gibi batıdaki adalarda dahi arkeolojik kayıtlarda kuraklığa bağlı bitki örtüsü değişimleri tespit edilmiştir (Erdoğu vd. 2022).

Orta Anadolu'da yer alan ikonik Çatalhöyük yerleşmesinde ise 8.2 ka olayının izleri "iklim stresine adaptasyon" stratejileri olarak çok daha somut bir şekilde gözlemlenmektedir. İklim krizinin hayvancılığı vurması sonucu Çatalhöyük'teki hayvan kemiklerinde yetersiz beslenme izlerine rastlanmış, pişirme kaplarında yapılan lipit analizleri ise toplumun diyetinin değişerek tarımın azaldığını ve avcılığa yönelimin arttığını doğrulamıştır. Aynı dönemde Çatalhöyük'te yapı stillerinde ve kullanılan materyallerde de dönüşüm yaşanmış; daha küçük evlerin inşasına ve yeni tip seramiklerin kullanımına geçilmiştir. Bu durum, toplumların iklim krizleri karşısında mutlak bir çöküş yaşamak yerine; daha mobil bir hayvancılığa (göçerlik) yönelme, kuraklığa dayanıklı bitkiler kullanma ve mekânsal küçülme gibi stratejilerle hayatta kalmayı başardıklarını göstermektedir. Geliştirilen bu zorunlu adaptasyonlar, Anadolu'da Kalkolitik (Bakır Çağı) döneme geçişin de en önemli çevresel dinamosu olmuştur.



Şekil 2. Holosen'de iklim dalgalanmaları, önemli Bond Olayları ve Anadolu ile Yakın Doğu'daki arkeolojik dönemlerle ilişkisi (Kuzucuoğlu, 2019)

3.2. 4.2 ka Olayı (M.Ö. 2200)

Dünyadaki Etkileri: Günümüzden yaklaşık 4200 yıl önce (M.Ö. 2200) başlayan ve Holosen epokunun en şiddetli "megakuraklık" olaylarından biri olarak kabul edilen 4.2 ka olayı, küresel iklim sisteminde derin izler bırakmıştır. Öyle ki bu şiddetli kuraklaşma evresi, jeolojik zaman cetvelinde Holosen'in en güncel evresi olan "Megalayan (Meghalayan) Çağı"nın başlangıcını tanımlamak için kullanılmaktadır (Walker vd., 2018). Bu ani iklimsel bozulmanın temelinde; Atlantik Meridyenel Devrilme Dolaşımı'ndaki (AMOC) zayıflama, Tropikal Yakınsama Kuşağı'nın (ITCZ) aniden güneye kayması ve El Niño-Güney Salınımı (ENSO) değişkenliğindeki artış yatmaktadır (Bini vd., 2019; Jalali vd., 2019). Kuzey Atlantik'teki soğuma (Bond Olayı 3) ile eş zamanlı gelişen bu kuraklık, özellikle Yengeç Dönencesi çevresindeki orta enlemleri şiddetli bir şekilde vurmuştur.

Olayın yerküre üzerindeki ilk büyük medeniyetler üzerindeki sosyo-politik etkileri son derece yıkıcı olmuştur. Mezopotamya'da azalan yağışlar ve artan şiddetli toz fırtınaları, Dicle ve Fırat nehirlerinin debisini düşürerek tarımsal çöküşe ve kuzeyden güneye büyük bir göç dalgasına (habitat arayışına) yol açmış, bu kriz Akkad İmparatorluğu'nun yıkılmasına neden olmuştur (Weiss vd., 1993; Cullen vd., 2000). Mısır'da, Afrika muson sistemlerinin zayıflamasıyla Nil Nehri'nin taşkın seviyeleri dramatik bir şekilde düşmüş, bu durum kronik gıda kıtlığına ve Eski Krallık'ın (Old Kingdom) çökerek "Birinci Ara Dönem" anarşisine girmesine zemin hazırlamıştır (Stanley vd., 2003; Zhao vd., 2022). Doğuya doğru gidildiğinde, Hint Yaz Musonu'nun zayıflaması İndus Vadisi Medeniyeti'nin (Harappa ve Mohenjo-Daro) çöküşünü ve nüfusun su arayışıyla doğuya doğru göç etmesini tetiklerken (Staubwasser vd., 2003; Giosan vd., 2012); Çin'de Doğu Asya Yaz Musonu'nun (EASM) güneye çekilmesiyle Liangzhu ve Longshan gibi Neolitik kültürler dağılmış, merkezi otorite yerini daha esnek,

adem-i merkeziyetçi yerleşim modellerine bırakmak zorunda kalmıştır (Wu ve Liu, 2004; Sun vd., 2019).

Anadolu'daki Etkileri: Küresel ölçekteki bu megakuraklık, Anadolu'da Erken Tunç Çağı'nın sonlarından (Geç EBA) Orta Tunç Çağı'na (MBA) geçiş dönemine (yaklaşık M.Ö. 2300-1900) denk gelmektedir. Doğu Akdeniz ve Kuzey Atlantik dinamiklerindeki bozulmaların etkisiyle Anadolu platosunda (özellikle Batı ve Orta Anadolu) belirgin bir kuraklık, Van, Nar ve İznik gibi göllerin seviyelerinde dramatik düşüşler ve orman örtüsünün yerini giderek kuraklığa dayanıklı otlak alanlarına bırakması şeklinde şiddetli çevresel stresler yaşanmıştır.

