

ANADOLU'NUN EGE KIYILARINDA HOLOSEN DENİZ SEVİYESİ DEĞİŞMELERİ VE JEOARKEOLOJİK ETKİLERİ

HOLOCENE SEA LEVEL CHANGES AND THEIR GEOARCHAEOLOGICAL IMPACTS ON THE AEGEAN COAST OF ANATOLIA

Anahtar kelimeler: Batı Anadolu, Ege Denizi, Holosen, Deniz Seviyesi, İklim Değişmeleri, Jeoarkeoloji
Keywords: Western Anatolia, Aegean Sea, Holocene, Sea Level, Climate Change, Geoarchaeology.

ÖZET

Anadolu'nun Ege Denizi kıyı bölgesi, kırıklı jeolojik yapısı nedeniyle dağ blokları ve aralarındaki çukur alanlardan oluşan arızalı bir morfolojiye sahiptir. Bu özellik, kıyı önünde de adalarla devam eder. Böylece, çok girintili çıkıntılı bir uzanış gösteren kıyı çizgisi, deniz seviyesindeki değişmelerle önemli şekil değişimleri göstermiştir. Son buzul çağı maksimumunda (20 bin yıl kadar öncelerde) 130 metre kadar alçalan deniz seviyesi, buzul çağı sonrasında küresel ısınma ile hızla yükselmiştir. Holosen başlarında (yaklaşık 12 bin yıl öncelerde) deniz seviyesi hala bugünkünden 50 m kadar alçaktadır. Bunu izleyen dönemde hızla yükselmeye devam eden deniz seviyesi, küresel verilere göre, 6-4 metrelere ulaşmıştır. Bundan sonra, hızı giderek azalmakla birlikte, yükselme devam etmiş, deniz bugünkü seviyesine erişmiştir.

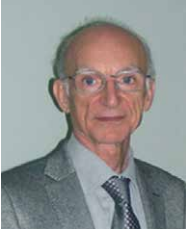
Ancak, Anadolu'nun Ege kıyılarında 7-6 bin yıl öncelerde denizin bugünkü seviyesine ulaştığını, 4-3 bin yıl öncelerde birkaç metre alçaldığını, sonra bugüne doğru tekrar yükseldiğini gösteren sedimantolojik, paleontolojik ve kronolojik veriler bulunmaktadır.

ABSTRACT

The Aegean coastal region of Anatolia has a rough morphology due to its faulted geological structure, consisting of mountain chains and troughs between them. This feature continues among the islands along the coastline. Thus, the extremely indented shoreline shows significant changes in shape along with sea level changes. During Last Glacial Maximum (about 20,000 years ago) the sea level, which was 130 m lower than at present, rapidly increased during a warming trend after the glacial period. In the early Holocene (about 12,000 years ago), the sea level was still 50 m lower than at present. In the following period sea level rose rapidly and reached 6 to 4 m below the present sea level. Subsequently, although gradually decreasing in speed, the rising continued, and the sea level reached its current position.

Nevertheless, we have sedimentological, paleontological, and chronological data indicating that the Aegean coastline of Anatolia reached its current level 7,000-6,000 years ago, then decreased a few meters 4,000-3,000 years ago, and then rose again.

Assos Antik Limanı (Güncel liman yapılmadan önce-1980)
Assos Ancient Harbor (Before the modern breakwater construction-1980)



*İlhan Kayan

Bu farklılığın nedeni, bölgesel tektonik etkiler veya küresel verilere yansımayan küçük iklim değişimleri olabilir. Bu nedenle, küresel olması beklenen deniz seviyesi değişimlerinde bölgesel-yerel farklılıklar görülmesi normaldir. Bu konuda kıyı morfolojisi incelemeleri esas alınmalı ve bölgesel-yerel deniz seviyesi değişimleri bağıl (karaya göre rölatif) olarak belirtilmelidir. Böylece, bir kıyı kesiminde belirlenen gerçek seviye değişimleri, burada yaşayan insanlar için teorik bir küresel modelden daha etkili ve önemlidir.

Sonuç olarak, hangi nedenle olursa olsun, deniz seviyesi son dönemde yükselmiş, karadaki çukur alanlara, özellikle akarsu ağzlarına sokulan deniz suları, kıyıya daha çok girintili çıkıntılı bir görünüm vermiştir.

The reason for this variation might be the influence of regional tectonics or minor climate changes that have not been reflected in global data. Therefore, it is normal to have regional-local variations in sea level changes, which are expected to be global in scale. In this respect, it is important to predicate coastal morphological studies and indicate regional-local sea level changes relatively (relative to the land). Thus, actual level changes identified for a coastal area are more effective and important than a theoretical global model.

The sea level along the Aegean coastline of Anatolia has recently risen and seawater has penetrated into the trough parts of the land, particularly mouths of rivers, providing a more indented coastline.



Kısaltmalar - Abbreviations

Adalar-Islands

- S Semadirek-Samothraki
- Li Limni-Limnos
- G Gökçeada
- B Bozcaada
- L Midilli-Lesvos
- C Sakız-Chios
- S Sisam-Samos
- D Onikiada-Dodecanese
- K İstanköy-Kos

Akarsular-Rivers

- KR Karamenderes
- B Bakırçay
- G Gediz
- KM Küçük Menderes
- BM Büyük Menderes

Diğerleri -Others

- GE Gelibolu yarımadası
- Bİ Biga yarımadası
- E Edremit
- İ İzmir
- Ç Çeşme
- U Urla
- ME Menteşe yöresi
- G Gökova körfezi

Ege Denizi subölümü kalın beyaz çizgi ile gösterilmiştir.
Thick white line represents the watershed of Aegean Sea.

Fig. 1: Anadolu'nun Ege Denizi kıyı bölgesinin rölyef haritası ve kıyı önünün batimetresi.

Fig. 1: Relief map of the Aegean coastal region of Anatolia and bathymetry of the near offshore area.

* İlhan Kayan. Orcid ID: 0000-0002-8623-4101. Ege Üniversitesi, Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü (Emekli öğretim üyesi) 35100 Bornova İzmir TURKEY. ilhankayan11@gmail.com

* İlhan Kayan. Orcid ID: 0000-0002-8623-4101. Ege University, Faculty of Letters, Department of Geography (Retired professor) 35100 Bornova İzmir TURKEY. ilhankayan11@gmail.com

Yaklaşık son 6 bin yılda ise deniz seviyesi yükselmesi küçük salınımlar dışında fazla değişmediği için bu defa karadan gelen alüvyonların kıyı önünü doldurmasıyla kıyı çizgisi denize doğru çekilmiş, yeni delta düzlükleri oluşmuştur. Bu gelişmeye uygun olarak, kıyı zonunun morfolojik avantajları ve ekolojik zenginliklerinden yararlanmak üzere tarih öncesi çağlardan beri buralara yerleşen insanların kıyı kullanım alanları da değişmiş, kıyı yapıları ve kıyıya yakın yerleşme yerleri ya yükselen deniz suları, ya da kara tarafında alüvyonlar altında kalmıştır. Bu nedenle, arkeolojik araştırma ve kazılarda bu paleocoğrafya özelliklerinin bilinmesi, jeoarkeolojik verilerin göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

GİRİŞ

Deniz seviyesi, yeryüzünde litosferin büyük çukurluklarını dolduran okyanus ve denizlerdeki (dünya denizleri) su kütlelerinin yüzey yüksekliğidir. Yeryüzünün 1/3'ünü kaplayan bu sıvı yüzey, yerçekimi ve merkezkaç kuvvetlerinin dengelendiği geoidal yüzeyden farklı bir şekle sahiptir ve 200 m ye varan bir arızalılık (rölyef) gösterir¹.

Dünya denizlerinin seviyesi, birçok etki yanında, öncelikle su kütlelerinin hacminde meydana gelen değişimlere bağlıdır. Su hacmi artarsa deniz seviyesi yükselir, azalırsa alçalır. Ancak, burada söz konusu olan sadece denizlerdir. Çünkü, jeolojik bilgilere göre dünya suları 4 milyar yıla yakın bir süredir vardır ve volkanizma ile katılan çok küçük bir miktar gözardı edilirse, toplam miktarı değişmemiştir. Günümüzde hidrosferdeki su miktarı yaklaşık 1,4 milyar kilometre küp olarak tahmin edilmektedir. Bunun % 96,5'ini okyanus ve denizlerdeki tuzlu su oluşturur. Yaklaşık olarak, kalan % 1,7'si kriyosfer'de (buzul-kalıcı kar), % 1,7'si karalarda (göl, akarsu, bataklık, yeraltı suları, toprak nemi, canlılar) bulunur. Atmosferdeki su buharının oranı ise sadece % 0,001 kadardır².

Dünya denizlerinin seviyesi birbiri ile ilişkili birçok faktörün etkisiyle değişimler gösterir. Bunlardan güncel-kısa süreli değişimlerin başında gelgit olayı gelir. Okyanus havzaları ve kıyıların morfolojisine bağlı olarak farklılıklar gösteren bu değişim, Fundy körfezinde (Kanada) 16 m ye kadar ulaşırken, iç denizlerde, özel yerler hariç, 0,5 m altında kalmaktadır. Okyanus akıntıları, basınç değişimleri ve belli yönden esen rüzgarlar da bölgesel veya yerel, genellikle değişken küçük seviye oynamalarına neden olmaktadır. Uzun süreler söz konusu olduğunda ise dünya denizlerinin şekil ve hacimlerinde önemli değişimler olmuştur.

Since the sea level rise did not change except for a few fluctuations during the past 6,000 years, the alluvial sediments from the land have silted up the shoreline, advancing the shoreline seaward and resulting in the formation of new delta plains. In parallel with this development, coastal settlements dating back to prehistoric times that belonged to communities of people who settled in such places for morphological advantages and exploitation of ecological resources of the coastal zone have undergone changes, and coastal structures and settlements close to the shore have been submerged by rising sea waters or alluvial deposits from the land. Therefore, it is crucial to be familiar with these paleo-geographical aspects and consider geoarchaeological data during archaeological surveys and excavations.

INTRODUCTION

Sea level is the height of the water surface in oceans and seas (global seas), occupying the great depressions of the lithosphere on the Earth. This liquid surface covering 1/3 of the Earth has a different shape than the geoidal surface, which is balanced by gravity and centrifugal force, and it shows a relief reaching up to 200 m¹.

Global sea level depends on many parameters, primarily on changes in the volume of water mass. If the volume increases, the sea level rises, and when it decreases, the sea level decreases as well. However, this is only valid for seas. Since world seas have existed for nearly 4 billion years according to geological data, and when we ignore the very small amount added by volcanism, it seems that the total amount of water has not changed. At present, the estimated amount of water in the hydrosphere is approximately 1.4 billion cubic kilometers, where 96.5% is contained in oceans and seas as saltwater. The remaining 1.7% is contained in cryosphere (glaciers-ice caps), and 1.7% in land (lakes, rivers, swamps, underground waters, soil moisture, creatures). The rate of atmospheric water vapor is only 0.001%².

The changes in the level of world seas are associated with many interrelated factors. Among these factors, actual short-term changes are mainly represented by the tide. Varying depending on the ocean bases and shoreline morphology, this change reaches up to 16 m in the Bay of Fundy (Canada), while it remains below 0.5 m in territorial seas, except for particular places. Additionally, ocean currents, atmospheric pressure variations, and winds from a certain direction usually lead to nominal fluctuations at a regional or local level. However, over long periods of time, significant changes have occurred in the shape and volume of world seas. For example, the present Alpine mountain system was formed by petrified muds that accumulated in oceans during the 2nd geological era (Mesozoic).

¹ PIRAZZOLI 1964.

² GLEICK 1996.

¹ PIRAZZOLI 1964.

² GLEICK 1996.

Örneğin bugünkü Alpin dağ sistemi, 2. Jeolojik Çağda (Mesozoik) okyanuslarda birikmiş çamurların taşlaşarak yükselmesiyle oluşmuştur. Ancak, bu olay ve değişmelerin günümüz coğrafyası bakımından doğrudan bir anlamı bulunmamaktadır. Daha yakın jeolojik geçmişte meydana gelen yerkabuğu levhalarının hareketleri, deniz altı volkanizma olayları ve çeşitli nedenlerle oluşan izostatik hareketler (yerkabuğunun buzul gibi yük basıncı ile oluşan dikey hareketleri) de bölgesel ve görel olarak dünya denizlerinin şeklini ve dolaylı olarak seviyesini değiştiren olaylardır. Ancak bütün bunların etkileri güncel olarak çok yavaş ve görünüşte dikkati çekmeyecek boyuttadır.

Sonuç olarak, yeryüzündeki toplam miktarı değişmeyen suyun, okyanus ve denizlerdeki miktar ve dolayısıyla seviyesi değişkendir. Bu seviyeyi kontrol eden en önemli etken ise iklim değişmeleridir. Deniz seviyesi, okyanus havzalarının yapısal şekil değişmelerinden küçük ölçüde ve yavaş etkilenirken, su hacmindeki iklimik değişmelere (östatik) bağlı olarak çok daha hızlı değişebilmektedir. Küresel iklimde soğuma olursa denizlerden buharlaşan sular karalarda geniş ve kalın buzul örtüleri oluşturacağı için deniz seviyesi alçalır, sıcak iklim dönemlerinde ise karalardaki buzulların erimesiyle oluşan sular denizlere döneceği için seviye yükselir.

Deniz seviyesi değişmelerini deniz yüzeyine bakarak gözlemlemek mümkün değildir. Su yüzeyindeki seviye değişimleri günümüz teknolojisiyle, örneğin uydulardan yapılan ölçümlerle belirlenebilmekle birlikte, bilimsel nitelikteki bu bilgiler pratikte anlamlı değildir. Deniz seviyesinin görünür işareti kıyılardır. Kıyılar, denizden gelen çeşitli etkilerle (gelgit, etkin rüzgar yönü, frekansı, şiddeti ile oluşan dalga özellikleri gibi), karaya ait özelliklerin (kıyı önünün ve kıyı gerisinin morfolojisi, akarsu veya sellerle karadan gelen alüvyonların birikmesi gibi) karşılıklı etkileşimi ile işlenen alan şeritleridir (kıyı zonu). Ancak, deniz seviyesi konusunda kıyı, deniz ile karayı ayıran bir sınır çizgisi olarak göz önüne alınabilir.

Küresel iklim değişmeleri ile dünya denizlerindeki su hacmi ve dolayısıyla seviyesi doğrudan ilişkili olduğundan, dünya denizlerinin seviyesi için "küresel deniz seviyesi" kavramı kullanılır. Ancak, yeryüzünün tüm kıyı bölgelerinde deniz seviyesi, tür ve boyut bakımından farklı yerel etkenlerle farklı değişim modelleri gösterir ve bu farklılıklar "bağıl (rölatif)" deniz seviyesi olarak ifade edilir. Bu nedenle, dünya denizlerinin bütününe kapsayan, küresel anlamda bir "ortalama" deniz seviyesinden söz etmek gerçeğe uygun değildir. Bu durumda, "küresel deniz seviyesi" kavramı, ancak buzul ve buzularası çağlardaki büyük deniz seviyesi değişmelerinin genel gidişini anlatmak için kullanılabilir.

