

MESSİNİYEN TUZLULUK KRİZİ **Akdeniz'in kurumasına ilişkin** **bir derleme**

Doç. Dr. Ayhan ILGAR*

Erkin Koray Ankara Sokakları adlı şiirinde "Aslında bir hikayemizi anlatmaya kalksak / Zamanın beyni durur, denizler kurur" diyordu. Biz zamanın beynini durdurmadan, zamanın dilini kullanarak kendi hikayemizi değil, Akdeniz'in kuruma hikayesini anlatalım. Hikaye diyoruz ama bu hikaye bir kurgu değil, yerkürenin gerçekten yaşadığı bir hikaye. Akdeniz'in kuruma hikayesi.

Jeolojik Zaman Çizelgesinde Miyosen'in son katı olan ve 7.246–5.333 milyon yılları arasındaki zaman dilimini kapsayan Messiniyen yerküre tarihinde son 20 milyon yılın en hızlı ve en dramatik paleocoğrafik değişimine şahit olmuştur (Krijgsman vd., 1999). Messiniyen Tuzluluk Krizi olarak adlandırılan bu olay 1970 yılında Akdeniz'de Derin Deniz Sondaj Projesi sırasında keşfedilmiş ve tanımlanmıştır. O yıl Glomer Challenger adlı sondaj gemisi derin deniz tabanının altında tuz varlığını ortaya koymuştur. Akdeniz'in kurumasını işaret eden bu yeni keşif beraberinde de yeni ve hararetili bir jeolojik tartışmanın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Zira Akdeniz'deki kuruma bağlı olarak kısa bir jeolojik zaman içinde kalınlığı 3 km ye varan bir evaporit çökelimine neden olmuştur. Zamanın kısalığı, çökel paketinin kalınlığı ve kurumaya karşın sürekli bir çökelimin gerçekleşmiş olması kendi içinde tezat teşkil eden ve aydınlatılması gereken tartışma konuları olarak ortaya çıkmıştır. İşte o gün gemi güvertesinde başlayan tartışma hiç azalmadan, aksine artarak bugüne kadar sürmüştür. Bugün bunun en büyük kanıtı Akdeniz'in kurumasının sebepleri ve sonuçları konusunda ortaya

konan görüşlerin çeşitliliği ve bu konuda yapılan çalışmaların sayısıdır. Bilimsel atıf indeksinde sadece Messiniyen Tuzluluk Krizi konusunda uluslararası dergilerde 45 yılda basılmış 876 makale bulunmaktadır. İstanbul'da 2013 yılında Neojen Kongresinde tanıştığımız Messiniyen Tuzluluk Krizini tanımlayanlardan biri olan William Ryan (Şekil 1) o günleri anlatırken aradan geçen 43 yıla rağmen hala heyecanını ilk günkü gibi muhafaza ediyordu.

Peki nedir Messiniyen Tuzluluk Krizi? Bu krizin kanıtları nelerdir? Neden bir kriz yaşanmıştır? Krize giden olayların gelişimi nasıldır? Kriz nasıl aşılmıştır? Krizin sonuçları nelerdir?

MESSİNİYEN TUZLULUK KRİZİ NEDİR?

Akdeniz'de deniz tabanının yaklaşık 200 m altında sondaj karotlarından alınan evaporit örnekleri derin deniz tabanında yaklaşık 3 km kalınlığa varan muhteşem büyüklükteki tuz çökelmelerinin varlığını kanıtlamıştır (Hsü vd., 1977). Bu tuz çökellerinin detaylı incelenmesi, her ne kadar farklı görüşler sunulsa da, yaklaşık 6 milyon yıl önce Akdeniz'in kurumaya başladığı ve çok büyük bir tuz havzasına dönüştüğünü göstermiştir (Şekil 2). Messiniyen döneminde gerçekleşen ve yerküre tarihinin en büyük ve en genç tuz çökeli olan bu olay Messiniyen Tuzluluk Krizi olarak adlandırılmıştır. Bu olay yerküre tarihini derinden etkilemiştir. Krizden sonra artık hiçbir şey eskisi gibi olmayacaktır. Zira, bu kriz Akdeniz bölgesinin karasal ve denizel ekosistemleri üzerinde kalıcı etkiler bırakacaktır (Krijgsman vd., 1999).