İklimsel bozulmaların tarım ve su kaynakları üzerindeki baskısı, yerleşim sistemlerinde köklü değişimlere yol açmıştır. Arkeolojik ve paleoçevre verileri, Batı ve Orta Anadolu'da Erken Tunç Çağı yerleşimlerinin %60 ila %87'sinin terk edildiğini veya ciddi şekilde küçüldüğünü göstermektedir. Troya'da (Truva) yangınlarla birlikte görülen yıkımlar (Blum & Riehl, 2015), Seyitömer, Küllüoba, Karataş-Semayük ve Demircihöyük gibi önemli merkezlerdeki terkler veya daralmalar bu dönemin tipik örnekleridir. Nüfus, hayatta kalabilmek adına anıtsal yapılardan ve surlu büyük şehirlerden vazgeçerek doğrudan su kaynaklarının etrafında toplanmış (nükleasyon) ve daha küçük, sursuz köyler kurmuştur.

Bu kriz döneminde, mutlak bir çöküşten ziyade "hayatta kalma ve adaptasyon" stratejileri ön plana çıkmıştır. Anadolu toplumları, suya daha fazla ihtiyaç duyan ürünler yerine kuraklığa çok daha dayanıklı olan arpa ve kabuklu buğday gibi tahıllara ile acı bakla gibi bakliyatlara yönelmiştir. Hayvancılık pratikleri de değişen iklime hızla uyum sağlamış; suya ve kaliteli otlaklara ihtiyaç duyan sığır yetiştiriciliği azalırken, kurak ve zorlu koşullara toleranslı olan koyun ve keçi yetiştiriciliği oranında büyük bir artış görülmüştür. Diyetin protein eksikliğini kapatmak için yaban domuzu ve geyik gibi hayvanların avlanması da artmıştır. Obsiden ve kalay-bronz gibi uzun mesafeli ticaret ağları bozulmuş, metalurji geçici olarak gerilemiş ve yerleşik tarımdan ziyade, daha esnek olan göçer (nomadik) hayvancılığa geçiş hızlanmıştır. Sonuç olarak, 4.2 ka olayı Anadolu'da kaynak rekabetinin ve yangınların arttığı, eski düzenin tasfiye edilip toplumların yeni tarım ve yerleşim stratejileriyle ayakta kalmayı başardığı bir dönüşüm evresi olmuştur. Bu kuraklık ve zorlu koşulların yarattığı demografik ve politik boşluk, takip eden yüzyıllarda Orta Tunç Çağı'nda Anadolu'da hâkimiyet kuracak olan Hitit İmparatorluğu'nun tarih sahnesine çıkışına da elverişli bir zemin hazırlamıştır.

3.3. 3.25 ka Olayı (M.Ö. 1200)

Dünyadaki Etkileri: Günümüzden yaklaşık 3200 yıl önce (M.Ö. 1250-1200 civarı) başlayan ve insanlık tarihinde "Geç Tunç Çağı Çöküşü" olarak da bilinen 3.25 ka olayı, Holosen döneminin en yıkıcı kuraklaşma (aridifikasyon) ve soğuma evrelerinden biridir (Kanievski vd., 2010). Bu olay, Kuzey Atlantik okyanus dolaşımındaki bozulmalar ve küresel muson sistemlerindeki zayıflamayla bağlantılı olarak gelişmiş olup, Doğu Akdeniz ve Yakın Doğu'da yaklaşık 300 yıl süren bir "megakuraklık" (megadrought) dönemine yol açmıştır. İklimsel kayıtlar, bu dönemin "W-şeklinde" bir yapı gösterdiğini; yani iki şiddetli kuru faz arasında (yaklaşık M.Ö. 1000-950 civarında) kısa süreli bir nemli dönemin de yaşandığını ortaya koymaktadır (Karadoğan ve Yıldırım, 2026).

3.25 ka olayının küresel ve bölgesel sosyo-politik etkileri, dönemin saray ekonomileri üzerinde son derece yıkıcı olmuştur. Ege ve Balkanlar'da, Miken Yunanistanı'ndaki Pylos ve Miken gibi büyük saray merkezleri yangınlar ve yıkımlarla çökmüş, artan iklim stresi Ege

havzasında büyük göç dalgalarını tetiklemiştir (Kaniewski vd., 2010). Doğu Akdeniz (Levant) kıyılarında Ugarit ve Byblos gibi zengin ticaret şehirleri yıkılmış, tarımsal üretimin çökmesi "Deniz Halkları" (Sea Peoples) olarak bilinen toplulukların kitlesel göçlerine ve şiddetli çatışmalara zemin hazırlamıştır. Mısır'da Yeni Krallık dönemi (özellikle III. Ramses zamanı), Nil taşkınlarının zayıflamasıyla oluşan gıda kıtlığı ve Deniz Halkları'nın istilaları neticesinde büyük bir sarsıntı geçirmiştir. Mezopotamya'da ise Assur ve Babil coğrafyalarında yaşanan şiddetli kuraklık siyasi istikrarsızlığa yol açmış ve Habur Ovaları'ndaki yerleşimlerin terk edilmesine neden olmuştur.

Anadolu'daki Etkileri: Küresel sistemdeki bu bozulmaların bir yansıması olan 3.25 ka olayı, Anadolu platolarında (özellikle Orta ve Doğu Anadolu) belirgin bir kuraklık artışı yaratmış, medeniyetlerin dayandığı tarım ve su kaynaklarına büyük bir darbe vurmuştur. Van Gölü ve Nar Gölü gibi havzalardan elde edilen paleoiklim verileri (göl tortulları, mağara sarkıtları ve polen analizleri), bu dönemde göl seviyelerinde ciddi düşüşler yaşandığını, orman örtüsünün yerini giderek kuraklığa dayanıklı otlak alanlarına bıraktığını göstermektedir. Arkeobotanik kayıtlardaki buğday ve arpa gibi bitki kalıntılarına uygulanan karbon izotop ($\delta^{13}C$) analizleri, tarım ürünleri üzerinde aşırı bir su stresinin yaşandığını doğrulamaktadır.