However, such events and changes have no direct influence in today's geography. Furthermore, crustal plate movements that have occurred during more recent geological past, submarine volcanic events and isostatic movements resulting from various causes (vertical movements that occur as a result of loading pressure of the crust, such as glacier) are events that regionally and relatively change the shape and, indirectly, level of the world seas. However, all these influences are actually very slow and seemingly unobtrusive.

Therefore, the amount and thus the level of the water, which is constant in total, is variable in oceans and seas. Climate change is the most important controlling factor for sea level. Sea level is influenced to a lesser extent and slowly by structural changes in oceanic basins, while it can change rapidly due to climatic changes (eustatic) in water volume. If cooling occurs in the global climate, sea level decreases, since evaporated water will form wide and thick ice covers on land; whereas sea level increases during periods of warm climate, since the melting water from glaciers on land will return to the sea.

It is not possible to observe sea level changes from the sea surface. Although changes in water surface area can be observed by today's technology, for example measurements by satellites, such scientific information is not very relevant in practice. Shoreline is a visible sign of sea level. Shoreline is a band of area that has been modified by mutual interaction between various effects from the sea (such as wave characteristics resulting from tide, dominant wind direction, frequency, and intensity) and terrestrial characteristics (morphology of the shoreface and back shore, deposition of alluvial conveyed by rivers, or floods from the land) (coastal zone). Therefore, a shore can be considered a boundary line that separates sea and land.

Since global climate change is directly related to the volume, and thus the level, of the water in world seas, the term "global sea level" is used to refer to the level of world seas. However, across the coastal regions of the Earth, sea level shows diverse patterns of change due to varying local factors in terms of type and size, and these differences are referred to as "relative" sea level. For this reason, it is irrational to refer to a global "mean" sea level, which covers the entire world seas. The concept of "global sea level" should only be used for the overall course of major sea level changes during glacial and interglacial epochs. At the same time, it is not appropriate to extrapolate small sea level changes resulting from local and varying causes to a global dimension. As regional-local studies provide detailed information, the complex nature of the issue becomes more evident, and different curves for sea level changes emerge in the plotting. Therefore, the main objective should be to provide evidence and causes of local and relative (relative to the land) sea level changes that can be observed anywhere that concerns societies from prehistoric times to the present day.

Öte yandan, yerel ve farklı nedenlerle oluşan küçük deniz seviyesi değişmelerini genelleştirerek küresel boyutta göz önüne almak da uygun değildir. Bölgesel-yerel çalışmalarda ayrıntılara girildikçe konunun karmaşık niteliği daha da çok ortaya çıkmakta ve her yerde farklı deniz seviyesi değişme eğrileri çizilebilmektedir. Bu nedenle asıl amaç, herhangi bir yerde, somut olarak gözlenebilen ve tarih öncesi çağlardan günümüze kadar toplumları yakından ilgilendiren yerel, görel (karaya göre, bağıl, rölatif) deniz seviyesi değişmelerinin kanıtlarıyla ve nedenleriyle ortaya konulması olmalıdır. Bunun için de en önemli veri kaynağı, kıyılarda yapılacak jeomorfolojik gözlem ve araştırmalardır.

Deniz seviyesi üzerine eski yorum ve teoriler SU-ESS tarafından tartışılmış³, deniz seviyesinin iklim değişmelerine bağlı küresel alçalıp yükselmesi için östatik (eustatic) kavramı kullanılmıştır. Bu konudaki çalışmalar geçen yüzyıl ortalarından itibaren giderek artan bir ilgi ve hız kazanmıştır. Bunda uydularla yapılan hassas ölçümler, bilgisayar teknolojilerinden yararlanılarak karmaşık izostatik modellerin oluşturulabilmesi, radyometrik tarihlendirme yöntemleri (Radyokarbon, U/Th gibi), kozmojenik tarihlendirme yöntemleri izotopik analizlerdeki gelişmeler önemli etkiler yapmıştır. Daha önemlisi, UNESCO çatısı altında kurulan INQUA (International Union for Quaternary Research) ve IUGS (International Union of Geological Sciences) ile bunun içinde oluşturulan IGCP (International Geological Correlation Prog-

And the most important data source for such information comes from geomorphological observations and surveys along the shores.

Suess discussed previous comments and theories about sea level changes and introduced the term 'eustatic' for global variations in sea level due to climatic conditions³. Studies on this subject have increasingly and rapidly become popular since the middle of last century. This popularity is significantly associated with accurate measurements by satellites, the ability to develop isostatic models using computer technology, radiometric dating methods (such as radiocarbon, U/Th), cosmogenic dating methods, and advances in isotopic analyses. More importantly, many research projects have been conducted on sea levels within the INQUA (International Union for Quaternary Research) and the IUGS (International Union of Geological Sciences) programs founded under the umbrella of UNESCO and affiliated IGCP (International Geological Correlation Programme). With increasing interest in this topic from people of various scientific fields, several new studies have been conducted during last decades on the melting of glaciers and particularly on sea level changes after last glacial epoch. In the meantime, detailed research along the shoreline

ramme) bünyesinde birçok deniz seviyesi araştırma projesinin gerçekleştirilmiş olmasıdır. Farklı bilim alanlarında bu konuya duyulan ilginin artmasıyla, son on yıllarda buzul erimesi ve özellikle son buzul çağı sonrasındaki deniz seviyesi değişmeleri üzerine birçok yeni çalışma yapılmıştır. Bu arada farklı kıyılarda yapılan ayrıntılı araştırmalar, yakın geçmişteki deniz seviyesi değişmelerinin, eskiden düşünüldüğü gibi her yerde aynı şekilde olmadığını, çeşitli bölgesel-yerel etkilerle bağıl (rölatif) değişme farklılıkları bulunduğunu göstermiştir. Bu nedenle, yerel çalışmalara ağırlık verilmiş ve farklı kıyı bölgelerinde birbirine uymayan deniz seviyesi değişme modelleri ortaya konulmuştur.

Kuvaterner yaklaşık son 2,5 milyon yılı kapsayan, henüz sürmekte olan son (Dördüncü) jeolojik çağdır. Bu dönemin en önemli özellikleri salınımlı iklim değişmeleri, günümüz coğrafi özelliklerinin şekillenmesi ve doğada insan varlığının başlamasıdır. Bunun özellikle son 500 bin yıllık döneminde dört belirgin iklim salınımı olmuştur.

Son buzul çağı maksimumu yaklaşık 20 bin yıl önce gerçekleşmiş, bundan sonra, küçük duraklamalarla bugünkü ılıman iklime doğru gelinmiştir. Bu süreçte yaklaşık son 12 bin yıllık dönem Holosen olarak ayrılır. Holosen, insanın doğada etkin olduğu dönemdir ve başlangıcı yaklaşık olarak Neolitik çağın başlangıcına uyar. Başka bir ifade ile, insanın yeryüzüne yayılması, kültürel ve teknolojik gelişimi Holosen'deki uygun iklim özellikleri ile mümkün olmuştur⁴.

reveals that recent sea level changes differ from previous conceptions, and there are relative differences in changes depending on regional-local conditions. Therefore, local studies have become dominant, and incompatible sea level change models have been introduced for several coastal regions.

The Quaternary is the last (fourth) and still ongoing period of geological time that encompasses the past 2.5 million years. The most distinctive features of this period include oscillating climate change, shaping of the present-day geography, and initiation of human activity in nature. From this period, particularly the past 500,000 years have witnessed four remarkable climate oscillations. The Last Glacial Maximum⁵ was approximately 20,000 years ago, progressing to today's moderate climatic conditions with small pauses along the way. During this process, the past 12,000 years are referred to as the Holocene. The Holocene is the epoch of human activities in the environment, which approximately corresponds to the beginning of the Neolithic Age. In other words, with the appropriate climatic conditions of the Holocene epoch and the dispersal of human beings throughout the Earth, cultural and technological developments became possible⁴.

³ SUESS 1885.

⁴ KAYAN 2012, 2018.

³ SUESS 1885.

⁴ KAYAN 2012, 2018.

Küresel deniz seviyesi üzerinde en belirgin değiştirici etkileri Kuvaterner'deki iklim salınımları yapmıştır. Buzul çağlarında denizlerden buharlaşp karalara kar olarak düşen yağışın, buzulları oluşturarak denizlere dönmemesi nedeniyle deniz seviyesi alçalmış, sıcak buzularası çağlarda eriyen buzul sularının okyanuslara geri dönmesi ile deniz seviyesi yükselmiştir. Son buzul çağı maksimumunda dünya denizlerinin -130 metreye kadar alçaldığı bilinmektedir⁵.

Holosen başlarında ise seviye hâlâ -50 metrelerdedir. İnsanlık tarihi bakımından önemli olan, bu son 12-10 bin yıllık dönemdeki bölgesel-yerel deniz seviyesi değişmeleridir. Bu değişmeler kıyı alanlarına yerleşen, yaşayan insan toplulukları için büyük önem taşımış, küçük deniz seviyesi değişmeleri ve buna bağlı kıyı jeomorfolojisindeki gelişme ve değişmeler farklı kültürlerin şekillenmesinde etkili roller oynamıştır.

ANADOLU'NUN EGE KIYILARINDA HOLOSEN DENİZ SEVİYESİ DEğİŞMELERİ

Anadolu'nun Ege Denizi kıyıları, girintili çıkıntılı uzanışı ile tanınır. Bu özellik, bölgesel jeolojik yapının morfolojiye yansımasının sonucudur. Ege Bölgesinin şekillenmesinde üç farklı jeodinamik etki öne çıkmaktadır. Bunlardan birincisi, kuzeyindeki yanal atımlı Kuzey Anadolu Fay sistemidir. Bunun güneyinde Anadolu batı-güneybatıya itilmektedir. İkincisi, Akdeniz okyanusal levhasının güneyden Anadolu altına sokuluyor olmasından kaynaklanan yükselmedir. Üçüncüsü ise başta Menderes masifi olmak üzere, Batı Anadolu eski temelini-dom şeklinde- yükselmesidir. Sonuç olarak Ege Bölgesi bütünüyle yükselmekte ve yerkağu faylarla bloklar halinde parçalanmaktadır⁶. Buna karşılık, Ege Denizi havzası genç tektonik hareketler evresinde (Neotektonik) genel olarak bir çöküntü (subsidence) alanıdır. Ege Bölgesinde bloklu yapının en belirgin unsurları, kuzey-güney doğrultusundaki gerilme ile oluşan batı-doğu doğrultulu dağlarla (horst) bunlar arasındaki çukur alanlardır (graben). Batı Anadolu morfolojisinde temele ait KD-GB ve KB-GD doğrultulu yapısal uzanımlara uygun faylar da önemli rol oynar. Özellikle kıyı kesiminde birbirini kesen çeşitli doğrultulardaki bu fay zonlarının morfolojiye yansımasıyla bloklu yapı içerilerden daha da belirgindir. Bu yapının Ege Denizindeki uzantısı adalarla devam eder ve bu nedenle Ege Denizinin bir adı da "Adalar Denizi"dir. Ege adaları gerçekte denizle kaplanan Ege çöküntü alanında dağ bloklarının deniz seviyesi üzerinde kalan kesimleridir (Fig. 1).

⁵ LAMBECK vd 2002; PELTIER 2002.

⁶ KUZUCUOğLU vd 2019.

The most remarkable modifying impacts on global sea level have been associated with climate oscillations during the Quaternary. Sea level decreased when the rainfall evaporating from the seas and falling on land as snow formed glaciers and did not return to the seas during the glacial epochs. Sea level increased when melting waters from glaciers returned to the seas during warm interglacial periods. It is known that the level of world seas was reduced to -130 m during the Last Glacial Maximum.

However, during the early Holocene, the sea level was still at -50 m. What is important for human history is the regional-local sea level changes over the past 12,000-10,000 years. These changes were of great importance to human communities who settled and lived in coastal areas, with small sea level changes and associated developments and changes in the coastal geomorphology playing a significant role in shaping diverse cultures.

HOLOCENE SEA LEVEL CHANGES ALONG THE AEGEAN COASTS OF ANATOLIA

The Aegean coastline of Anatolia is known for its highly indented stretch, the morphology of which reflects the regional geological structure. The shaping process in the Aegean Region presents with three different geodynamic factors. The first one is the strike-slip North Anatolian Fault system to the north. To the south, Anatolia is pushed towards the west-southwest. The second factor is the elevation that results from subduction of the Mediterranean oceanic plate beneath Anatolia from the south. The third factor is the uplift of the former Western Anatolian base like a dome, mainly the Menderes massif. Consequently, the Aegean region is uplifting as a whole, and the crust is broken into blocks by faults⁶. However, the Aegean Sea basin is generally an area of subsidence in the neotectonic period. The most prominent characteristics of the blocky structure in the Aegean Region are the west-east horsts, and the grabens between them that have been formed due to tensional stress in the north-south direction. The faults compatible with NE-SW and NW-SE trending structural extensions of the base also play an important role in the West Anatolian morphology. The blocky structure of the Aegean is more remarkable than inland, due to reflection of these intersecting fault zones in various directions, particularly on the shoreline. The extension of this structure into the Aegean Sea continues with the islands, and that is why the Aegean Sea is also referred to as "the Sea of Islands (Archipelago)". The Aegean islands actually represent sections of the mountain blocks that have remained above sea level in the subsidence of the Aegean domain (Fig. 1).

⁵ LAMBECK et al 2002; PELTIER 2002.

⁶ KUZUCUOğLU et al 2019.

Deniz seviyesinin günümüzden yaklaşık 20 bin yıl öncelerde (son buzul çağı maksimumu) -130 metrelerde olduğu zamanlarda kıyı çizgisi kuşkusuz, bugünkünden açıkta bulunuyordu. Yükselen deniz suları altında kalmış olan bu kıyıları bugün tam olarak belirlemek mümkün değildir. Ancak, batimetrik eğrilere göre kıyı çizgisinin Anadolu kıyı önündeki yapısal platformlara uyar şekilde uzandığı, aralarındaki büyük körfezlerle onları belirginleştirdiği anlaşılmaktadır [Kuzeyden güneye Biga-Gelibolu, Madra Dağı-Bergama-Ayvalık, Çeşme-Karaburun ve güneyde Menteşe yöresinden batıya uzanan (Dodecanese) platformları] (**Fig.1**). Bu durumda, Ege kıta sahanlığının bölümleri üzerinde bulunan bugünkü adalardan bir kısmı [Gökçeada, Bozcaada, Limnos (Limni), Midilli (Nesos), Sakız (Chios), Sisam (Samos), Oniki Adalar (Dodecanese)] Anadolu karasına bağlanmıştır. Bu dönemde, Batı Anadolu'nun denize açılan büyük yapısal çukurluklarının aşağı kesimlerindeki tabanları da deniz seviyesi ve kıyı çizgisine uyar şekilde bugünkünden alçaktadır. Örneğin güneyde Küçük Menderes delta ovasının ve kuzeyde Karamenderes vadisi aşağı kesiminin ortalarında,

When the sea level was at -130 meters about 20,000 years ago (Last Glacial Age Maximum), the shoreline was undoubtedly more off-shore than today. It is not possible to accurately identify this shoreline that has remained under the rising sea level. However, based on bathymetric curves, it seems that the shoreline extends in parallel with the structural platforms in front of the Anatolian coast and makes them remarkable with the large gulfs between them [Biga-Gelibolu, Madra Mountain-Bergama-Ayvalık, Çeşme-Karaburun from north to south and platforms (Dodecanese) extending from Menteşe to the west on the south] (**Fig.1**). Consequently, some of the present islands lying in the Aegean continental shelf [Gökçeada (Imros), Bozcaada (Tenedos), Limnos (Limni), Midilli (Nesos), Sakız (Chios), Sisam (Samos), Oniki Adalar (Dodecanese)] were connected to the Anatolian mainland. During that period, lower sections of floors of the big structural depressions in western Anatolia that protrude to the sea were below the present level in parallel to the respective sea level and shoreline. For example, the valley floors prior to sea invasion are accessible at

bugünkü yüzeyin 30 metre kadar altında, deniz ile kaplanmadan önceki vadi tabanlarına girilmektedir (**Fig. 2 ve 3**)⁷.