MESSİNİYEN TUZLULUK KRİZİNİN **KANITLARI NELERDİR?**

Akdeniz'de Messiniyen yaşlı evaporitlerin derin deniz çökelileri içinde bulunmuş olması Akdeniz'in kuruyup kurumadığı ve evaporitlerin çökelme ortamları konusunda farklı görüş-

* Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Jeoloji Etütleri Dairesi, 06800 Çankaya - Ankara
e-posta: ayhan_ilgar@yahoo.com



Şekil 1- Messiniyen Tuzluluk Krizini ilk tanımlayanlardan biri olan William Ryan (ortada) ve bu krizin kronolojisi ve sebepleri konusunda yaptığı çalışmalar ile dikkat çeken Wout Krijgsmann ile 2013 yılında İstanbul'da gerçekleştirilen "Akdeniz, Paratetis ve Karadeniz'in Neojen-Kuvaterner Jeolojik Evrimi" konu başlıklı 14. RCMNS Kongresinde Messiniyen Tuzluluk Krizi konusunda görüş alışverişinde bulunmuşuk.

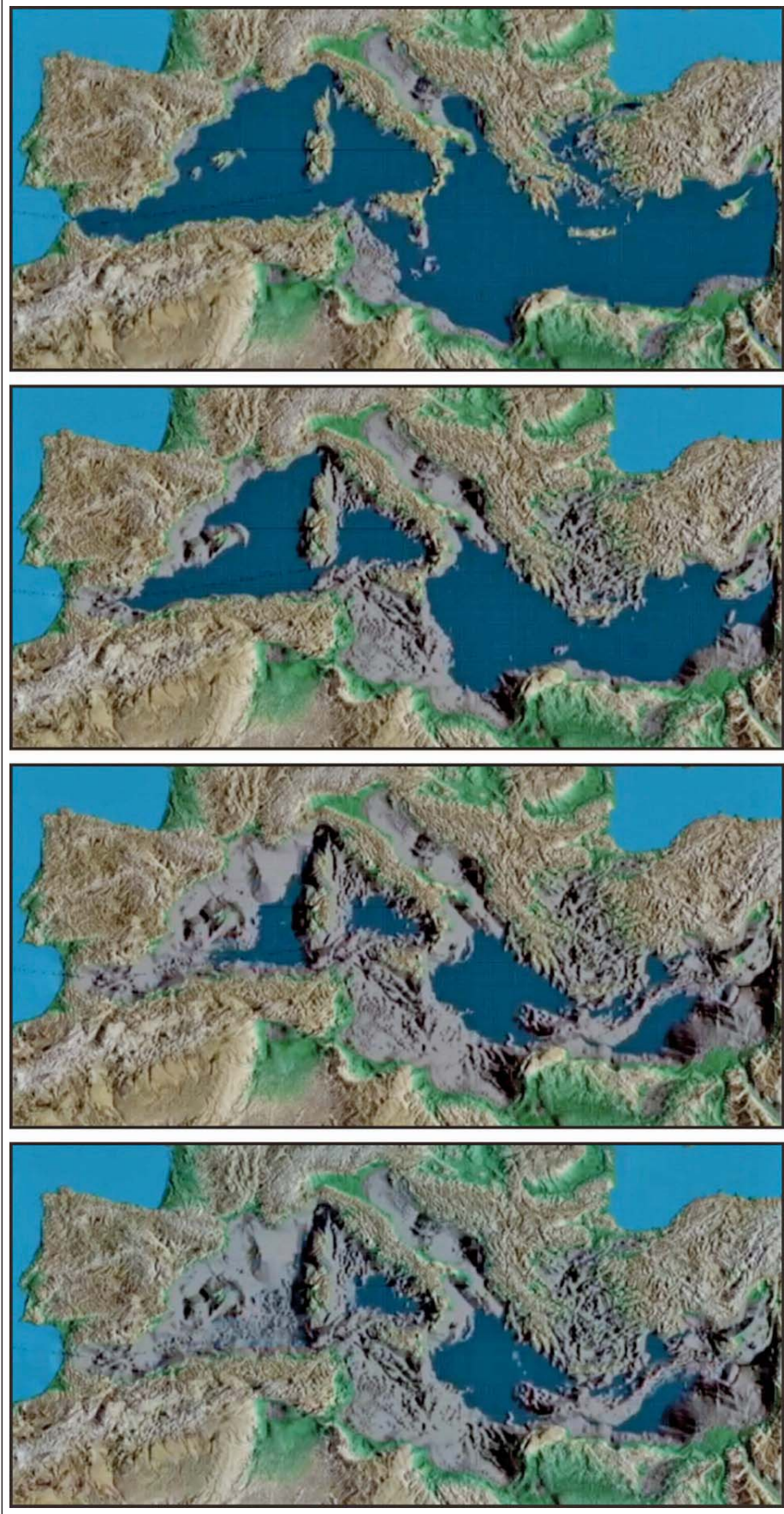
lerin ortaya çıkmasına neden olmuştur. Ancak Hsü vd. (1973)'ne göre aşağıda sıralanan gerekçeler evaporitlerin sıg denizel ya da sabka ortamında çökeldiğini göstermektedir. Bunlar;