M.Ö. 1200 civarında en geniş sınırlarına ve en yüksek refah seviyesine ulaşan Büyük Hitit İmparatorluğu, tam bu zirve noktasında başlayan 3.25 ka megakuraklığının kurbanı olmuştur. İmparatorluğun bel kemiği olan tarım sisteminin ve su kaynaklarının çökmesi gıda kıtlığını tetiklemiş; başkent Hattuşa (Boğazköy) yangınlar, yıkımlar ve kıtlık eşliğinde terk edilmiştir. Bu çetin kriz süreci, Hitit İmparatorluğu'nun M.Ö. 1070 civarında tarih sahnesinden silinmesine ve yerini daha küçük, parçalı "Geç Hitit Krallıkları"na bırakmasına yol açmıştır (Karadoğan ve Yıldırım, 2026).

Anadolu'nun diğer bölgelerinde de Geç Tunç Çağı'ndan Erken Demir Çağı'na geçişte yerleşimlerin küçüldüğü veya terk edildiği görülmüştür. Batı Anadolu'da Troya (Truva) civarında surlar ve elit yapılar azalırken, Güneydoğu Anadolu'da (örneğin Arslantepe) yaşam kesintileri yaşanmıştır. Ancak bu kriz döneminde toplumlar tamamen yok olmamış, yeni adaptasyon stratejileri geliştirerek hayatta kalmayı başarmıştır. Suyu daha çok ihtiyaç duyan tarım ürünlerinden ziyade kuraklığa dayanıklı arpa ve kabuklu buğdaya yönelim olmuş, hayvancılıkta sığırın yerini kurak şartlara daha toleranslı olan koyun ve keçi sürülerinin aldığı görülmüştür. Kalay, bronz ve tahıl üzerine kurulu uzun mesafeli ticaret ağlarının çökmesiyle, toplumlar daha içe dönük yerel ekonomilere ve konar-göçer yaşama geçiş yapmıştır (Karadoğan ve Yıldırım, 2026). Mukiş Krallığı'ndaki Alalah ve Açana gibi bazı sınır şehirleri ise bu tarımsal adaptasyonları uygulayarak ayakta kalmayı başarmıştır.

3.4. Küçük Buzul Çağı - LIA (M.S. 1300-1850 / 0.55 ka Olayı)

Dünyadaki Etkileri: Küçük Buzul Çağı (Little Ice Age - LIA), genel olarak 14. yüzyıldan 19. yüzyıla kadar süren ve Holosen döneminin 8.2 ka olayından sonraki en belirgin, çok asırlık soğuma evrelerinden birini temsil eden küresel bir iklim anomalisidir (Kaufman vd., 2009; Wanner vd., 2011). Bond Döngülerinin sonuncusu (Bond Olayı 0) ile çakışan bu periyot, tek bir nedenden ziyade; Spörer, Maunder ve Wolf minimumları gibi Güneş aktivitesindeki uzun süreli düşüşler ile Kuwae (1452) ve Tambora (1815) gibi büyük tropikal volkanik patlamaların üst üste gelmesiyle tetiklenmiştir (Wanner vd., 2011; Miller vd., 2012; Slawinska ve Robock, 2018). Bu dışsal zorlamalar, Kuzey Atlantik'teki deniz buzu örtüsünü genişleterek termohalin dolaşımını (AMOC) yavaşlatmış ve küresel ölçekte bir soğuma yaratmıştır (Renssen vd., 2007).

Küçük Buzul Çağı'nın yerküre üzerindeki etkileri son derece yıkıcı olmuştur. Kuzey Yarımküre'de yaz sıcaklıkları belirgin şekilde düşmüş, Alpler, And Dağları ve diğer yüksek enlemlerdeki buzullar hızla ilerlemiştir (Grove, 2004; Masiokas vd., 2008). Avrupa'da nehirlerin (örneğin Londra'daki Thames Nehri'nin) donduğu sert kışlar yaşanmış, kıtayı vuran aşırı soğuklar ve art arda gelen hasat başarısızlıkları şiddetli kıtlıklara yol açmıştır (Pfister, 1995; Fagan, 2000). Toplumsal düzeyde bu iklimsel bozulma; İskandinav (Norse) kolonilerinin Grönland'ı terk etmek zorunda kalması, Avrupa'da Alplerdeki kalıcı yerleşimlerin boşaltılması ve Otuz Yıl Savaşları (1618-1648) öncesinde artan sosyo-ekonomik stresler gibi dramatik sonuçlar doğurmuştur (Grove, 2004; Wanner vd., 2011). Doğu Asya'da ise Çin'i vuran kuraklık ve soğuma dalgaları, tarımsal çöküşle birlikte Ming Hanedanı döneminde ciddi nüfus azalışlarına zemin hazırlamıştır.

Osmanlı ve Anadolu'daki Etkileri: Küresel ölçekte yaşanan bu soğuma ve kuraklaşma trendi, 0.55 ka olayı olarak da bilinen en şiddetli fazında (M.S. 1450-1750) Anadolu ve Osmanlı İmparatorluğu coğrafyasında derinden hissedilmiştir. Doğu Anadolu'daki Van Gölü ve Hazar Gölü sedimentlerinden elde edilen paleoiklim verileri, bu dönemde göl seviyelerinin düştüğünü, bitki örtüsünün zayıfladığını ve şiddetli kurak fazların yaşandığını göstermektedir.