İzmir körfez alanı ise bütünüyle akarsularla işlenen bir taşkın-delta ovası olup, kıyısı Foça-Karaburun çizgisinin kuzeyinde yer almaktadır (**Fig. 1**)⁸. O zamanki deltaların da bugünkü kıyıdan açıkta ve derinde gelişmiş olmaları doğaldır.

Son buzul çağı maksimumu sonrasında dünya denizlerinin bir uzantısı olan Ege Denizi'nin yükselen suları, Anadolu'nun bloklı kıyı morfolojisi önündeki yapısal çukurluklara sokularak ilerlerken, bir yandan da bunlar arasındaki platformları kaplamaya başlamıştır. Böylece platformlar üzerindeki yapısal (tektonik) oluşumlu dağ blokları adalara dönüşmüştür.

Holosen başlarında (yaklaşık 12 bin yıl öncelerde) deniz seviyesi hâlâ bugünkünden 50 m kadar alçaktadır⁹. Batimetrik verilere göre bu aşamada Gökçeada ve Oniki Adalar anakaradan ayrılmış olmakla birlikte Bozcaada, Midilli, Sakız, Sisam ve Kos hâlâ anakaraya bağlıdır. İzmir körfezinin büyük bölümü ise yine bütünüyle bir akarsu taşkın-delta ovası durumundadır.

30 m below the present surface in the middle of the lower sections of Karamenderes Valley to the north and the Küçük Menderes Delta to the south (**Figs. 2 and 3**)⁷. The İzmir Gulf domain is a delta-flood plain entirely supplied by rivers, and the shoreline lies to the north of Foça-Karaburun line (**Fig. 1**)⁸. It is natural that the deltas of that time formed off the present shore and deep from the coast.

The rising water of the Aegean Sea, which is an extension of the world seas, following the Last Glacial Maximum, advanced toward the structural depressions before the blocked shoreline morphology of Anatolia, while covering the platforms between them. Thus, the structural (tectonic) mountain blocks on platforms were transformed into islands. In the early Holocene (around 12,000 years ago), the sea level was still 50 m lower than today⁹. According to bathymetric data, Bozcaada, Midilli (Nesos), Sakız (Chios), and Kos (Cos) were still connected to the mainland, while Gökçeada and Oniki Adalar (Dodecanese) were already isolated from the mainland at this phase. A major part of the İzmir Gulf was still a flood-delta plain.

⁷ KRAFT vd 2001; KAYAN 2002, 2019.

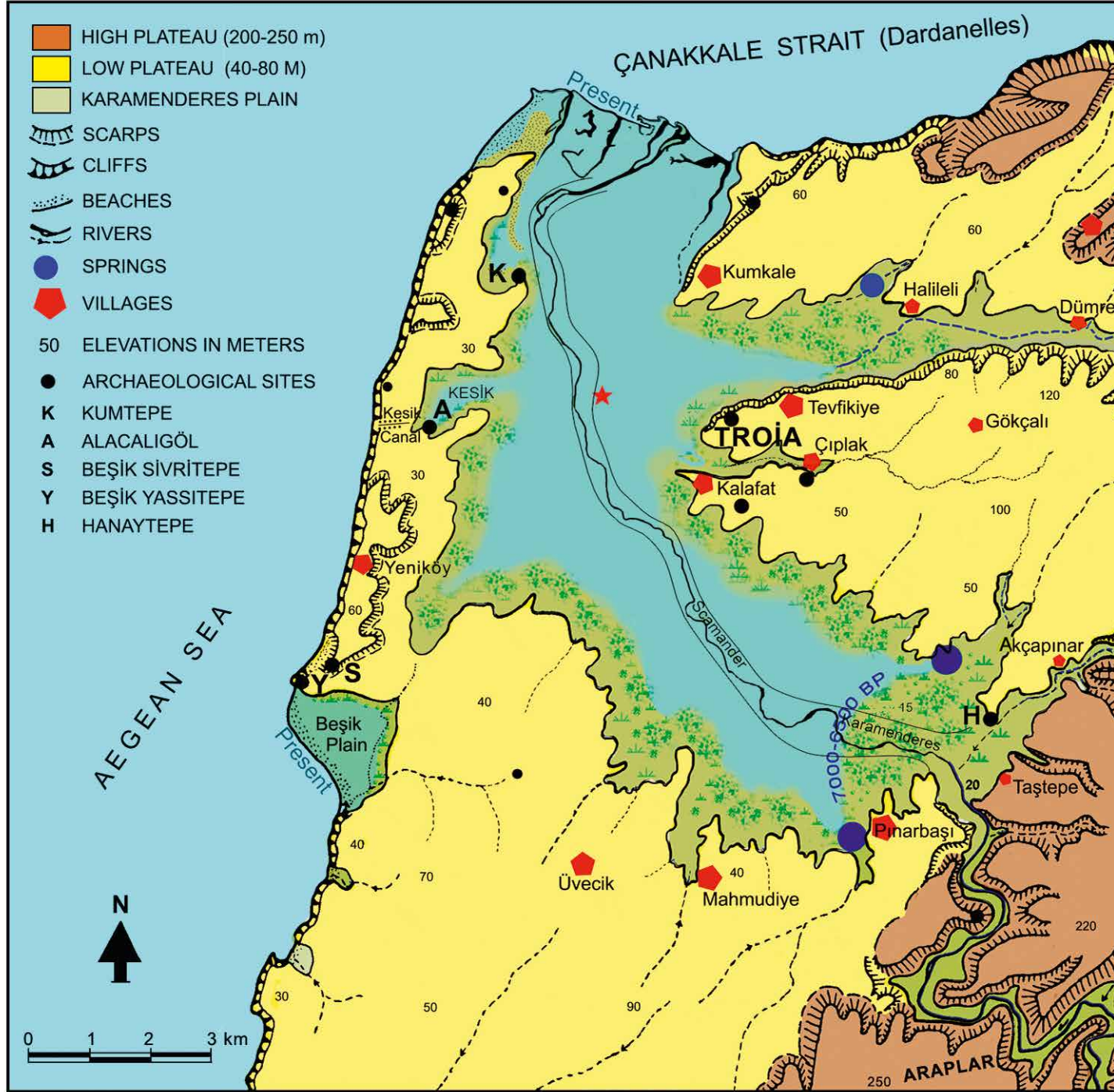
⁸ KAYAN-ÖNER 2015

⁹ KAYAN 2012, 2018.

⁷ KRAFT et al 2001; KAYAN 2002, 2019.

⁸ KAYAN-ÖNER 2015

⁹ KAYAN 2012, 2018.



Holosen, soğuk iklimlerden ılıman iklim özelliklerine geçiş zamanıdır. Bu nedenle dünya denizleri küresel olarak hızla yükselmeye devam etmiştir. Bu hızlı yükseliş günümüzden 7-6 bin yıl öncelere kadar sürmüştür. Küresel deniz seviyesi değişme eğrisine göre günümüzden 7-6 bin yıl öncelerde bir yavaşlama olmakla birlikte, yükselme günümüze kadar düzenli olarak devam etmiştir (Fig. 4). Ancak, bölgesel-yerel kıyı araştırmalarına göre son 6 bin yılda deniz seviyesindeki değişim modelleri farklılıklar göstermektedir. Örneğin Anadolu'nun Ege kıyılarında 7-6 bin yıl öncelerde

denizin bugünkü seviyesinde olduğunu gösteren veriler vardır. Kuzeyde, Beşige kıyı düzlüğünün (Troya - Karamenderes delta ovası batısı) iç kenarındaki karasal etek düzlüğünde sondajla bugünkü deniz seviyesine inildiğinde kıyı birikintilerine girilmektedir. Bunlardan alınan denizel kavkılar ^{14}C analizleri ile günümüzden 5800 yıl kadar önceye tarihlenmiştir¹⁰.

Urla İskele düzlüğünde (İzmir) ise güncel alüvyal örtü altında, bugünkü deniz seviyesinde, denizin karaya en çok sokulduğu dönemin kıyı sedimanları 4400 yıl kadar önceye tarihlenmiştir (Fig. 5)¹¹.

¹⁰ KAYAN 1991.

¹¹ GOODMAN vd 2008, KAYAN vd 2019.

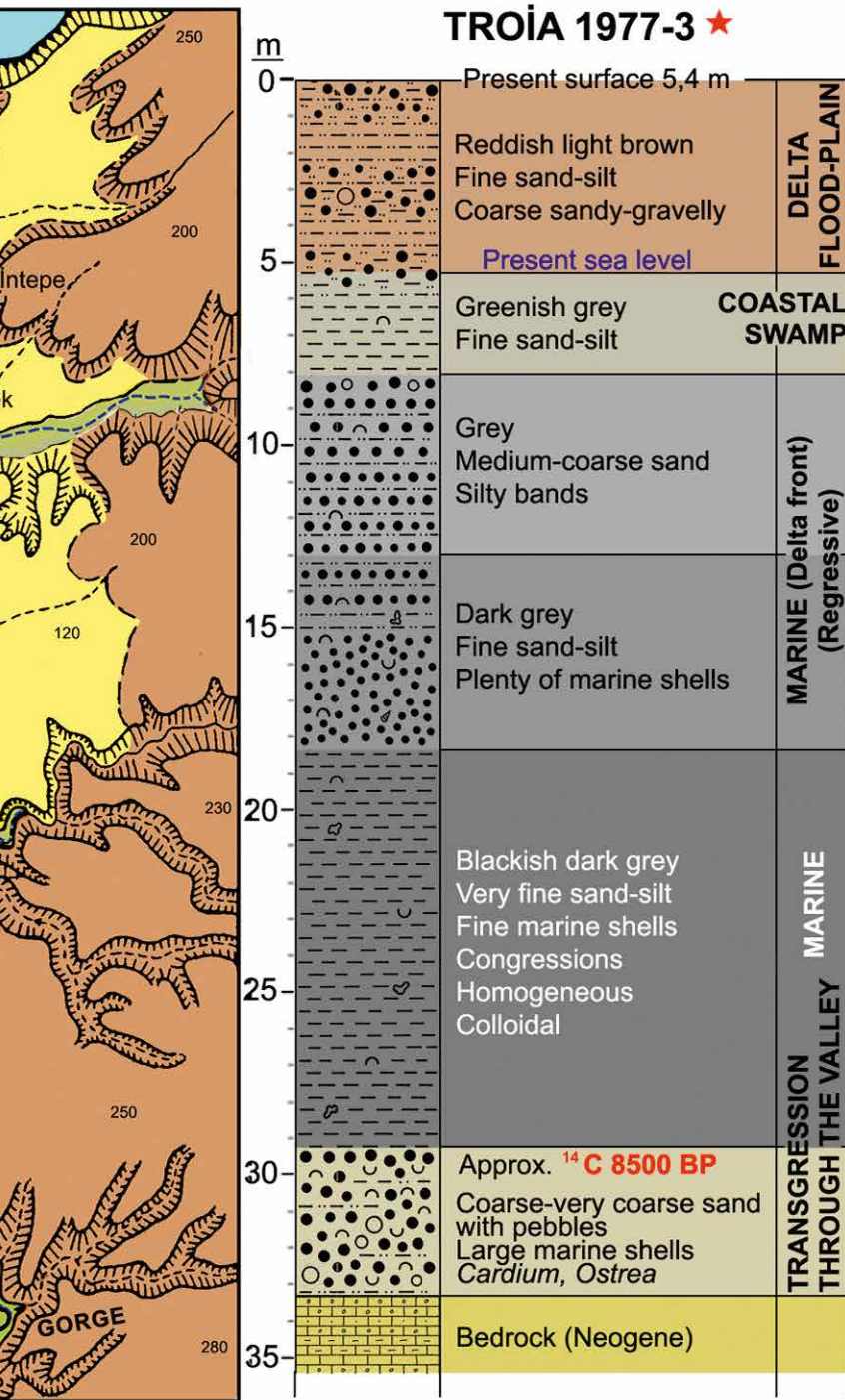


Fig. 2: Karamenderes vadisi aşağı kesimi, yüksek (1: 250-300 m) bir plato önündeki alçak (2: 40-80 m) plato sırtları arasında şekillenmiştir. Orta Holosen'de (6000 yıl kadar öncelerde) bugünkü seviyesine yükselen deniz bu vadiye 15 km kadar sokulmuş ve burada bir ırmak ağzı körfezi oluşturmuştur (3). Deniz seviyesi yükselmesinin durmasıyla körfezde alüvyon birikimi baskın duruma geçmiş ve delta gelişim süreci ile bugünkü alüvyal vadi tabanı ovasına dönüşmüştür (3 aynı alan). Sağda, kırmızı yıldızla yeri belirtilen sondaja ait stratigrafik kesit (Log) üzerinde, deniz ilerlemesi sonrasında, burada değişen ortamlarda biriken sediman birimleri gösterilmiştir. Bu çevre, uygun doğal özellikleri sayesinde Neolitik çağlardan beri farklı insan toplulukları için yerleşme ve etkinlik alanı olmuştur. Bilinen tarihi 5000 yıl öncelere dayanan Troya antik kenti, Geç Tunç Çağında Karamenderes ovası çevresindeki yerleşmeler içinde en gelişmiş olanıdır (Kayan 2014).

Fig. 2: The lower Karamenderes valley is formed between low (2: 40-80 m) plateau ridges surrounding a high (1: 250-300 m) plateau. The sea rose to its present level in the Middle Holocene (6 ky ago) and intruded into the valley for 15 km forming an a river-mouth bay here (3). As the sea level rise decreased, alluvial deposition became dominant and the bay changed into an alluvial plain with deltaic progradation (3 same areas). On the right, the stratigraphy of the sedimentary units deposited in various environments is shown in a borehole profile (log) for which the location is marked by a red star. This area has been the site of settlement and activity for different human communities since the Neolithic period due to its suitable natural features. The ancient city of Troy, dating back 5,000 years, is the most developed of the settlements in the Karamenderes plain in the Late Bronze Age. (Kayan 2014).