a) Akdeniz evaporitleri içinde anhidrit mineralinin bulunması derin deniz çökelim modeline karşı en güçlü kanıtı oluşturmaktadır. Anhidrit, kalsiyum sülfatın yüksek sıcaklık polimorfu olup, 58°C'nin altında jips çökeli mi gerçekleşir. Derin deniz ortamları nadiren yüksek sıcaklığa erişirler. Sıcaklığın lokal olarak 40°C'yi aştığı Ölü Deniz'de bile anhidrit çökeli mi gerçekleşmez, sadece kıyılarda jipsler gözlenir.

b) Evaporitler içinde nodüler anhidritlerin bulunması da kristalleşme ve çökeli minin kara-

sal ortam şartlarında gerçekleştiğini kanıtlamaktadır. Günümüzde nodüler anhidritler sadece sabka olarak adlandırılan sıcak ve kurak kıyı düzlüklerinde bulunurlar. Anhidrit çökeli mi sualtı tablasında ya da sıcaklığın 35°C'nin üzerinde olduğu yüzeylerin altında gerçekleşir. Buralarda karbonat ve sülfatlar ile yer değiştirerek anhidrit tabakaları oluştururlar.

c) Karotların detaylı incelenmesi evaporit oluşum sürecinin su basma ve kuruma evlerini içeren pek çok çevrimden oluştuğunu göstermiştir. Her bir çevrim laminalı karbonat çökeli mi ile başlamaktadır. Karbonatların içerdikleri faunaya göre ya derin deniz ya da acısu ortamında çökeldiği saptanmıştır. Bu karbonatlar üzerinde dolomit ve anhidritler yer alır. Dolomit



Şekil 2- Akdeniz'in Messiniyen Tuzluluk Krizine bağlı dereceli olarak kurumasını gösteren şematik çizimler (https://www.youtube.com/watch?v=bw-qf_zQMWs).

ve anhidritleri üzerleyen stromatolitler alglerin büyümesine olanak sağlayan sığ çökeltme ortamını yansıtır. Çevrimin en üstünde tanımlanan nodüler anhidritler karasal ortam şartlarında çökelmişlerdir. Anhidritler yeni bir çevrimin tabanı olan laminalı karbonatlar tarafından tekrar üzerlenir.

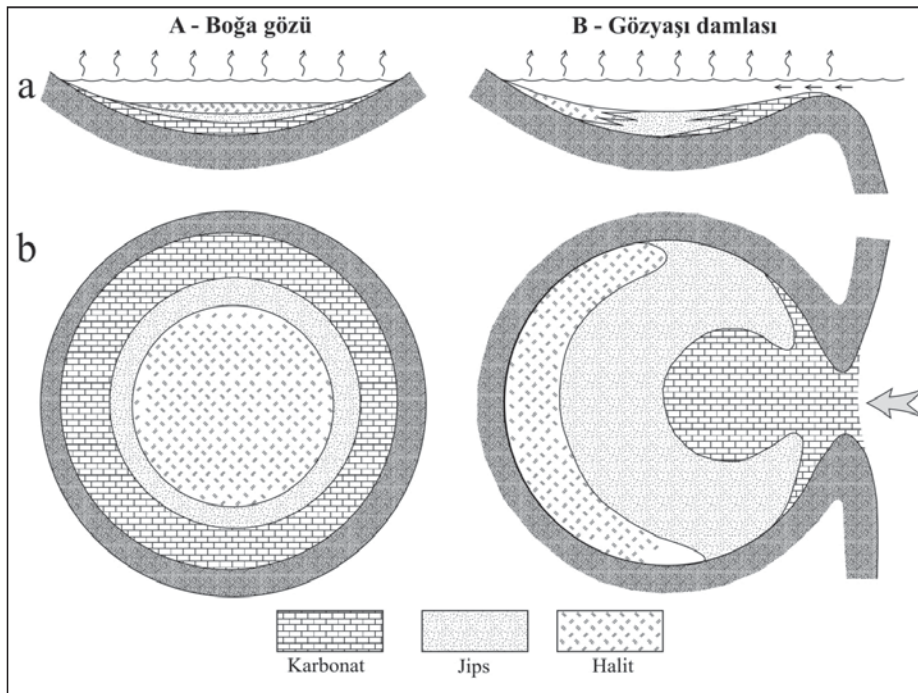
d) Evaporitler içinde gözlenen kuruma çatlakları da halit çökelleri tarafından doldurulmuş olup, yüzeylemeyi ve kurumayı işaret eder.