Osmanlı İmparatorluğu'nun zirve döneminden duraklama ve gerileme dönemine geçişine denk gelen bu iklimsel kriz, Anadolu'da son derece sert ve kuru kışlarla kendini göstermiştir. Tarihsel kayıtlara göre bu dönemde Fırat ve Dicle nehirlerinin donması gibi ekstrem hava olayları yaşanmış, bahar donları ve azalan kış yağışları tahıl üretimini doğrudan vurmuştur. Tarımsal üretimin çökmesi, kırsal kesimde yaşayan halkın gıda güvenliğini ortadan kaldırarak vergi ödeme kapasitesini düşürmüş ve ekonomik bir darboğaz yaratmıştır (Karadoğan ve Yıldırım, 2026).

Tarımsal iflas, kıtlık ve bu dönemde baş gösteren salgın hastalıklar, Anadolu'da büyük bir demografik ve sosyal krize dönüşmüştür. Küçük Buzul Çağı'nın yarattığı bu iklimsel stres ve ekonomik yıkım, 16. yüzyılın sonları ile 17. yüzyılın başlarında (M.S. 1590-1610) Anadolu'yu kasıp kavuran, köylerin boşalmasına ("Büyük Kaçgun") ve tarım arazilerinin terk edilmesine yol açan ünlü **Celali İsyanları**'nın en önemli sosyo-ekonomik zeminini hazırlamıştır (Karadoğan ve Yıldırım, 2026). Dolayısıyla Küçük Buzul Çağı, Osmanlı İmparatorluğu'nda salt bir meteorolojik soğuma değil; devletin idari, askeri ve demografik yapısını sarsan temel bir çevresel zorlayıcı olmuştur.

4. TARTIŞMA

Holosen dönemi boyunca gözlemlenen milenyum ölçekli iklim anomalilerinin ve medeniyet krizlerinin analizi, paleoklimatoloji ve jeoarkeoloji literatüründe iki temel tartışma eksenini etrafında şekillenmektedir: Birincisi, bu iklim olaylarının fiziksel tetikleyicileri ve periyodik doğası; ikincisi ise iklimsel şokların insan toplumları üzerindeki etkisinin "çevresel determinizm (mutlak çöküş)" ile "toplumsal adaptasyon" arasındaki yeridir.

4.1. Bond Döngülerinin Doğası ve Tetikleyici Mekanizmalar

Gerard Bond ve ekibinin Kuzey Atlantik derin deniz tortularında tespit ettiği ve Holosen boyunca yaklaşık 1470 yıllık periyotlarla tekrarlandığını öne sürdüğü "Bond Döngüleri" (Bond vd., 1997; Bond vd., 2001), literatürde uzun süre Holosen iklim değişkenliğinin temel paradigması olarak kabul edilmiştir. Ancak güncel çoklu vekil (multi-proxy) araştırmaları ve spektral analizler, bu döngülerin her zaman sabit bir 1500 yıllık ritme sahip olmadığını, 1000 ila

1500 yıl arasında değişkenlik gösteren "yarı-periyodik (quasi-periodic)" bir karakter taşıdığını ortaya koymaktadır (Wanner ve Bütikofer, 2008; Ditlevsen vd., 2007).

Dahası, Holosen soğuma olaylarının tek bir evrensel tetikleyici mekanizmayla açıklanamayacağı giderek daha fazla kabul görmektedir (Wanner vd., 2011). Erken Holosen'deki şiddetli soğuma evreleri (özellikle 8.2 ka olayı), büyük ölçüde Laurentide buzul göllerinin ani boşalmasıyla tatlı suyun Atlantik Meridyonel Devrilme Dolaşımı'nı (AMOC) yavaşlatması sonucu meydana gelmişken (Alley ve Ágústssdóttir, 2005); Orta ve Geç Holosen'deki soğuma ile kuraklaşma olayları (4.2 ka, 2.8 ka ve Küçük Buzul Çağı), Güneş aktivitesindeki uzun süreli düşüşler (Grand Solar Minima), şiddetli tropikal volkanik patlamalar ve okyanus-atmosfer etkileşimlerindeki (örneğin Kuzey Atlantik Osilasyonu - NAO) karmaşık geri beslemelerle tetiklenmiştir (Wanner ve Bütikofer, 2008; Miller vd., 2012). Bu nedenle, 8.2 ka ve 4.2 ka gibi iz bırakan büyük krizlerin, okyanus akıntılarına bağlı düzenli Bond döngülerinden ziyade, birkaç zorlayıcı faktörün üst üste bindiği "ekstrem anomaliler" olarak değerlendirilmesi daha isabetli bir bilimsel yaklaşımdır (Karadoğan ve Yıldırım, 2026).

4.2. Çöküş mü, Adaptasyon mu? Medeniyetlerin İklim Krizlerine Yanıtı

Çalışmanın bulguları, geçmiş iklim olaylarının Anadolu ve çevresindeki medeniyetler üzerindeki etkisinin tek yönlü bir "yıkım" olmadığını göstermektedir. Geleneksel arkeolojik yaklaşımlar, 4.2 ka veya 3.25 ka gibi megakuraklık olaylarını genellikle Akad veya Hitit gibi imparatorlukların mutlak "çöküşü" (collapse) ile eş anlamlı tutma eğilimindedir (Weiss vd., 1993). Ancak çevresel streslerin toplumlar üzerindeki etkisi incelendiğinde, insan topluluklarının iklimsel krizlere karşı dikkate değer bir esneklik ve direnç geliştirdiği görülmektedir.