The Holocene is a period of shift from a cold climate to warmer climatic conditions. During this period, world seas continued to rise rapidly on a global scale, which lasted until 7,000-6,000 years ago.

According to the global sea level change curve, this rise has continued steadily until today, although it slowed down 7,000-6,000 years ago (Fig. 4). However, regional-local coastal research indicates that the models of sea level change vary for the past 6,000 years. For example, there are some data indicating that the sea was at its present level on the Aegean coasts of

Anatolia 7,000-6,000 years ago. In the north, coastal deposits are accessible when drilled to the present sea level in the terrestrial foot-plain on the inner edge of the Beşige coastal plain (Troy – west of Karamenderes delta plain).

The marine shells derived from these deposits are dated back to 5,800 years ago by ¹⁴C analysis¹⁰. In the Urla İskele plain (İzmir), coastal sediments of the period when the sea encroached upon the land were for the most part dated back to 4,400 years ago at present sea level under current alluvial cover (Fig. 5)¹¹.

¹⁰ KAYAN 1991.

¹¹ GOODMAN et al 2008, KAYAN et al 2019.

Daha genel olarak, Anadolu'nun Ege kıyı ovalarında (örneğin Küçük Menderes deltası, İzmir'in Bornova ve Urla kıyı düzlüklerinde), denizin karaya en çok sokulduğu sınıra kadar her yerde, yüzey yükseltisi ne olursa olsun, sondajlarla bugünkü deniz seviyesine inildiğinde denizel veya kıyıya ait (kumsal, kıyı bataklığı gibi) sediman birimlerine girilmektedir. Bunun anlamı, denizin günümüzden 7-6 bin yıl öncelerde bugünkü seviyesine ulaşmış olmasıdır. Küresel eğriden farklı olan bu durum tartışma konusudur. Ancak, bugün kilometrelerce içerilere kadar uzanan bu alanlarda deniz bugünkü seviyesine erişmeden bu denizel sedimanların birikmesi mümkün değildir. Denizin 6-5 bin yıl önce bugünkü seviyesine erişmesinden sonra, küçük salınımlar dışında, seviyede önemli bir değişim olmamıştır. Ancak, bu son aşamada karadan gelen alüvyon birikimi baskın duruma geçmiş, kıyı çizgisi denize doğru çekilirken, eski körfezler alüvyonlarla dolarak bugünkü delta ovaları şekillenmiştir.

More generally, marine and coastal sediments (such as beach, coastal swamp) can be reached everywhere at the present sea level up to the furthest point where the border of the sea encroached upon the land in the Aegean coastal plains of Anatolia (for example, Küçük Menderes Delta, Bornova, and the Urla coastal plains of İzmir), whatever the surface elevation. That means the sea reached its present level at 7,000-6,000 years ago. This is a controversial issue, since it is in conflict with the global curve. However, before the sea reached its present level, it would not have been possible for marine sediments to accumulate in these areas that extend inland for kilometers. There has been no significant change in the sea level, except a few fluctuations, since it reached its present level 6,000-5,000 years ago. However, at this last phase alluvial deposits from the land became dominant, and the shoreline advanced towards the sea, while former bays were filled with alluvium, shaping the present delta plains.

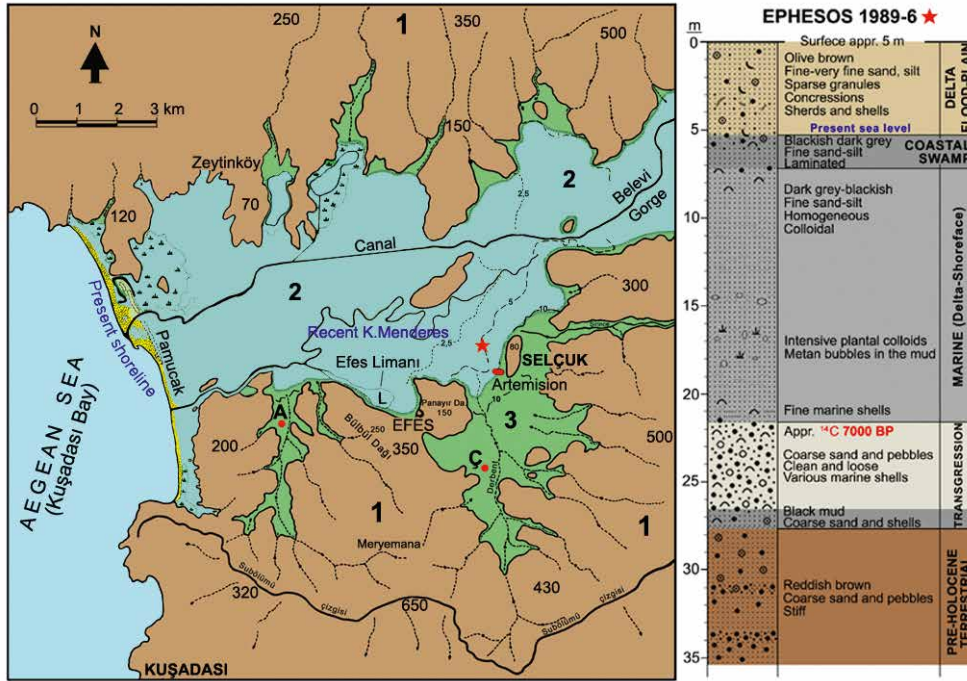


Fig. 3: Küçük Menderes vadisi aşağı kesimi, arızalı dağlık alanlar (1. Rakamlar metre olarak yaklaşık yükselti değerleridir) arasında, bir çöküntü (graben) tabanında şekillenmiştir. Orta Holosen'de (6000 yıl kadar öncelerde) bugünkü seviyesine yükselen deniz bu vadiye, gerisindeki Belevi Boğazı içlerine kadar (10 km kadar) sokulmuş ve burada geniş bir körfez oluşturmuştur (2). Yeşil alanlar (3) denizin sokulamadığı yan vadilerin aşağı kesimleridir. Buralarda Neolitik höyükler bulunmaktadır (Ç: Çukuriçi, A: Arvalya). Deniz seviyesi yükselmesinin durmasıyla körfezde alüvyon birikimi baskın duruma geçmiş ve delta gelişim süreci ile bugünkü delta-alüvyal vadi tabanı ovası şekillenmiştir (2 aynı alan). Sağda, kırmızı yıldızla yeri belirtilen sondaja ait stratigrafik kesit (Log) üzerinde, deniz ilerlemesi sonrasında, burada değişen ortamlarda biriken sediman birimleri gösterilmiştir. Bu çevre, uygun doğal özellikleri sayesinde Neolitik çağlardan beri farklı insan toplulukları için yerleşme ve etkinlik alanı olmuştur. Efes antik kenti bu kültürel gelişim sürecinin doruk noktasını temsil etmektedir (Kraft ve ar. 2001)

Fig. 3: The lower part of the Küçük Menderes valley is formed at the bottom of a graben between rough mountainous areas (1. Figures indicate approximate elevations in meters). When the sea level reached its present level in the Middle Holocene (about 6,000 years ago), water intruded into this valley up to the inner part of Belevi Strait (about 10 km) and formed a wide bay (2). The green areas (3) are the lower parts of the tributary valleys where the sea cannot intrude. Neolithic mounds are found here (Ç: Çukuriçi, A: Arvalya). As the sea level rise decreased, alluvial deposition became dominant and the bay changed into an alluvial plain with deltaic progradation (2. Same areas). On the right, the stratigraphy of the sedimentary units deposited in various environments is shown in a borehole profile (log) for which the location is marked by a red star. This area has been the site of settlement and activity for different human communities since the Neolithic period due to its suitable natural features. The ancient city of Ephesus represents the culmination of this cultural development process (Kraft et al. 2001).

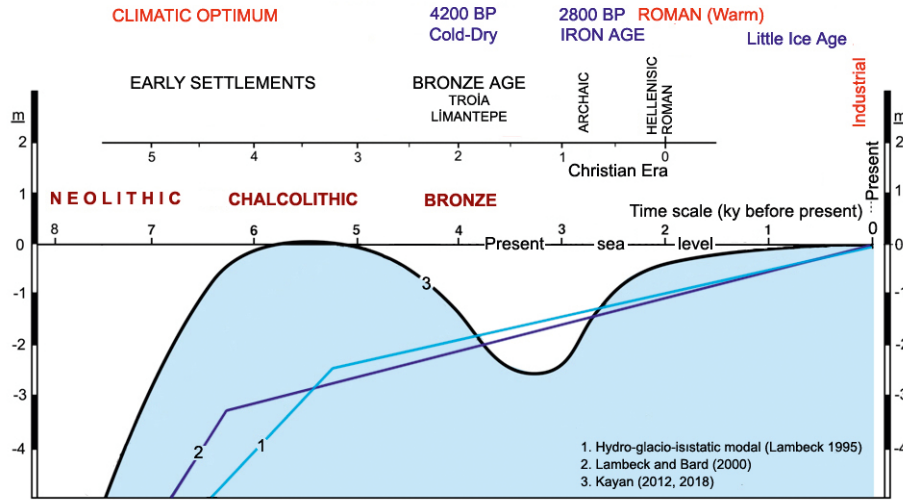


Fig. 4: Anadolu'nun Ege Denizi kıyılarında Holosen'deki rölatif (karaya göre, bölgesel) deniz seviyesi değişme eğrisinin bilinen iklim dönemleri, yerleşme tarihi ve küresel eğri ile karşılaştırması. (Kayan 2012, 2018)

Fig. 4: Comparison between the Holocene relative sea level curve of Anatolia's Aegean coastline and known different climatic periods, settlement history, and global curve. (Kayan 2012, 2018)

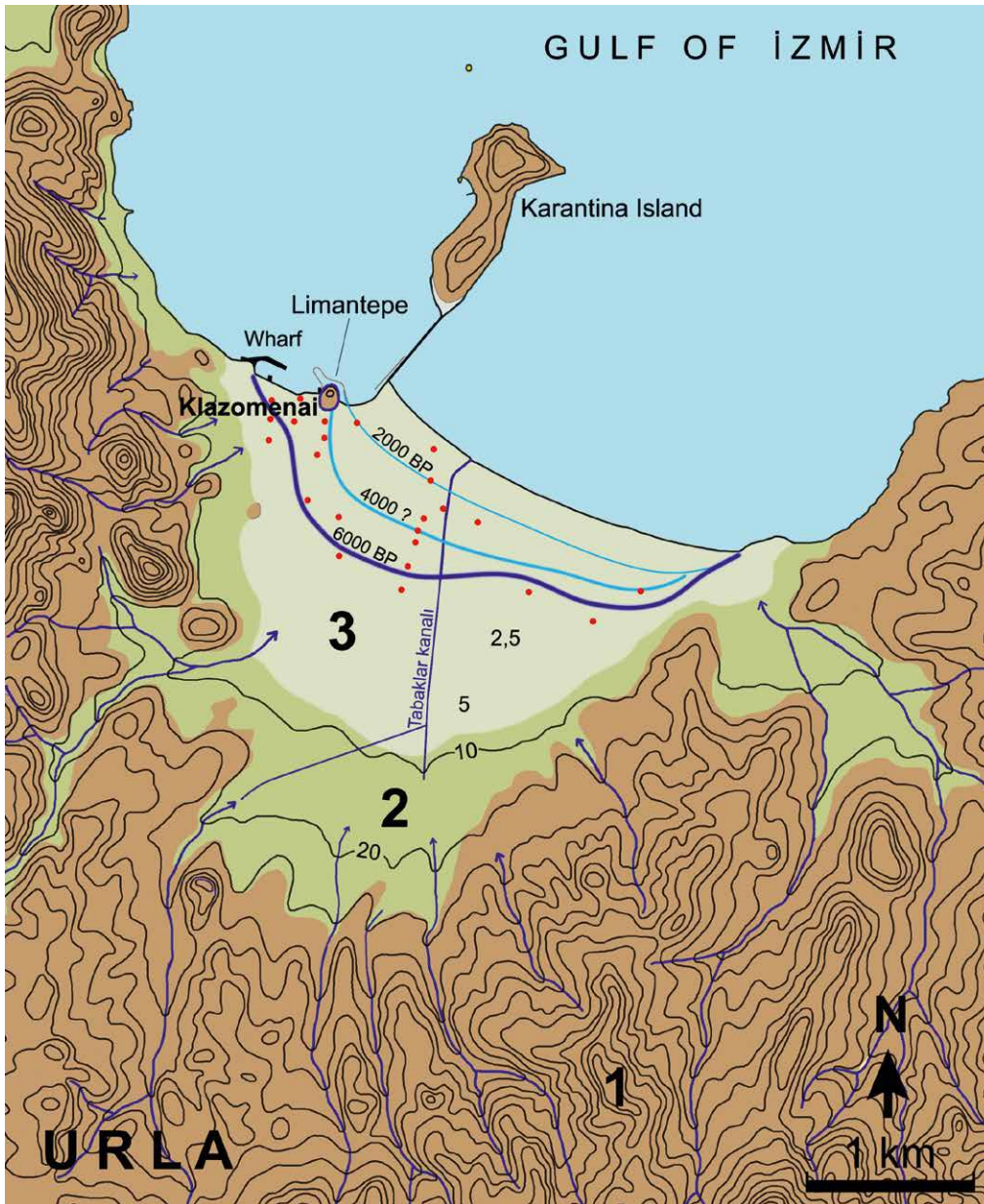


Fig. 5: Urla-İskele düzlüğü tepe ve sırtların (1) eteklerindeki birikinti yelpazeleri (2) ile çevrili küçük bir alüvyal kıyı düzlüğüdür (3). Batı kesimi, Tunç Çağında Limantepe, bunun devamı olarak Arkaik Çağda Klazomenai yerleşmelerinin gelişme alanı olmuştur. Düzlüğün kıyı kesiminde Holosen'de yükselen deniz bugünkü kıyıdan en çok 1 km kadar içeriye sokulabilmiştir. Sedimentolojik verilerle belirlenen bu kıyı yakınlarında, bugünkü deniz seviyesinde bulunan denizel kavkuların ^{14}C tarihleri 5-4 bin yıl civarındadır. Bundan sonraki zamanlarda karasal ve denizel birikme ile kıyı çizgisi denize doğru çekilmiştir. Kırmızı noktalar delgi sondaj yaptığımız yerleri göstermektedir. (Kayan ve ar. 2019).

Fig. 5: The Urla-İskele plain is a small alluvial coastal plain (3), surrounded by alluvial fans (2) at the foot of the hills and ridges (1). The western part was the development area of Limantepe in the Bronze Age and as a continuation, Klazomenai in the Archaic period. In the Holocene, rising sea on the coastal part of the plain intruded up to 1 km from the present shoreline. This paleo-shoreline is determined by sedimentological data and the ^{14}C dates of the nearby marine shells at the present sea level are around 5000-4000 years ago. Later, the shoreline retreated by terrestrial and marine deposition. Red dots indicate our drilling locations (Kayan et al. 2019).

Bu aşamada, birçok yerde yapılan araştırmalarda, 4-3 bin yıl öncelerde (Geç Tunç Çağı), birkaç metreye varan küçük bir ara alçalma olmuştur (Fig. 4)¹². Su altında kalmış kıyı yapıları bunun görünen arkeolojik kanıtlarıdır (Fig. 6 ve 7)¹³. Küresel eğride de 4-3 bin yıl öncelerin deniz seviyesi bugünkünden alçakta bulunmakla birlikte, bunun öncesinde (günümüzden 6-5 bin yıl öncelerde) denizin bugünkü seviyesine yükselmiş olması kabul görmemektedir. Ara alçalmanın bölgesel tektonik hareketlerle (Ege havzasındaki genel sübsidans) ilişkili olduğu varsayılabilir¹⁴; ancak bununla ilgili somut morfolojik veriler bulunmamaktadır. Ayrıca, bu son dönem küçük seviye oynamalarının belirtilen kanıtları Anadolu'nun Ege kıyılarının her yerinde görülmektedir. Bunun için bölge morfolojisini oluşturan tektonik blokların hepsinin aynı zamanda ve aynı ölçüde hareket etmesi gerekir ki bu da beklenebilecek bir durum değildir.

Kıyı bölgelerinin tektonik hareketlerle yükselme veya alçalmasıyla küresel modele uymayan yerel, görelî (rölatif) deniz seviyesi değişme örnekleri de yok değildir. Örneğin Akdeniz Bölgesinde, Antalya körfezi doğusunda kalan yüksek dağ kıyılarında bugünkü deniz seviyesinden birkaç metre yüksekte kıyı izleri (biyoerozyon platformları, kıyı çentikleri ve rim'ler) bulunmaktadır. Kuşkusuz, tektonik yükselme olmayan kıyılarda da bu tür izler oluşmuştur. Ancak böyle yerlerde bugün su altında kalmış olan bu izlerin doğrudan gözlenmesi mümkün değildir. Antalya körfezi batısında kalan Akdeniz kıyılarında ise, örneğin Kaş-Kekova'da, tarih çağlarına ait kıyı yapıları, su altında, Ege kıyılarındakinden daha derinde bulunmaktadır. Ege havzasında, bazı adaların kayalık yüksek kıyılarında yerel ve görelî olarak, tektonik hareketlerle yükselmiş kıyı izleri bulunmakla birlikte, böyle izlere Anadolu'nun Ege kıyılarında bugüne kadar hiç rastlanmamıştır¹⁵.

Öte yandan, Anadolu'nun Ege Denizi kıyıları için belirlenen görelî deniz seviyesi değişme modeli Holosen'deki iklim değişimleri ile karşılaştırıldığında, belirgin bir uyum görülmektedir (Fig. 4). Orta Holosen'de denizin bugünkü seviyesine erişmesi, en az günümüz kadar sıcak olan Klimatik Optimum dönemi ile uyumludur. 4-3 bin yıl önceki küçük alçalma ise 4200 ve 2800 yıl önceki soğuk iklim dönemleri ile uyumludur. Bundan sonraki Roma Sıcak iklim dönemi denizi tekrar bugünkü seviyesine yükseltmiş olmalıdır¹⁶. Ancak, yukarıda belirtildiği gibi, ayrıntılı izotop analizlerine göre yapılan küresel iklim değişme modellerinin, iklim-deniz seviyesi arasındaki bu uyumlu ilişkiyi yansıtmadığı görülmektedir¹⁷.

At this phase, studies carried out at several sites show a small descend of a few meters from sea level occurred around 4,000-3,000 years ago (Late Bronze Age) (Fig. 4)¹². Submerged coastal structures provide visible archaeological evidence (Figs. 6 and 7)¹³. According to the global curve, although sea level was lower than today 4,000-3,000 years ago, it is generally not accepted that the sea level rose to its present level before 6,000-5,000 years ago. It is probable that intermediate decline is associated with regional tectonic movements (general subsidence in the Aegean basin);¹⁴ however there is no concrete morphological data to prove this. Furthermore, the evidence of these small-scale fluctuations can be seen across the Aegean coast of Anatolia. This requires movement of tectonic blocks comprising the regional morphology at the same time and to the same degree, which is quite unlikely.

There are also examples of local, relative sea level changes that do not conform to the global model in terms of the rise and decline of coastal zones due to tectonic movements. For example, in the Mediterranean region, there are coastal traces (bioerosion platforms, coastal notches and rims) a few meters above present sea level on the skirts of high mountains lying to the east of Antalya Gulf. Of course, such traces have also been formed on coasts without any tectonic rises. Nevertheless, it is not possible to directly observe such traces, which remain underwater today. On the other hand, on the Mediterranean coast lying to the west of the Antalya Gulf, for example in Kaş-Kekova, coastal buildings from antiquity are submerged deeper than those on the Aegean coasts. Although there are traces of coastline raised by local and relative tectonic movements on the high rocky coasts of some islands in the Aegean basin, such traces have never been found on the Aegean coasts of Anatolia¹⁵.

On the other hand, a comparison of the relative sea level change model mapped for the Aegean coasts of Anatolia with climate changes in the Holocene shows that there is a remarkable consistency (Fig. 4). The sea reaching its present level during the Middle Holocene is consistent with the Climatic Optimum Period, which was as warm as today. The small decline that occurred 4,000-3,000 years ago is consistent with the cold climatic conditions of 4,200 and 2,800 years ago. The subsequent Roman Warm Climate must have raised the sea to its present level again¹⁶. However, as already mentioned above, global climate change models, which are based on comprehensive isotope analyses, do not reflect this consistent relationship between climate and sea level¹⁷.

¹² KAYAN 1997, BRÜCKNER vd 2010.

¹³ ERKANAL 2014, ARSLAN vd. 2018.

¹⁴ BRÜCKNER vd 2010.

¹⁵ KAYAN 2004, 2012.

¹⁶ ERLAT 2009; KAYAN 2012, 2018.

¹⁷ WAELBROECK vd 2002.

¹² KAYAN 1997, BRÜCKNER et al 2010.

¹³ ERKANAL 2014, ARSLAN et al. 2018.

¹⁴ BRÜCKNER et al 2010.

¹⁵ KAYAN 2004, 2012.

¹⁶ ERLAT 2009; KAYAN 2012, 2018.

¹⁷ WAELBROECK et al 2002.

Sonuç olarak bu uyumsuzlukların nedenlerinin belirlenmesi için yeni verilerle daha ayrıntılı araştırmalara gerek bulunduğu anlaşılmaktadır. Ancak, insanlık açısından daha önemli olan, bölgesel-yerel farklılıkların nedenlerinden önce, deniz seviyesi değişmelerinin gözlenebilen sonuçlarının bilinmesidir. Bu nedenle, bugün için jeoarkeolojik değerlendirmelerin doğru gözlemlerle sağlanmış mevcut veri ve bilgilere göre yapılması esas olmalıdır.

Erken Holosen'de deniz seviyesi hızla yükselirken, denize doğru uzanan dağlar önündeki kıyılarda yatay doğrultuda kıyı çizgisinin yeri fazla değişmemiştir. Buna karşılık, dağ blokları arasındaki çukur alanlarda deniz ilerlemesi daha belirgin olmuş, özellikle büyük akarsuların yerleştiği oluklar (graben) içinde deniz ilerlemesi onlarca kilometreyi bulmuştur (Örneğin kuzeyde Karamenderes aşağı vadisinde 17 km, güneyde Selçuk ovasında 10 km, Büyük Menderes vadisinde - tartışmalı olmakla birlikte- 40 km) (Fig. 2 ve 3)¹⁸. Bununla birlikte, batı-doğu doğrultulu yapısal uzanımlara uygun yerçekillerinin (dağlar ve aralarındaki çukurluklar: horst ve grabenler) KB-GD ve KD-GB doğrultulu faylarla da kesilmesi nedeniyle, büyük akarsulardan çoğu, kıyı yakınında dağ blokları arasındaki dar boğazlardan geçerek denize açılmaktadır (Fig. 1). Bunun sonucu olarak akarsuların taşıdığı alüvyonların büyük bölümü içerideki çukurlukları doldurmakta ve kıyıya ulaşan miktar azalmaktadır. Aynı nedenle, böyle yerlerde denizin içerilere sokulması da sınırlanmıştır (Küçük Menderes, Gediz, Bakırçay). Sadece Büyük Menderes bunlardan farklıdır ve deniz içerilere daha çok ilerlemiştir. Buna karşılık kuzeyde Edremit, güneyde Gökova körfezleri, geride buraları alüvyonlarla dolduracak büyük akarsular bulunmadığı için yüksek kıyı körfezler olarak şekillenmiştir.

Sığ ve alçak kıyıları, özellikle delta kıyıları, karadan gelen alüvyonların kıyıda işlenerek birikmesiyle sürekli değişirler. Bu nedenle buralarda da eski kıyı çizgilerinin doğrudan izlenmesi mümkün değildir. Bununla birlikte, böyle yerlerde yapılan sığ sondajlarla alınan sediman örnekleri, kıyıdaki değişmelerle ilgili bilgiler sağlanmasını mümkün kılmaktadır (Fig. 2 ve 3). Örneğin kuzey Ege'de Karamenderes vadisi aşağı kesiminde 7-6 bin yıl öncelerde denizin bugünkü Çanakkale Boğazı kıyısından 17 km içerideki Pınarbaşı yakınlarına kadar sokulduğu sedimantolojik ve paleontolojik verilerle belirlenmiş, ¹⁴C analizleri ile tarihlenmiştir¹⁹.

Consequently, it seems that further detailed studies and new data are required in order to discover the causes of these inconsistencies. Nevertheless, for human history as a whole, knowing observable consequences of sea level changes is more important than knowing causes of regional-local differences. Therefore, today it is essential to conduct geoarchaeological evaluations with available data and information that are obtained by accurate observations.

While the sea level rose rapidly during the Early Holocene, in the area before the mountains extending towards the sea the shoreline has not changed much on the coast in a horizontal direction. However, transgression of sea is more evident in the depression areas between mountain blocks, reaching to tens in kilometers, especially in troughs occupied by large rivers (graben) (for example, 17 km in the lower valley of Karamenderes on the north, 10 km in the Selçuk plain on the south, and 40 km, despite being controversial, in the Büyük Menderes) (Figs. 2 and 3)¹⁸. Additionally, the majority of big rivers flow through narrow straits between mountain blocks near the shore line, protruding to the sea. This is due to the fact that geographical formations (mountains and the depressions between them: horsts and grabens) which correspond to west-east structural extensions, intersect with NW-SE and NE-SW faults, (Fig. 1). As a result, most of the alluvium transported by rivers occupies the inland troughs, reducing the amount that reaches the sea. For a similar reason, encroachment of the sea is also confined in such places (Küçük Menderes, Gediz, Bakırçay). Only the Büyük Menderes River is different, where the sea moved further inland. However, Edremit Gulf to the north and Gökova Gulf to the south have been formed as bays with high coasts due to absence of big rivers behind them that would fill them with alluvium.

Shallow and low shores, particularly delta shores, constantly change due to processing and accumulation of alluvial deposits from the land. Thus, it is not possible to observe former shorelines directly in such places. However, sediment samples from shallow drillings make it possible to obtain information about coastal changes (Figs. 2 and 3). For example, according to ¹⁴C analysis, sedimentological and paleontological data reveal that 7,000-6,000 years ago in the lower section of Karamenderes Valley in the north Aegean, the sea encroached near Pınarbaşı, which is located 17 km inland from the shores of present Çanakkale Strait (Dardanelles)¹⁹.

¹⁸ MÜLLENHOFF 2005.

¹⁹ KRAFT vd 1980, KAYAN 2014.

¹⁸ MÜLLENHOFF 2005.

¹⁹ KRAFT et al 1980, KAYAN 2014.

Burada dikkati çeken husus, Pınarbaşı önlerinde, Karamenderes'in Araçlar boğazından çıkıp taşkın-delta ovasına açıldığı kesimde, 15 m kadar yükseklikteki yüzeyden sondajlarla bugünkü deniz seviyesine inildiğinde, 6 bin yıl önce deniz seviyesinde bulunan ortamlara ait kıyı birikintilerine girilmesidir (Fig. 2). Bu da bu kıyılarda görelî (rölatif) olarak, deniz seviyesinin günümüzden 6 bin yıl öncelerde bugünkü seviyesine ulaşmış olduğunun önemli kanıtlarındandır.

Deltalar gibi alçak kıyılarda kıyı çizgisinin yeri, deniz seviyesi değişmesi ve karadan gelen alüvyonların birikmesi arasındaki dengeye göre belirir. Kuşkusuz, deniz seviyesinin alçakta bulunduğu zamanlarda da akarsular kıyıya alüvyon getirmiştir. Ancak, deniz seviyesi yükselmesinin hızlı olduğu erken Holosen'de (12-7 bin yıl öncelerde), akarsuların getirdiği alüvyonlar, hızla ilerleyip genişleyen deniz alanını (ırmak ağzı körfezleri) doldurmaya yetmemiştir. Orta Holosen'de (7-5 bin yıl öncelerde) deniz seviyesi yükselme hızı yavaşladığı veya durduğu için akarsuların getirdiği alüvyonların akarsu ağzı körfezlerde birikimi daha baskın olmuş, bu defa delta

It is important to note that in the section where Karamenderes leaves the Araçlar Strait before Pınarbaşı and protrudes into the flood-delta plain, coastal deposits at sea level for 6,000 years ago are accessible when the present sea level is drilled from a 15 m high surface (Fig. 2). This is important evidence for the fact that, in a relative sense, the sea reached its present level at 6,000 years ago on this coastline.

On low shores such as deltas, location of the shoreline is determined according to the balance between sea level change and the deposit of alluvium from the land. Undoubtedly rivers transported alluvium to the shore even when the sea level was low. However, in the early Holocene (12,000-7,000 years ago) during which the sea level rise was rapid, alluvium transported by rivers was not enough to fill marine space (lower valley bottoms) that moved and expanded rapidly. During the Middle Holocene (7,000-5,000 years ago) alluvial deposition was more dominant in coastal embayments as the rise in sea level slowed or ceased, so the shoreline advanced toward the sea due to the protrusion of delta plains at this time (Fig. 8). It is not possible to doc-

düzlüklerinin ilerlemesiyle kıyı çizgisi denize doğru çekilmiştir (Fig. 8). Bu süreci deltalarda yüzeyden belirlemek iki nedenle mümkün değildir. Birincisi, deltalar karadan gelen alüvyonların kıyıda işlenerek birikmesiyle şekillerin sürekli değiştiği yerlerdir. Öte yandan, delta ilerledikçe akarsuyun boyu uzar, profili yatıklaşır, taşıma gücü azalır ve taşkın frekansı artar. Böylece geride kalan düzlükler alüvyonlarla kaplanır ve yüzey giderek yükselir. Bu nedenle, buralarda altta kalan kıyı ortamları (kıyı önü, kumsal, kıyı korondu, lagün, kıyı bataklığı, kumul gibi), ancak sığ sondajlarla alınan sediman örneklerinin analizleriyle belirlenebilmektedir. Bunların kronolojik verilerle (¹⁴C analizleri, arkeolojik veriler gibi) birleştirilmesiyle de paleocoğrafya haritaları hazırlanmakta, deniz seviyesi ve kıyı çizgisi değişimleri izlenebilmektedir.