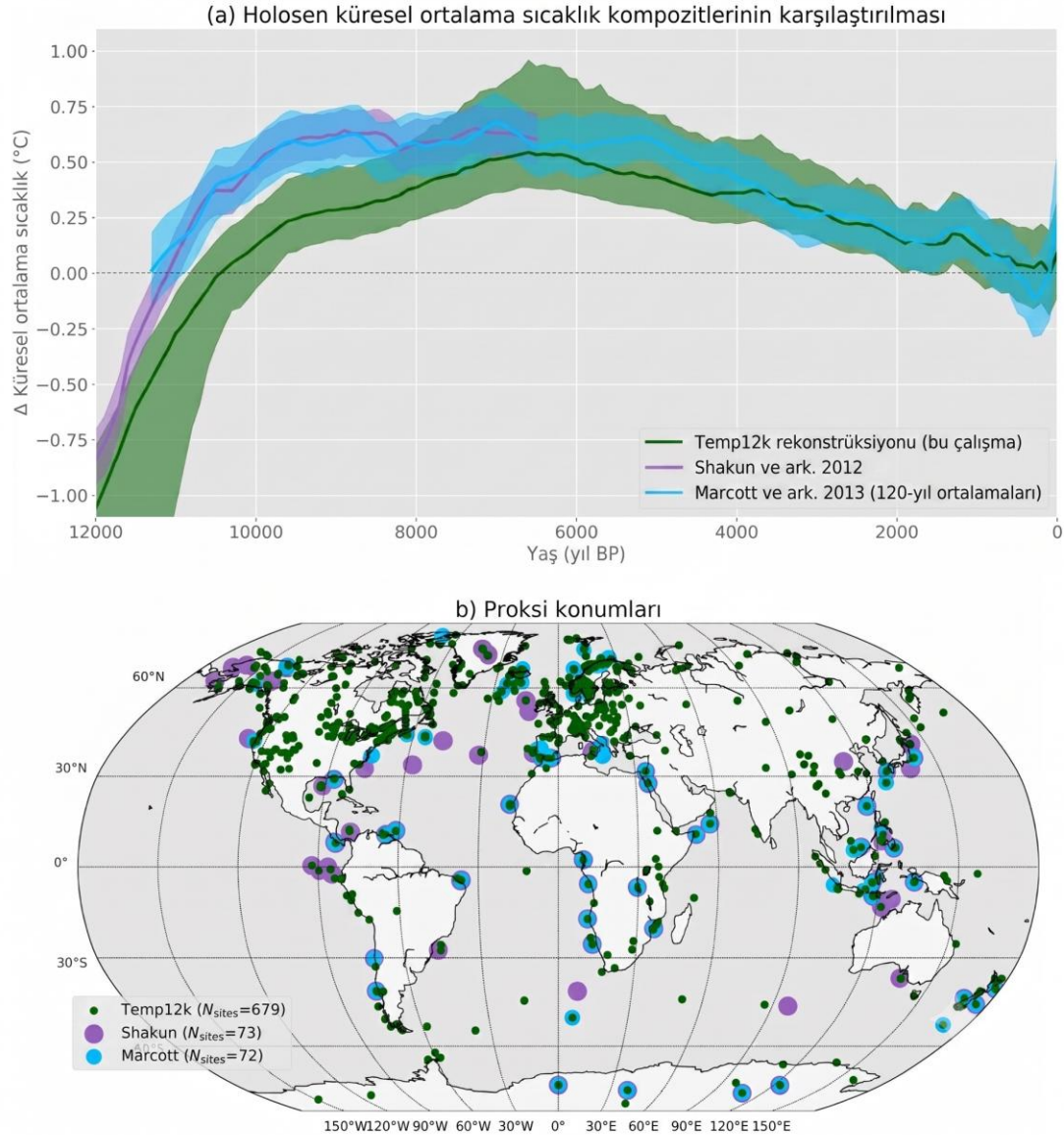
Anadolu plâtosundaki arkeolojik ve paleoçevre verileri, kuraklık dönemlerinde toplumların yerleşim yerlerini terk edip tamamen yok olmak yerine; daha az su isteyen arpa ve kabuklu buğday gibi ürünlere yöneldiklerini, sığır yerine kuraklığa toleranslı koyun-keçi yetiştiriciliğine ağırlık verdiklerini ve anıtsal surlu şehirlerden ziyade su kaynaklarına yakın, daha küçük ve mobil yerleşim modellerine (göçebeliliğe) geçiş yaptıklarını göstermektedir (Karadoğan ve Yıldırım, 2026). İbn Haldun'un egemen güçlerin doğuşu ve çöküşüne dair "Asabiyyet" ve "Ümran" döngüsü de bu noktada çevresel döngülerle paralellik arz eder. İklimin zorlayıcı koşulları (kıtık, kuraklık), kentleşmiş ve lükse alışmış "yerleşik" medeniyetlerin zaaflarını derinleştirirken; bu zorlu çevrelere adapte olabilen, dayanıklı ve daha mobil toplulukların tarih sahnesine çıkışını ve yeni güç merkezleri kurmasını tetiklemiştir (Önder ve Ulaşan, 2018).

4.3. Paleoklimatolojik Yöntemlerin Sınırları ve Belirsizlikler

Holosen iklim olaylarını bölgesel ve küresel ölçekte eşleştirmeye çalışırken karşılaşılan en büyük metodolojik zorluklardan biri kronolojik belirsizliklerdir. Çoklu vekil (multi-proxy) yaklaşımında kullanılan göl tortulları, denizel karotlar veya mağara çökellerinden elde edilen verilerdeki radyokarbon (14C) tarihlemeleri; deniz ve göl ortamlarındaki rezervuar etkileri (eski karbonun sisteme dahil olması) veya kalibrasyon hataları nedeniyle 50 ila 200 yıla varan sapmalar gösterebilmektedir (Wanner vd., 2011). Bu nedenle, Kuzey Atlantik'teki bir Bond soğuma döngüsünün, Anadolu'daki bir kuraklık evresiyle veya arkeolojik bir yıkım tabakasıyla "tam olarak aynı onyılda" gerçekleştiğini iddia etmek bilimsel açıdan risklidir. Gelecek araştırmalarda, yüksek çözünürlüklü ve mutlak tarihli (örneğin varlı göl tortulları veya hassas

U/Th tarihlemeli speleotemler) bölgesel çalışmaların artırılması, iklim-medeniyet telebağlantılarının (teleconnections) kesinliğe kavuşturulması için elzemdir.