Geç Tunç Çağında deniz seviyesinin 2-3 m kadar alçalması alüvyon birikmesi ve delta ilerlemesini hızlandırmış olmalıdır. Örneğin Troya önlerindeki Karamenderes delta ovasının bu dönemdeki ilerleme hızının arttığı paleocoğrafya değerlendirmeleriyle ortaya konulabilmiştir (Fig. 3).²⁰

ument this process in deltas from the surface for two reasons. Firstly, the shape of a delta changes continuously with the processing and deposition of alluviums on the shore. Secondly, as the delta advances, the river channel gets longer, its profile becomes less inclined, its ability to transport is diminished, and flood frequency increases. Thus, the remaining plains become covered with alluvium, and the surface increasingly rises. Consequently, coastal sedimentary environments (such as shoreface, beach, sandbar, lagoon, coastal swamp, and sand dune) can only be identified by analysis of sediment samples obtained by shallow drilling. In order to monitor sea level and shoreline changes, these need to be combined with chronological data (such as ¹⁴C analysis, archaeological data) to produce paleogeographic maps.

A decrease in sea level of around 2 to 3 meters during the Late Bronze Age would have accelerated the deposit of alluvium and the advance of the delta. For example, paleogeographic studies reveal that the advancing rate of the delta increased in the Karamenderes delta plain in front of Troy during that period (Fig. 3).²⁰

²⁰ KAYAN 2014.

²⁰ KAYAN 2014.

Buna karşılık, bu alçalmadan sonra, bugüne doğru olan son küçük yükselmeye denizin karaya doğru ilerlemesinin izleri belirgin değildir. Bunun nedeni, Erken Holosen'dekine göre çok daha yavaş olan bu birkaç metrelik yükselme sırasında karadan gelen alüvyon miktarının, yükselme ile olan ilerlemeyi karşılayabilmiş olmasıdır. Yeterli alüvyon biriken kıyılarda deniz seviyesindeki küçük yükselmeye rağmen, son dönemde delta ilerlemesi belirgin olarak devam etmiştir. Bu durumda, birbirine çok benzeyen kıyı ortamlarına (örneğin kıyı bataklığı ve lagün) ait sediman ve mikrofosiller aynı alanda karışmışlardır. ¹⁴C gibi tarihlendirme analizleri de bu karışma nedeniyle genellikle güvenilir olmamaktadır (bazen aynı seviyeden alınan örneklerin çok farklı tarihler vermesi veya stratigrafiye uymayan tarihlerin çıkması gibi). Bu nedenlerle, son küçük seviye oynamalarının morfolojik ve kronolojik olarak ayırt edilmesi her yerde mümkün olamamaktadır. Sonuç olarak, özellikle artık çağlara ait kıyı yapılarının bugün deniz seviyesi altında bulunması, Geç Tunç Çağından beri (yaklaşık son 3 bin yılda) deniz seviyesinin 2-3 m kadar yükseldiğinin görünür kanıtı olarak değerlendirilmektedir. Bu durum küresel deniz seviyesi değişimine de uymaktadır. Ancak, küresel eğrinin dayandığı veriler Orta-Geç Holosen salınımlarını yansıtmamaktadır (Fig. 4).

JEOARKEOLOJİK DEĞERLENDİRMELER

Jeoarkeoloji, tarih öncesi çağlardan beri insan ile onun fiziki çevresi arasındaki ilişkilerin değerlendirilmesinde yer-doğa bilim alanlarından, bunların araştırma yöntemlerinden yararlanılmasıyla gelişen çok disiplinli bir bilim dalıdır. Burada jeo- ön eki sadece veya öncelikle jeoloji-arkeoloji ilişkisini yansıtmakla birlikte, jeoarkeoloji, günümüzdeki uygulamalarında çok geniş bir konu çeşitliliği içermekte, yer bilimlerini sınırlarının çok ötesine yayılmış bulunmaktadır. Bununla birlikte, insan yaşamı için gerekli her türlü varlığın yeryüzünde olması, yeryüzünün bilimi olan coğrafyayı jeoarkeolojide öne çıkarmaktadır. Coğrafya, yeryüzünde etkili olan tüm fiziksel ve biyolojik süreçleri, insanın bu yüzey üzerindeki varlık ve gelişimini, kültürlerin şekillenmesinde ve çeşitlenmesinde doğal çevre özelliklerinin etkilerini inceler. Coğrafyanın veri kaynağı bugünkü yeryüzüdür. Ancak bugünkü görünüm zaman içinde süren bir gelişimin sonucudur. Bu nedenle, bugünü anlamak için geçmişe bakılması, farklı süreçlerin ve zaman içinde bunların etkileşimlerinin izlenmesi gerekir. Böyle bir yaklaşım da paleocoğrafya olarak tanımlanır. Buna göre, konusu eski zamanlara ait olduğu için arkeolojik araştırmalar kapsamında kurulması gereken mekansal ilişkiler, ağırlıklı olarak paleocoğrafya alanına girmektedir²¹.

²¹ KAYAN 2018.

Nevertheless, subsequent to the decline, traces of sea encroaching upon land during the most recent small rise up to today are not apparent. This is because the amount of alluvium from the land during this several-meter rise, which was much slower than in the Early Holocene, was able to counterbalance the advance of the sea resulting from this rise.

Despite a small rise in sea level on the coasts with sufficient alluvial deposit, advance of the delta has predominately continued during the recent period, resulting in a mixture of sediment and microfossils belonging to similar littoral environments (e.g., coastal swamps and lagoons). Due to this mixture, dating analysis such as ¹⁴C is often not reliable (sometimes samples from same level produce very diverse dates or dates which are incompatible with stratigraphy). Therefore, it is not possible to morphologically and chronologically distinguish the most recent minor fluctuations in level everywhere. As a result, submerged coastal structures, particularly those from antiquity, are considered to be visible evidence of sea level rise up to 2-3 m since the Late Bronze Age (over the past 3,000 years). This is also consistent with global sea level change. Nevertheless, the data on which the global curve is based do not reflect the Middle to Late Holocene fluctuations (Fig. 4).

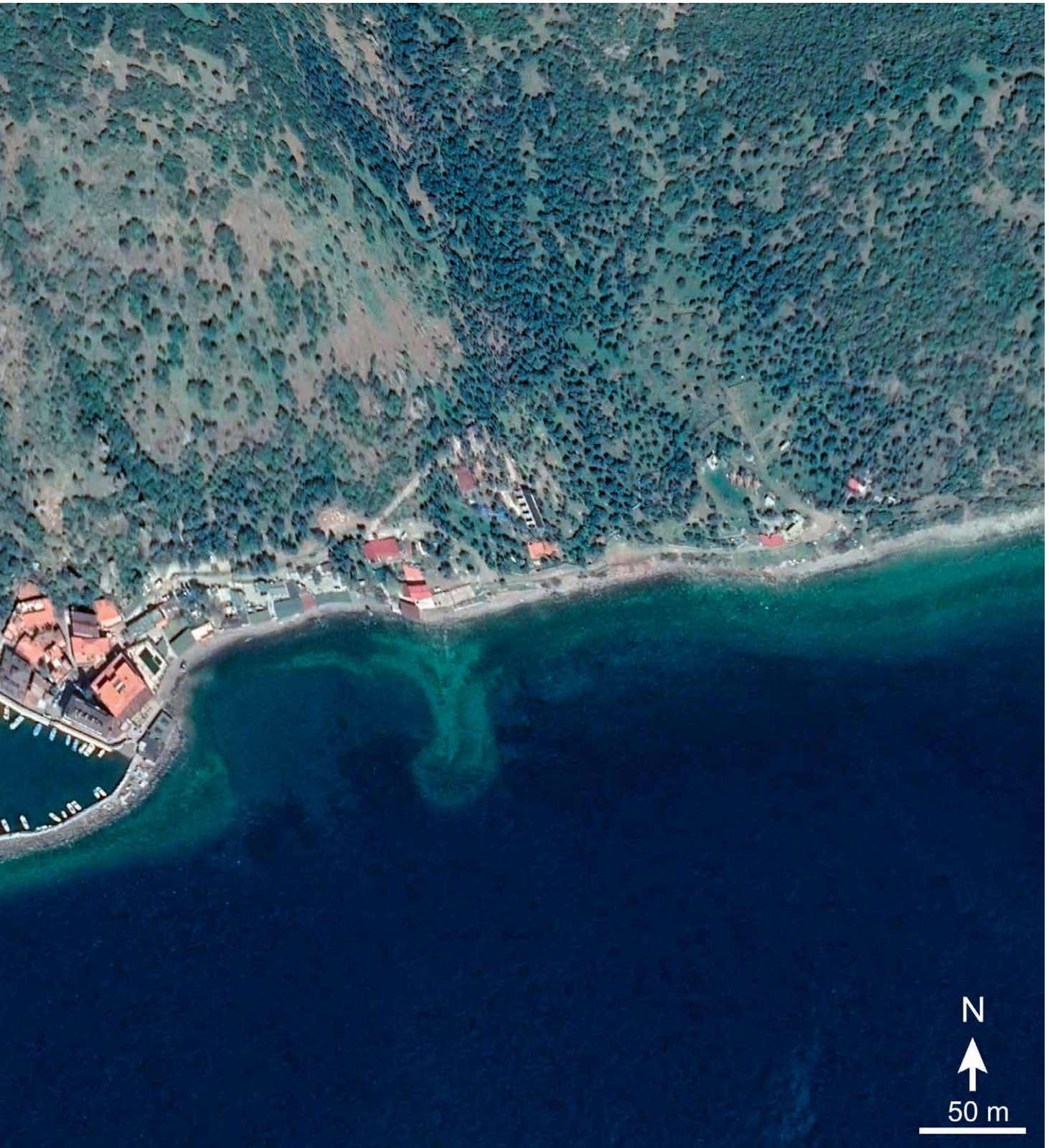
GEOARCHAEOLOGICAL EVALUATIONS

Geoarchaeology is a multidisciplinary science that has benefited from geological and natural sciences and the research methods of those fields, which evaluate the relationship between humans and their physical environments from prehistoric times to the present. Although the prefix geo- here is used primarily to reflect the relationship between geology and archaeology, today geoarchaeology covers a wide range of topics, extending beyond the limits of geology. Additionally, the existence of all sorts of resources required for human life on earth pull geography, an earth science, into the forefront of geoarchaeology. Geography examines all of the physical and biological processes that impact the Earth and the existence and evolution of humankind on its surface, as well as the role of natural environmental conditions in shaping and diversifying cultures. Geography's data source is today's Earth, where the appearance of today's landscape is a result of development over time. Therefore, in order to understand the present, it is necessary to look at the past and observe various processes and their interaction over time; this approach is defined as paleogeography. Accordingly, historical spatial relations that should be established within the scope of archaeological studies are mainly in the field of paleogeography²¹.

²¹ KAYAN 2018.



Fig. 6: Yüksek kıyılar önünde, su altında kalmış liman yapılarına bir örnek: Assos limanı. Arkaik Çağdan beri varlığı bilinen mendirek yapısı (Arslan vd. 2018). Güncel mendirek altında da su altında kalmış eski bir mendirek bulunmaktadır.
Fig. 6: An example of submerged harbour structures on a steep mountain coast: Assos harbour of the Archaic period (Arslan et all. 2018). There is an old breakwater too, under the current breakwater.



Ege havzası, ılıman Akdeniz iklim bölgesi içinde insan yaşamı için çok elverişli, özel bir yer tutar. Anadolu'nun Ege Denizi kıyılarının çok girintili çıkıntılı uzanışına bağlı ortam çeşitliliği ise özellikle denizci toplumlar için tarih öncesi çağlardan beri çok çekici olmuştur. Denize uzanan yüksek dağ kıyıları arasında, akarsuların yerleşip şekillendiği çukurlukların kıyılarında deltalar gelişmiştir. Deltalar morfolojileri hızla değişen, buna uygun olarak çeşitli yaşama ortamlarının oluştuğu çok özel alanlardır (Fig. 8).

Neolitik Çağda (yaklaşık 11-7 bin yıl önceler), deniz seviyesi yükselerek denize açılan vadi çukurluklarına sokulurken, doğal kaynaklara daha bağımlı olan insan toplulukları böyle alanların ekolojik zenginliğinden yararlanmak için buraları yerleşme yeri olarak tercih etmişlerdir. Kara tarafındaki akarsular tatlı su gereksinimini karşılamıştır. Tatlı-tuzlu suların karıştığı kıyı zonlarında ise kıyı önündeki sığlıklar ve kıyı gerisindeki lagünler, uygun biyolojik özellikleri ile çeşitli ve zengin denizel besin kaynağı (balık ve kabuklu deniz canlıları) alanları meydana getirmiştir. Bunlarla beslenen birçok su kuşları ve tatlı suya gelen kara av hayvanları ise diğer bir hazır besin kaynağı olmuştur. Öte yandan, yerleşik hayata geçen insan için yeni oluşan alüvyal alanların (taşkın ovaları) tarım için uygunluğu, gerideki dağlık alanların henüz tahrip edilmemiş orman varlığı (av alanı ve yapacak-yakacak ağaç varlığı ve giderek odun kömürü üretim kaynağı olarak) da önemli zenginlik kaynaklarıdır. Coğrafi çevrenin özelliklerinden kaynaklanan bu zenginlik ekonomik, kültürel ve teknolojik gelişmeye yansımış, giderek bölgenin özgün ürünleri olan zeytin-zeytinyağı ve üzüm-şarap üretimi öne çıkmıştır. Bunların deniz yoluyla ticareti, limanların ve liman kentlerinin gelişimine neden olmuştur. Kalkolitik ve Tunç çağlarından başlayarak önem kazanan maden ve odun kömürü ticaretiyle liman kentleri gelişmiş, kentler daha da zenginleşmiştir.

Neolitik ve Kalkolitik çağlarda insan etkinliklerinin yoğunluk kazandığı, özellikle deltalar gibi alçak kıyı alanlarında, deniz seviyesi yükselmesinin yavaşlaması veya durması ile alüvyon birikimi daha etkin duruma geçmiş ve alüvyonlarla kaplanan bu alanların günümüzde belirlenmesine imkân kalmamıştır. Öte yandan, Anadolu'nun Ege kıyılarında belirlenebilen Tunç Çağı yerleşme yerlerinin temelleri ve bu çağlarda insanların liman olarak kullandıkları kumsallar (örneğin Urla-Limantepe), bugün deniz seviyesi altındadır (Fig. 7).

The Aegean basin is a very suitable place for human life within the temperate Mediterranean climate. Particularly for seafarers, the diversity of environment resulting from the highly indented nature of the Aegean coasts of Anatolia has been an attraction since prehistoric times. Deltas developed between high mountains that extend to the sea on the shores of depressions that contain streams. Deltas are very special areas with rapidly changing morphology, and accordingly enable the formation of various habitats (Fig. 8).

During the Neolithic Age (around 11,000-7,000 years ago), when the sea level rose and the sea encroached upon valley depressions, human groups preferred to settle down in such places in order to benefit from abundant ecological resources. The streams on the land side met their freshwater requirements. In the coastal zones where freshwater and saltwater were mixed, the shallows in front and lagoons behind the shores created areas of diverse and rich marine food resources (fish and shellfish) with their useful biological features. Many waterfowl and terrestrial game animals that relied upon these resources for nourishment become another source of nutrition. On the other hand, after human transition to settled life, the potential of newly-formed alluvial areas (flood plains) for agriculture, and the presence of still-untouched forests in the mountainous areas behind (as a source for hunting areas, firewood, and the gradual use of wood-coal as a resource for production) were among other major resources. The wealth resulting from resource-rich aspects of the geographical environment that became reflected in economic, cultural, and technologic development, as well as olive-olive oil and grape-wine production (products specific to the region), increasingly came to the forefront. Trade by sea resulted in the development of harbors and harbor cities. The metal and wood-coal trade, which became important beginning in the Chalcolithic and Bronze Ages, led to flourishing harbor cities and prosperous cities inland.

During the Neolithic and Chalcolithic ages in low coastal areas, such as deltas where human activity was more intensified, slowing or ceasing of sea level rise resulted in further activation of alluvial deposits. This has made it impossible for us to identify settlement areas covered by alluvial deposits. On the other hand, the foundation of Bronze Age settlements that can be identified on the Aegean coasts of Anatolia and the beaches that were used as harbors during these periods (e.g., Urla-Limantepe) are now below sea level (Fig. 7).



Fig. 7: Urla-İskele kıyısında Limantepe “Tunç Çağı batık limanı”nın Google Earth (16.03.2019) görüntüsü. Liman mendireği gerçekte doğal oluşumlu bir su altı kum birikimidir (1.kıyı oku: spit). Sonraki çağlarda (Arkaik) bunun taşlarla güçlendirildiği veya yükseltildiği belirtilmektedir (Erkanal 2014). Buna göre mendirek gerisindeki korunaklı alan (2) liman olarak kullanılmıştır. Liman içinde ve mendirek üzerinde sualtı arkeolojik kazıları yapılmaktadır (dörtgen şeklindeki izler). Karada ise Tunç Çağından başlayan yerleşme kalıntıları bulunmakta, burada da kazılar yapılmaktadır (3).

Fig. 7: Google Earth image (16.03.2019) of the “Bronze Age sunken harbour” on the Urla-Iskele coast. The breakwater is, in fact, a natural underwater sand deposit (1. Coastal spit). In later periods (Archaic) this was apparently strengthened or raised with stones (Erkanal 2014). For this reason, the protected area (2) in the remains of the breakwater was used as a harbor. Within the harbor and upon the breakwater, archaeological excavations are in process (traces in the shape of a square). On land, as there are settlement remains beginning from the Bronze Age, excavations are in process here, as well (3).



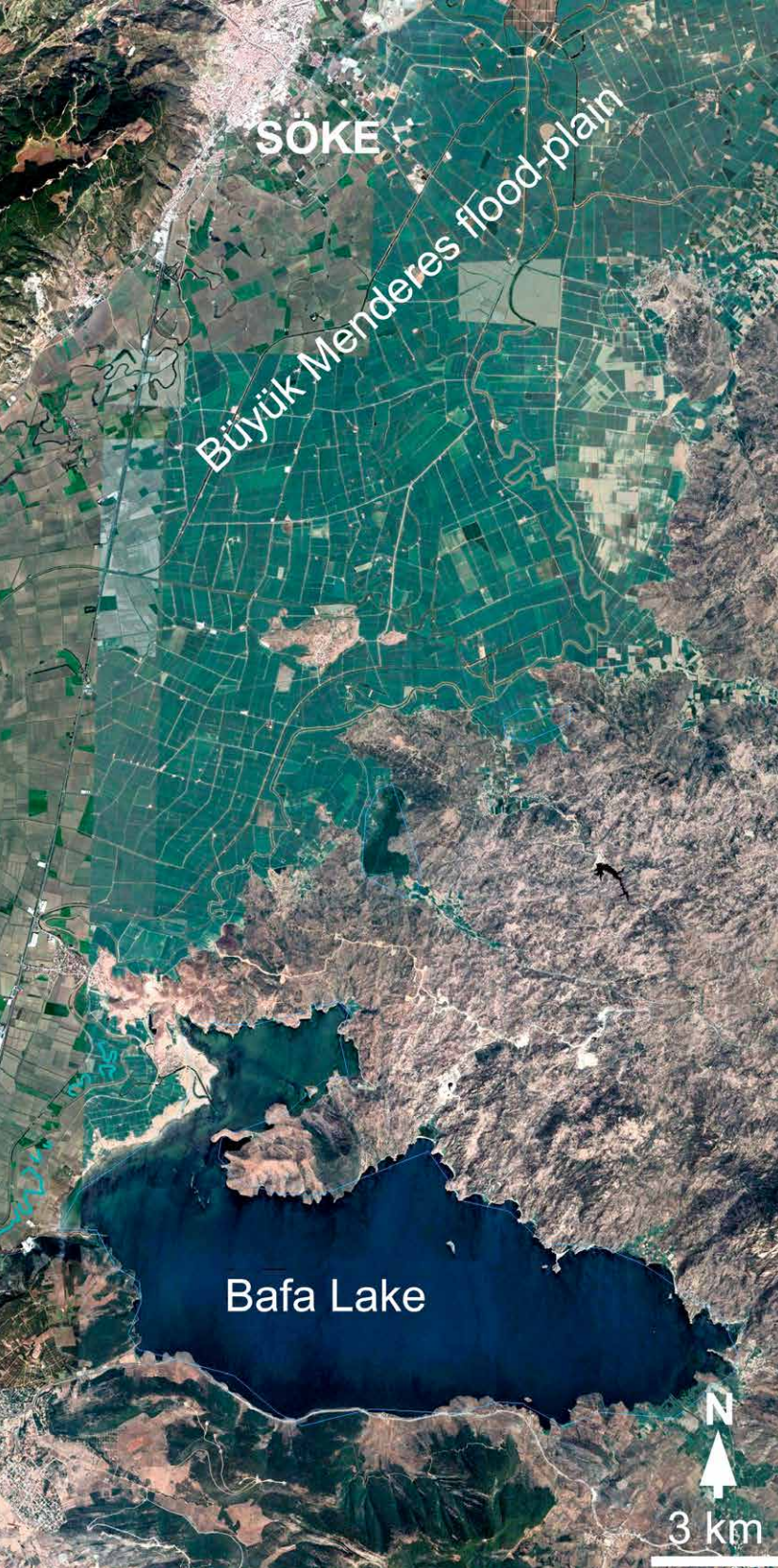


Fig. 8: Büyük Menderes deltasının Google Earth görüntüsü. Deltalar kıyı zonlarının en dinamik bölümleridir. Deniz seviyesi, iklim, bitki örtüsü, insan arazi kullanımı gibi etkenler deltaların gelişimi üzerinde önemli etkiler yapar. Bu nedenle paleocoğrafya araştırmaları için deltalar önemli veri kaynağıdır. Akarsuların getirdiği alüvyonlar önce kıyı önünü doldurur. Yüzey deniz seviyesine ulaşınca, kıyı önünde oluşan kum sirtları (barier) gerisinde, tatlı ve tuzlu suların karıştığı lagünler şekillenir. Bunların kara tarafı genellikle kumluk alanlardır. Bu kıyı şekil topluluğu denize doğru ilerledikçe (progradasyon) gerideki alanlar akarsuların taşkınlarıyla yayılan alüvyonlarla kaplanır ve yüzey giderek yükselir, taşkın ovaları oluşur. Deltaların bu değişik morfolojik birimleri, farklı ekolojik özellikleriyle çok çeşitli bitki ve hayvan türlerinin uyum sağladığı yaşama alanlarıdır. Bu nedenle, özellikle yaşamak için doğaya daha bağımlı olan erken dönem (Neolitik, Kalkolitik) insan toplulukları böyle alanlarda yoğun bir şekilde yaşamışlar, yerleşmişler, doğal zenginliklerinden yararlanmışlardır. Ancak, mimarinin henüz gelişmediği bu erken dönemlerin silik izleri bugün alüvyonlar altında kalmıştır. Bu dönemlere ait yerleşme yerleri (höyükler) veya yüzeysel kalıntılardan sadece çevre yamaçlardakiler doğrudan belirlenebilmektedir. Büyük Menderes deltası, tüm bu özelliklerin en iyi görüldüğü, Anadolu'nun Ege Denizi kıyılarının en tipik deltasıdır. Ancak, havzanın yüksek kesimlerdeki barajlar, ova da kanal içine alınan drenaj sistemi ve delta kıyısının açık denize ulaşmış olması nedeniyle günümüzde delta gelişimi doğal niteliğini kaybetmiştir.

Fig. 8: Google Earth image of the Büyük Menderes delta. Deltas are the most dynamic parts of the coastal zones. Factors such as sea level, climate, vegetation, and human land use have significant effects on the development of deltas. For this reason, deltas are important data sources for paleogeographic research. The alluviums brought by the streams first fill the shoreface. When the surface reaches sea level, sand bars and barriers develop near-offshore, and lagoons form behind them with a fresh and salt water mixture. Their land side is generally comprised of sandy areas (dune field). While this coastal zone advances towards the sea (progradation), the areas behind it are covered with alluvium spread by the floods of the rivers, and the surface rises and flood plains form. These different morphological units of the deltas with their different ecological characteristics are the habitats where a wide variety of plant and animal species adapt. For this reason, since they were more dependent on nature to live, the early (Neolithic, Chalcolithic) human communities especially lived in such areas in an intensive way, settled, and benefited from their natural wealth. However, the few remains of these early periods, when architecture had not yet developed, were covered by alluvium and disappeared. Only the remains on the surrounding slopes can be identified directly from the settlements (mounds) or surface remains of these periods. The Büyük Menderes delta is the most typical delta of the Aegean coast of Anatolia, where all these features are best seen. However, due to the many dam constructions in the upper part of the basin, the canalized drainage system in the lower plain, and the fact that the delta coast has reached the open sea, the delta has lost its natural development process.

Buna göre bu dönemlerde (Yaklaşık 4-3 bin yıl öncelerde) deniz seviyesi görece olarak bugünkünden birkaç metre alçakta olmalıdır. Günümüzden 3000 yıl öncelerde göçlerle Yunanistan ve Ege adalarından gelen kavimlerin Anadolu kıyılarındaki kolonizasyonu sırasında da yükselmekte olan deniz seviyesinin bugünkünden, hâlâ 2-3 m metre kadar alçakta olduğu anlaşılmaktadır.

Arkaik, Helenistik, Roma çağları ise bugünkü seviyeye olan son yükselmenin son aşamasına rastlamaktadır (Fig. 4). Bu dönemlere ait kıyı yapıları da birçok yerde, kıyı önünde ve gerisinde, 1-2 m kadar deniz seviyesi altındadır. Bu çağlara ait başta limanlar olmak üzere tüm kıyı yapılarının kullanılamaz duruma gelmesi ve genellikle bugünkü kıyıdan içeride bulunmasının (Milet, Priene, Efes) asıl nedeni, deniz seviyesi değişmesinden çok, alüvyon birikmesi ile süren delta ilerlemesidir (Fig. 8)²².

Sonuç olarak, son 3 bin yılda deniz seviyesinin hafifçe yükselmesine rağmen, denizde karaya doğru ilerleme olmamıştır. Bunun nedeni, karadan gelen alüvyon miktarının yükselmeyi telafi ederek kıyıyı doldurmaya devam etmesidir. Böylece kıyı çizgisi denize doğru çekilmesini sürdürmüştür. Alüvyonu oluşturan doğal erozyona ek olarak, kıyı bölgelerinde tarih çağları boyunca insan kaynaklı erozyon artışı da etkili olmuş olabilir. Örneğin yükselen refahla artan nüfusun zorlanması sonucu doğal bitki örtüsünün, özellikle yakacak ve yapacak ihtiyacına bağlı olarak artan orman tahribinin bu konuda önemli bir etken olduğu üzerinde hep durulmaktadır²³.

Öte yandan, deniz seviyesinde ilerleyen delta düzlükleri, zamanla taşkın alüvyonları ile kaplandığı için, kıyı gerisindeki antik yerleşme alanları da bugünkü yüzey altında kalmıştır. Örneğin Selçuk ovasına sokulan denizin kıyısında yapılan Efes Artemis tapınağının ve geri çevresindeki Helenistik-Roma çağlarına ait mimari kalıntıların temelleri bugünkü yüzeyden 5 m kadar derinde, bugünkü deniz seviyesinde bulunmaktadır (Fig. 3)²⁴. Aynı durum Urla'daki Limantepe-Klazomenai kalıntıları için de geçerlidir (Fig. 5 ve 7). Kuzey Ege'de 30 m kadar yüksekte bir platô sırtı ucunda bulunan Troya'nın kuzey eteğinde, dönemin kıyı düzlüğünde de bugünkü yüzeyden 7 m kadar derinde (bu-

günkü deniz seviyesi) Troya VI dönemine kadar buranın kullanıldığını gösteren kalıntılar bulunmaktadır (Fig. 3)²⁵. Milet ve Priene kent ve limanları da bunun diğer klasik örnekleridir²⁶.

Son 3 bin yıllık dönemde de küçük iklim salınımları olmuştur. Sıcak Roma Çağı ve sonrasında daha küçük salınımlarla seyreden Küçük Buzul Çağı bunların en belirgin olanlarıdır (Fig. 4)²⁷. Ancak, bunların deniz seviyesi değişimleri üzerindeki etkilerini gösteren somut veriler bulunmamaktadır. Öte yandan, Batı Anadolu'nun aktif bir tektonik bölge olması nedeniyle, Ege antik kentlerinin hepsinde zaman zaman yıkıcı depremlerin olduğu bilinmektedir. Ancak, tektonik hareketlerin iklim değişmelerine göre çok daha yavaş seyretmesi nedeniyle, son 3 bin yılda delta gelişiminin bu hareketlerden etkilendiğini gösteren bir veri de bulunmamaktadır. Sonuç olarak bu son dönemde alçak kıyı kesimlerinin şekillenmesinde etkili ana etmen alüvyon birikimi olmuştur. Teorik olarak iklimatik ve tektonik etmenlerin bu süreci bir şekilde etkilediği varsayılabilir. Ancak, bu küçük etkileri çok dinamik bir sedimantasyon ortamı olan delta kıyılarında ayırt etmek ve bunlarla ilgili genellemeler yapmak yanıltıcı olabilir. Bu konularda farklı yöntemlerle yapılan araştırmaların sonuçlarını şimdilik yerel boyutta değerlendirmek daha uygun olacaktır.