Şekil 3a'da nedenleri ve sonuçlarıyla Holosen'den günümüze kadar uzanan uzun süreli küresel sıcaklık rekonstrüksiyonlarının metodolojik bir karşılaştırması verilirken; Şekil 3b'de bu analizlerde kullanılan paleoçevre arşivlerinin küresel dağılım haritası sunulmuştur. Bu grafik ve harita sentezi, geçmişteki doğal iklim dalgalanmalarının görece sınırlı genliğini ($\pm 0.2^\circ\text{C}$ ile $\pm 0.5^\circ\text{C}$) ve modern dönemdeki hızlı sıcaklık artışını, çoklu vekil verilerine dayanarak kanıtlamaktadır.



Şekil 3. (a) Bu çalışmada çoklu metot medyanı ile elde edilen küresel ortalama yüzey sıcaklığı rekonstrüksiyonunun önceki rekonstrüksiyonlarla karşılaştırılması ve (b) vekil veri (proxy) istasyonlarının coğrafi dağılımı. Belirsizlik bantları Temperature 12k çoklu metot topluluğunun ± 1 SD ve %16-84 aralığını göstermektedir. Marcott vd. (2013) rekonstrüksiyonu 120 yıllık ortalamalar halinde kutulanmış ve 1800–1900 referans dönemine uyumlandırılmıştır (Kaufman vd., 2020'den uyarlanmıştır).

5. SONUÇ

Tarih boyunca gerçekleşen iklim değişiklikleri; Güneş aktivitesindeki dalgalanmalar, volkanik patlamalar, buzul erimeleri ve Atlantik Meridyenel Devrilme Dolaşımı (AMOC) gibi okyanus akıntılarındaki değişimlerin karmaşık etkileşimleri sonucunda, Yer Sistemi'nin kendi iç dinamikleriyle meydana gelmiştir. Nispeten durağan kabul edilen Holosen dönemi boyunca yaşanan milenyum ölçekli "Bond Döngüleri" ile 8.2 ka, 4.2 ka ve 3.25 ka gibi ekstrem iklim anomalileri, gezegenin iklimsel açıdan sanıldığından çok daha hareketli bir geçmişe sahip olduğunu kanıtlamaktadır.

Paleoklimatolojik ve jeoarkeolojik verilerin sentezi, bu doğal iklim salınımlarının insanlık tarihi üzerinde yalnızca çevresel bir arka plan oluşturmadığını, aksine sosyo-politik yapıları doğrudan şekillendirdiğini göstermektedir. Özellikle Anadolu, Mezopotamya ve Doğu Akdeniz havzasında yaşanan şiddetli kuraklık ve soğuma periyotları; Erken Tunç Çağı yerleşimlerinin terk edilmesine, Akad ve Hitit gibi büyük imparatorlukların yıkılmasına zemin hazırlamıştır. Ancak bu krizler aynı zamanda toplumların kuraklığa dayanıklı tarım ürünlerine yönelmesi, su kaynakları etrafında yeniden organize olması ve göçer hayvancılığa geçiş yapması gibi hayatta kalma ve adaptasyon stratejilerini de tetiklemiştir.

Güncel literatürün ve geçmiş iklim verilerinin ortaya koyduğu en çarpıcı ve uyarıcı sonuç ise modern çağdaki ısınmanın karakteriyle ilgilidir: Holosen boyunca yaşanan doğal döngülerin sıcaklık genliği (yaklaşık $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$) sınırlı bir aralıkta kalırken, 20. yüzyıldan itibaren yaşanan küresel sıcaklık artışı, geçmişteki bu doğal sınırları eşi görülmemiş bir hızla ve büyük ölçüde aşmıştır. İnsan kaynaklı sera gazı emisyonları, gezegenin binlerce yıllık doğal ritmini maskeleye başlamış ve AMOC gibi hayati okyanus akıntılarını geri dönülemez "devrilme noktalarına" (tipping points) doğru iterek sistemin dengesini bozma potansiyeli taşımaktadır.

Sonuç olarak; "Dünya'nın kalp atışları" olarak nitelendirilen geçmiş iklim döngülerini, bu krizlerin altında yatan Yer Sistemi mekanizmalarını ve medeniyetlerin bunlara karşı geliştirdiği adaptasyon pratiklerini okumak sadece tarihi bir merak değildir. Bu döngüleri anlamak, günümüzdeki antropojenik (insan kaynaklı) ısınmanın gerçek boyutunu kavramak, gelecekteki olası iklim krizlerini ve medeniyetimiz üzerindeki etkilerini öngörebilmek ve sürdürülebilir bir gelecek inşa edebilmek için elimizdeki en hayati bilimsel referans noktasıdır.

Gelecek Araştırmalar İçin Öneriler:

Geçmiş iklim-medeniyet etkileşimlerini daha yüksek çözünürlükte anlayabilmek ve günümüz ile gelecekteki iklim risklerini daha iyi öngörebilmek adına bazı öncelikli araştırma yönelimleri öne çıkmaktadır:

(i) Türkiye coğrafyasında yüksek çözünürlüklü ve mutlak tarihllemeli (U/Th) speleotem çalışmalarının yaygınlaştırılması büyük önem taşımaktadır. Özellikle Batı, Orta ve Doğu Anadolu'daki mağara sistemlerinde mikrobölgesel ölçekli, sub-decadal çözünürlüğe sahip speleotem (sarkıt ve dikit) analizleri yapılmalı; böylece bölgesel iklim sinyalleri ile Kuzey Atlantik ve Doğu Akdeniz tele-bağlantıları daha kesin biçimde ortaya konmalıdır.