Büyük tektonik çukurluklara yerleşmiş olan Büyük Menderes ve Küçük Menderes gibi akarsuların deltaları bugün dağlık alanlar hizasında, daha derin olan açık denize ulaşmış durumdadır (Fig. 1). Bu nedenle, bundan sonra ilerlemeleri daha yavaş olacaktır. Farklı bir örnek olarak kuzeyde Troya önlerindeki Karamenderes deltasının ilerlemesi ise Çanakkale Boğazına erişmesiyle sona ermiştir. Bunun nedeni boğazdaki akıntının gelen alüvyonu Ege Denizine sürüklemesidir. Öte yandan günümüzde çeşitli amaçlarla yapılan büyük barajlar akarsuların yukarı havzalarından gelen su ve alüvyonları tutmakta, kıyıya ulaşan miktarlarını çok azaltmaktadır. Bu nedenle de delta ilerlemesi artık çok yavaşlamış, hatta bazı kıyılarda delta kıyıları birikme değil, aşınma sürecine geçmiştir. Bunun en göze çarpan örneklerinden biri Madra çayı deltasının Altınova kıyılarıdır²⁸.

²² KRAFT vd 2001, MÜLLENHOFF 2005, BRÜCKNER 2019.

²³ STOCK vd 2016.

²⁴ KRAFT vd 2001.

²⁵ KAYAN 1996.

²⁶ MÜLLENHOFF 2005.

²⁷ ERLAT 2009.

²⁸ KAYAN-VARDAR 2007.

That means that during this period (around 4,000-3,000 years ago) the relative sea level was several meters lower than today. It appears that the sea level was still 2 to 3 meters lower than today 3000 years ago, while it was still rising during the colonization of people who migrated from Greece and Aegean islands to the Anatolian coasts.

The Archaic, Hellenistic, and Roman periods correspond to the last phase of the final rise to the present level (**Fig. 4**). Coastal structures from these periods are also located 1 to 2 m below sea level in many places, either before or behind the shore. The main reason why those coastal structures, primarily harbors, became unusable and are now typically located inland far from present shore (e.g. Miletus, Priene, Ephesus), is not associated only with sea level change, but rather the ongoing advance of the delta due to alluvial deposits (**Fig. 8**)²².

In conclusion, there has been no encroachment by the sea towards the land despite a slight rise in sea level during the past 3,000 years, because the amount of alluvial deposits has compensated for the rise of the sea and continued to fill up the shore. Thus, the shoreline has continued to advance seaward. In addition to the natural erosion which makes up the alluvial deposits, increased human-made erosion may have been a factor in coastal zones throughout history. For example, increased destruction of natural vegetation cover, and particularly of forests related to requirements for wood fuel and driven by increasing population, as well as the enhanced welfare of that population, have always been highlighted as important factors in erosion²³.

On the other hand, as delta plains advancing to sea level have been covered with flood alluvium over time, the ancient settlements behind the shores have remained under the present sea level. For example, the foundation of the Artemis temple in Ephesus and the architectural remains from the Hellenistic-Roman periods behind it, which were built on the shore of the sea that encroached upon the Selçuk plain, are 5 m deeper than today's surface at the present sea level (**Fig. 3**)²⁴. The same is valid for the Limantepe-Klazomenai remains in Urla (**Figs. 5 and 7**). On the northern skirt of Troy, situated on the edge of a 30 m high plateau ridge in the northern Aegean, there are remains on the coastal plain from this peri-

od at a depth of 7 m below today's surface (present sea level) indicating that the site was occupied until Troy VI (**Fig. 3**)²⁵. Other classical examples include the ancient cities and harbors of Miletus and Priene²⁶.

During the past 3,000 years, there have been minor climatic fluctuations. The Roman Warm Climate and subsequent Little Ice Age are among the most remarkable ones (**Fig. 4**)²⁷. Nevertheless, no concrete data is available indicating their impact on sea level changes. On the other hand, it is known that all of the ancient settlements in the Aegean have experienced devastating earthquakes from time to time since western Anatolia is an active tectonic region. However, there is also no data showing that delta development has been influenced by tectonic movements during the past 3,000 years, due to the much slower course of such movements compared to climatic changes. Consequently, alluvial deposits appear to have been the main factor effective in shaping low coastal zones during this recent period. Theoretically it can be assumed that climatic and tectonic factors were also involved in a way in this process. However, it may be misleading to distinguish these minor effects on a delta shore, which is a quite dynamic area of sedimentation, or to extrapolate these effects. For now, it is more appropriate to evaluate results of studies that have been carried out using different methods on a local scale.

The deltas of rivers such as the Büyük Menderes River and the Küçük Menderes that occupy large tectonic depressions have reached deeper open sea where they are at the scale of mountainous areas (**Fig. 1**). Consequently, they will advance much more slowly from now on. As a different example, in the north the advance of the Karamenderes Delta in front of Troy ended when it reached the Çanakkale Strait (Dardanelles), because the strait current swept the advancing alluvial deposits into the Aegean Sea. Furthermore, large dams that have been constructed for several reasons at present contain the water and alluviums from the upstream basins, substantially reducing the amount reaching the shore. Therefore, the advance of the delta has been substantially slowed down, and the delta shores have even begun an erosion rather than a deposition process. One of the most striking examples is the Altınova coast in the delta of the Madra River²⁸.

²² KRAFT et al 2001, MÜLLENHOFF 2005, BRÜCKNER 2019.

²³ STOCK et al 2016.

²⁴ KRAFT et al 2001.

²⁵ KAYAN 1996.

²⁶ MÜLLENHOFF 2005.

²⁷ ERLAT 2009.

²⁸ KAYAN-VARDAR 2007.

KAYNAKÇA-BIBLIOGRAPHY

- ARSLAN N., Böhlendorf-Arslan B., Mohr E.-M., Rheidt K. “Der Hafen von Assos”. Gateways 4. North Meets East 2. Aktuelle Forschungen zu antiken Hafene. Aachen 2018.
- BRUCKNER et al. 2010 Brückner H., Kelterbaum, D., Marunchak, O., Porotov, A., Vött, C., “The Holocene Sea Level Story since 7500 B.P. Lessons from the Eastern Mediterranean, the Black and the Azov Seas”. Quaternary International 225 (2), 2010.160–179..
- BRUCKNER. 2019 Brückner, H. “Rapid Delta Growth in Historical Times at Ephesus and Miletus-The Examples of the Küçük and the Büyük Menderes Rivers”. Landscapes and Landforms of Turkey (Eds) Kuzucuoğlu, C., Çiner, A., Kazancı, N., 293-306. 2019. Springer..
- ERKANAL 2014 Erkanal, H., “Klazomenai / Liman Tepe'nin Limanları. (Eds) Ladstätter, S., Pirson, F., Schmidts, T., Harbor and Harbor Cities in the Eastern Mediterranean. BYZAS 19: 295-303. 2014. Deutsches Archäologisches Institut.İstanbul..
- ERLAT 2009 Eralat, E. “İklim Sistemi ve İklim Değişimleri”, Ege Üniversitesi Edebiyat Fakültesi Yayın no: 155. 2009. (7. Baskı 2019). İzmir..
- GLEICK 1996 Gleick P. H. Water resources. In Encyclopedia of Climate and Weather, (Ed) Schneider, S. H., 1996. vol. 2, pp.817-823. Oxford University Press. New York..
- GOODMAN 2008 Goodman, B., Reinhardt, E., Dey, H., Şahoğlu, V., Erkanal, H., Aartzy, M., “Evidence for Holocene marine transgression and shoreline progradation due to barrier development in İskele, Bay of İzmir, Turkey”, Journal of Coastal Research 24, 5, 2008, 1269-1280..
- KAYAN 1991 Kayan, İ., “Holocene geomorphic evolution of the Beşik plain and changing environment of ancient man”, Studia Troica. Band 1, 1991, 79-92. Philipp von Zabern..
- KAYAN 1996 Kayan, İ., “Holocene stratigraphy of the Lower Karamenderes-Dümrek plain and archaeological material in the alluvial sediments to the north of the Troia ridge”, Studia Troica. Band 6, 1996, 239-249. Philipp von Zabern..
- KAYAN 1997 Kayan, İ., “Bronze Age regression and change of sedimentation on the Aegean coastal plains of Anatolia (Turkey)”, Third Millennium B.C. Climate Change and Old World Collapse (Eds) Dalfes, H. N., Kukla, G., Weiss, H., NATO Advanced Research Workshop. September 19-23, 1994. NATO ASI Series 1. Global Environmental Change, Vol. I 49, 431-450. 1997 Springer-Verlag..
- KAYAN 2002 Kayan, İ., “Paleogeographical reconstruction on the plain along the western footslope of Troy”, Mauerschau: Festschrift für Manfred Korfmann. Band 3. 2002, 993-1004. Verlag Bernhard Albert Greiner..
- KAYAN 2004 Kayan, İ. “Interpretations on the sea-level changes along the coasts of Kuşadası bay and Samos island”, 2. National Aegean Islands Symposium. Gökçeada, Çanakkale, 2-4 July 2004. Bildiriler Kitabı (Eds) Bostan, İ., Başeren, S.H., 2004, 32-42. Türk Deniz Araştırmaları Vakfı (TÜDAV). İstanbul..
- KAYAN-VARDAR 2007 Kayan, İ., Vardar, S., “Geomorphological formation and development of the delta plain of the Madra River”. Chapter 2 in: The Madra River Delta: Regional Studies on the Aegean Coast of Turkey. Volume 1: Environment, Society and Community Life from Prehistory to the Present. (Eds) Lambrianides, K., Spencer, N. s. 23-30. 2007. The British Institute at Ankara. Monograph 35..
- KAYAN 2012 Kayan İ. “Kuvaterner’de deniz seviyesi değişimleri”. Kuvaterner Bilimi,(Eds) Kazancı, N, Gürbüz, A., Ankara Üniversitesi Yay. No: 350, 2012, 59-78. Ankara..
- KAYAN 2014 Kayan, İ. “Geoarchaeological research at Troia and its environs”, Studia Troica. Monographien 5. (Troia 1987-2012: Grabungen und Forschungen I. Forschungsgeschichte, Methoden und Landschaft. Teil 2. Herausgegeben von E.Pernicka, C.B.Rose, P.Jablonka). p. 694-727. 2014. Eberhard Karls Universität Tübingen. Verlag. Dr. Rudolf Habelt GMBH. Bonn..
- KAYAN 2015 Kayan, İ., Öner, E., “Sedimentolojik ve paleontolojik verilerle Gediz delta ovasında (İzmir) Alüvyal jeomorfoloji araştırmaları (Research on the alluvial geomorphology of the Gediz delta plain (İzmir) based on sedimentological and paleontological evidence). Ege Coğrafya Dergisi (Aegean Geographical Journal). 24 (2), 2015, 1-27..

- KAYAN 2018 Kayan, İ. 2018. “Jeoarkeoloji ve Paleocoğrafya Araştırmalarının Arkeolojideki Yeri” Arkeolojide Temel Yöntemler, (Eds) Ünlüsoy, S., Çakırlar, C., Çilingiroğlu, Ç., Ege Yayınları. İstanbul, 2018, 17-67.
- KAYAN 2019 Kayan, İ., “Landscape development and changing environment of Troia (North-western Anatolia)”, Landscapes and Landforms of Turkey (Eds) Kuzucuoğlu, C. Çiner, A., N.Kazancı, Springer 2019, 277-292..
- KAYAN et al. 2019 Kayan, İ., Öner, E., Doğan, M., İlhan, R., Vardar, S., “Urla-İskele kıyı düzlüğünün Holosen paleocoğrafyası ve jeoarkeolojik değerlendirmeler (Holocene paleogeography and geoarchaeological interpretations on the Urla-Iskele plain)”, Ege Coğrafya Dergisi (Aegean Geographical Journal) 28 (1), 2019, 11-32. İzmir.
- KRAFT et al. 1980 Kraft, J. C., Kayan, İ., Erol, O., “Geomorphic reconstructions in the environs of ancient Troy”. Science. American Association for the Advancement of Science. 1980, Vol. 209, No. 4458, 776-782..
- KRAFT et al. 2001 Kraft, J.C., Kayan, İ. Brückner, H., Rapp, G., “A geologic analysis of ancient landscapes and the harbors of Ephesus and the Artemision in Anatolia”, Jahreshefte des Österreichischen Archäologischen Institutes in Wien. Band 69. 2000, Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, 2001, 175-232..
- KUZUCUOĞLU et al. 2019 Kuzucuoğlu, C., Şengör, A. M. C., Çiner, A., “The Tectonic Control on the Geomorphological Landscapes of Turkey”, Landscapes and Landforms of Turkey, (Eds) Kuzucuoğlu, C., Çiner A., Kazancı N., Springer, 2019, 17-40..
- LAMBECK 1995 Lambeck, K., “Late Pleistocene and Holocene sea-level change in Greece and south-western Turkey: a separation of eustatic, isostatic and tectonic contributions.” *Geophys. J. Int.*, 122, 1995, 1022–1044..
- LAMBECK-BART 2000 Lambeck, K., Bart, E., “Sea-level change along the French Mediterranean coast for the past 30 000 years. Earth Planet” *Sci. Lett.*, 175, 2000, 203–222..
- LAMBECK et al. 2002 Lambeck, K., Esat, T.M., Potter, E.K. “Links between Climate and Sea Levels for the Past Three Million Years”, *Nature*, 419, 2002, 199-206..
- MULLENHOFF 2005 Müllenhoff, M., “Geoarchaeologische, sedimentologische und morphodynamische Untersuchungen im Mündungsgebiet des Büyük Menderes (Maeander), Westtürkei”, In: Marburger Geographische Schriften, vol. 141. 2005 Marburger Geograph, Marburg-Lahn..
- PELTIER 2002 Peltier, W.R. “On eustatic sea level history: Last Glacial Maximum to Holocene”, *Quaternary Science Reviews*, 21, 2002, 377-396..
- PIRAZZOLI 1996 Pirazzoli P.A. 1996. Sea-level Changes. The Last 20,000 Years. pp.211. Wiley and Sons..
- STOCK et al. 2016 Stock, F., Knipping, M., Pint, A., Brückner, H., et al. “Human impact on Holocene sediment dynamics in the Eastern Mediterranean - the example of the Roman harbour of Ephesus”, *Earth Surface Processes and Landforms*, 2016, 41(7), 980-996. John Wiley & Sons..
- SUESS 1885 Suess, E., *Das Antlitz der Erde*. Wien, 1885.
- WALBROECK et al. 2002 Waelbroeck, C., Labeyrie, L., Michel, E., Duplessy, J.C., McMauns, J.F., Lambeck, K., Balblon, E., Labracherie, M. “Sea-Level and Deep Water Temperature Changes Derived from Benthic Foraminifera Isotopic Records”, *Quaternary Science Reviews*, 2002, 21, 295–305.