(ii) Geçmiş iklim verileri ile sosyo-ekonomik kırılganlık endekslerinin yapay zekâ destekli paleoiklim modellemeleri yoluyla entegre simülasyonlarının geliştirilmesidir. Makine öğrenmesi ve ajan temelli modelleme teknikleri kullanılarak, Holosen boyunca gözlenen iklim şoklarının farklı toplum tipleri üzerindeki etkileri senaryo bazında test edilebilir. Bu yaklaşım,

hem çevresel determinizm-adaptasyon tartışmasına yeni kantitatif boyutlar getirecek hem de günümüz iklim adaptasyon politikalarına tarihsel derinlik kazandıracaktır.

(iii) Arkeolojik kazı stratejilerinde disiplinlerarası iklim-adaptasyon izlerinin sistematik aranması için standart protokollerin oluşturulması gerekmektedir. Makro ve mikro botanik kalıntılar (pollen, fitolit, makrobotanik), sedimanter arkeoloji, lipit (yağ asidi) analizleri, izotop çalışmaları ve zooarkeolojik verilerin rutin olarak entegre edildiği çok disiplinli kazı ve laboratuvar protokolleri yaygınlaştırılmalıdır. Bu sayede iklim stresine verilen toplumsal yanıtlar (tarım stratejilerindeki değişimler, göç örüntüleri, dayanıklılık mekanizmaları) daha güvenilir biçimde belgelenebilecektir.

Bu önerilerin hayata geçirilmesi, Türkiye'nin paleoiklim ve jeoarkeoloji araştırmalarını uluslararası literatürde daha görünür kılacak ve hem bilimsel hem de toplumsal iklim dayanıklılığı açısından kritik katkılar sunacaktır.

KAYNAKÇA

- Alley, R. B., & Ágústssdóttir, A. M. (2005). The 8k event: cause and consequences of a major Holocene abrupt climate change. *Quaternary Science Reviews*, 24(10-11), 1123-1149.
- Barber, D. C., vd. (1999). Forcing of the cold event of 8,200 years ago by catastrophic drainage of Laurentide lakes. *Nature*, 400(6742), 344-348.
- Bengtsson, L., & Hammer, C. U. (2001). *Geosphere-Biosphere Interactions and Climate*. Cambridge University Press.
- Bini, M., vd. (2019). The 4.2 ka BP Event in the Mediterranean region: an overview. *Climate of the Past*, 15(2), 555-577.
- Blum, S. W. E., & Riehl, S. (2015). Troy in the 23rd century BC – environmental dynamics and cultural change. In: H. Meller, H. W. Arz, R. Jung, & R. Risch (eds.), *2200 BC – A climatic breakdown as a cause for the collapse of the Old World?* (pp. 181-203). Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle, Band 12. Halle (Saale): Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie Sachsen-Anhalt – Landesmuseum für Vorgeschichte.
- Bond, G., vd. (1997). A pervasive millennial-scale cycle in North Atlantic Holocene and glacial climates. *Science*, 278(5341), 1257-1266.
- Bond, G., vd. (2001). Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene. *Science*, 294(5549), 2130-2136.
- Caesar, L., vd. (2018). Observed fingerprint of a weakening Atlantic Ocean overturning circulation. *Nature*, 556(7700), 191-196.
- Clark, P. U., vd. (2001). Freshwater forcing of abrupt climate change during the last glaciation. *Science*, 293(5528), 283-287.
- Cullen, H. M., & deMenocal, P. B. (2000). North Atlantic influence on Tigris-Euphrates streamflow. *International Journal of Climatology*, 20(8), 853-863.
- DeMenocal, P. B. (2001). Cultural Responses to Climate Change During the Late Holocene. *Science*, 292(5517), 667-673.

- Ditlevsen, P. D., Andersen, K. K., & Svensson, A. (2007). The DO-climate events are probably noise induced: statistical investigation of the claimed 1470 years cycle. *Climate of the Past*, 3(1), 129-134.
- Erdoğan, B., Yücel, N., & Gürçal, E. (2022). Archaeological and dating evidence for the 8.2 ka BP climate event on the island of Gökçeada, Northeast Aegean. *Materiale și Cercetări Arheologice*, 18, 27-33.
- Fagan, B. M. (2000). *The Little Ice Age: How Climate Made History, 1300–1850*. Basic Books.
- Giosan, L., vd. (2012). Fluvial landscapes of the Harappan Civilization. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(26), E1688-E1694.
- Glen Fergus. (2014). Global average temperature graph estimates for the last 540 million years [Graph]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:All_palaeotemps.png
- Gorbarenko, S. A., vd. (2024). Reconstructing Holocene centennial cooling events: synthesized temperature changes, chronology, and forcing in the Northern Hemisphere. *Frontiers in Earth Science*, 12:1415180.
- Grove, J. M. (2004). *Little Ice Ages: Ancient and Modern*. Routledge.
- Gupta, A. K., Anderson, D. M., & Overpeck, J. T. (2003). Abrupt changes in the Asian southwest monsoon during the Holocene and their links to the North Atlantic Ocean. *Nature*, 421(6921), 354-357.
- Haug, G. H., vd. (2001). Southward migration of the intertropical convergence zone through the Holocene. *Science*, 293(5533), 1304-1308.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2021). Climate change 2021: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press.
- Jalali, B., vd. (2019). Influence of the North Atlantic subpolar gyre circulation on the 4.2 ka BP event. *Climate of the Past*, 15(2), 701-711.
- Kaniewski, D., vd. (2010). Late second–early first millennium BC abrupt climate changes in coastal Syria and their possible significance for the history of the Eastern Mediterranean. *Quaternary Research*, 74(2), 207-215.
- Karadoğan, S., & Yıldırım, A. (2026). Tarihsel İklim Değişikliklerinde Yer Sistemi İlişkisi: Küresel İklimin Geleceğini Bond Döngüleriyle Anlamak. 78. Türkiye Jeoloji Kurultayı, 13-17 Nisan, Ankara, Bildiri Özleri Kitabı (Basımda).
- Kaufman, D. S., vd. (2009). Recent warming reverses long-term Arctic cooling. *Science*, 325(5945), 1236-1239.
- Kaufman, D., McKay, N., Routson, C., Erb, M., Davis, B., Heiri, O., ... & Zander, P. (2020). Holocene global mean surface temperature, a multi-method reconstruction approach. *Scientific Data*, 7, Article 201. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0530-7>
- Kaufman, D., McKay, N., Routson, C., Erb, M., Davis, B., Heiri, O., ... & Zander, P. (2020). Holocene global mean surface temperature, a multi-method reconstruction approach. *Scientific Data*, 7, Article 201. <https://doi.org/10.1038/s41597-020-0530-7>

- Kuzucuoğlu, C. (2019). Anadolu ve Doğu Akdeniz’de geçmişteki ani iklim değişiklikleri. *Aktüel Arkeoloji*, (68), 36–68. <https://hal.science/hal-03912648>
- Leuenberger, M. C., Lang, C., & Schwander, J. (1999). $\delta^{15}\text{N}$ measurements as a calibration tool for the paleothermometer and gas-ice age differences: a case study for the 8200 BP event on GRIP ice. *Journal of Geophysical Research*, 104(D18), 22163-22170.
- Magny, M., & Begeot, C. (2004). Hydrological changes in the European midlatitudes associated with freshwater outbursts from Lake Agassiz during the Younger Dryas event and the early Holocene. *Quaternary Research*, 61(2), 181-192.
- Marcott, S. A., Shakun, J. D., Clark, P. U., & Mix, A. C. (2013). A reconstruction of regional and global temperature for the past 11,300 years. *Science*, 339 (6124), 1198–1201. <https://doi.org/10.1126/science.1228026>
- Marcott, S. A., vd. (2013). A Reconstruction of Regional and Global Temperature for the Past 11,300 Years. *Science*, 339(6125), 1198-1201.
- Masiokas, M. H., vd. (2008). Glacier fluctuations in extratropical South America during the past 1000 years. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 281(3-4), 242-268.
- Matero, I. S. O., vd. (2017). The 8.2 ka cooling event caused by Laurentide ice saddle collapse. *Earth and Planetary Science Letters*, 473, 205–214.
- Mayewski, P. A., vd. (2004). Holocene climate variability. *Quaternary Research*, 62(3), 243-255.
- Miller, G. H., vd. (2012). Abrupt onset of the Little Ice Age triggered by volcanism and sustained by sea-ice/ocean feedbacks. *Geophysical Research Letters*, 39(2).
- Önder, M., & Ulaşan, F. (2018). Ibn Khaldun’s Cyclical Theory on the Rise and Fall of Sovereign Powers: The Case of Ottoman Empire. *ADAM AKADEMİ Sosyal Bilimler Dergisi*, 8(2), 231-266.
- Pfister, C. (1995). Monthly temperature and precipitation in central Europe from 1529–1979: quantifying documentary evidence on weather and its effects. In *Climate since AD 1500* (ss. 118-142), Routledge.
- Renssen, H., Goosse, H., & Fichet, T. (2007). Simulation of Holocene cooling events in a coupled climate model. *Quaternary Science Reviews*, 26(15-16), 2019-2029.
- Slawinska, J., & Robock, A. (2018). Impact of Volcanic Eruptions on Climate. *Reviews of Geophysics*, 56(1), 54-82.
- Stanley, J. D., vd. (2003). Nile flow failure at the end of the Old Kingdom, Egypt: Strontium isotopic and petrologic evidence. *Geoarchaeology*, 18(3), 395-402.
- Staubwasser, M., vd. (2003). Climate change at the 4.2 ka BP termination of the Indus valley civilization and Holocene south Asian monsoon variability. *Geophysical Research Letters*, 30(8), 1425.
- Sun, Q., vd. (2019). Climate as a factor for Neolithic cultural collapses approximately 4000 years BP in China. *Earth-Science Reviews*, 197, 102915.

- Tinner, W., & Lotter, A. F. (2001). Central European vegetation response to abrupt climate change at 8.2 ka. *Geology*, 29(6), 551-554.
- Viau, A. E., vd. (2006). Millennial-scale temperature variations in North America during the Holocene. *Journal of Geophysical Research*, 111, D09102.
- Walker, M., vd. (2018). Formal subdivision of the Holocene Series/Epoch: a Discussion Paper by a Working Group of INTIMATE. *Journal of Quaternary Science*, 33(3), 211-223.
- Wanner, H., & Bütikofer, J. (2008). Holocene Bond Cycles: Real or Imaginary? *Geografie-Sbornik CGS*, 113(4), 338-350.
- Wanner, H., vd. (2011). Structure and origin of Holocene cold events. *Quaternary Science Reviews*, 30(21-22), 3109-3123.
- Weiss, H., vd. (1993). The Genesis and Collapse of Third Millennium North Mesopotamian Civilization. *Science*, 261(5124), 995-1004.
- Wu, W., & Liu, T. (2004). Possible role of the "Holocene Event 3" on the collapse of Neolithic Cultures around the Central Plain of China. *Quaternary International*, 117(1), 153-166.
- Zhao, X., vd. (2022). Herding then farming in the Nile delta. *Communications Earth & Environment*, 3, 88.