e) Akdeniz evaporitlerinin dağılım şekli de derin deniz modelini desteklememektedir. Derin deniz modeli "gözyaşı damlası" şekline, playa çökelleri ise "boğa gözü" şekline sahiptir (Şekil 3). Playa göllerinin dereceli kurumalarını işaret eden boğa gözü şekli konsantrik zonlara sahiptir. Dış zon karbonatlardan, iç zonlar ise kolay eriyebilen tuzlardan oluşur. Buna karşın, bir kenarı açık derin deniz havzalarında ise zor çözünebilen tuzlar havzanın yakınsak kesiminde, kolay çözünebilenler ise havzanın uzak kesiminde yer alır. Eğer derin deniz modeli ger-

çekleşmiş olsaydı potasyum tuzları ve halit çökeli doğu Akdeniz'de gips ve dolomit ise batı Akdeniz'de bulunmalıydı. Oysa sondaj verileri Akdeniz de evaporit dağılımının gözyaşı damlası şekline sahip olmadığını, boğa gözü şeklini gösterdiğini kanıtlamıştır.

NEDEN BİR KRİZ YAŞANMIŞTIR?

Hsü vd. (1973)'ne göre Akdeniz'de tuzluluk krizinin yaşanması normal şartlar altında bile kaçınılmaz bir durumdur. Zira, Akdeniz 2.5 milyon km² lik bir alana ve 3.7 milyon km³ lük bir su hacmine sahiptir. Buharlaşma sonucu havzada yıllık su kaybı miktarı 4.7x10³ km³ tür. Akdeniz'e düşen yıllık yağış miktarı 1.2x10³ km³ ve yıllık akarsu girdisi ise 0.2x10³ km³ tür. Bu durumda yıllık net kayıp miktarı ise 3.3x10³ km³ olarak hesap edilmiştir. Mevcut yağış ve buharlaşma şartları altında eğer bugün Cebelitarık Boğazı kapanırsa, Akdeniz yaklaşık 1000 yıl içinde buharlaşarak kurur.



Şekil 3- (a) İzole havzaların ideal boğa gözü şekilli evaporit dağılımını ve (b) kısmen sınırlı havzaların gözyaşı damlası şekilli evaporit dağılımını gösteren şematik kesit ve harita görünüşleri (Hsü vd., 1973'ten alınmıştır).

KRİZE GİDEN OLAYLARIN GELİŞİMİ NASILDIR?

Gondvana ve Lavrasya arasında yer alan Tetis Okyanusu varlığını Triyas–erken Tersiyer boyunca sürdürmüştür. Tetis Okyanusu’nun kapanmaya başlaması Atlantik–İndo-Pasifik arasındaki suyolunun daralmaya başlamasına neden olmuştur. Arap Levhasının erken Miyosen’de Anadolu ile çarpışması Atlantik–İndo-Pasifik bağlantısının tamamen kopmasını ve günümüz coğrafyasının hemen hemen kurulmasını sağlamıştır (Hsü vd., 1977). Bu kıtasal hareketler Akdeniz çevresinde Pireneler, Alp-ler, Apeninler, Dinaritler, Helenitler, Karpatlar, Rodoplar, Pontidler, Toroslar, Kafkaslar, Elbruz ve Zagros gibi dağların oluşumlarına neden olmuştur (Şekil 4A). Bu hareketler aynı zamanda bir iç deniz olan Paratetis–Akdeniz bağlantısının da Serravaliyen’de kopmasına yol açmıştır (Şekil 4B). Paratetis–Akdeniz bağlantısının kopması iki deniz arasındaki tuzlu su ve tatlı su değişiminin de engellenmesine sebep olmuştur. Böylece, Akdeniz Paratetis’ten tatlı su alamamış aynı zamanda aşırı tuzlanan Akdeniz suları havza içinde kalmıştır.

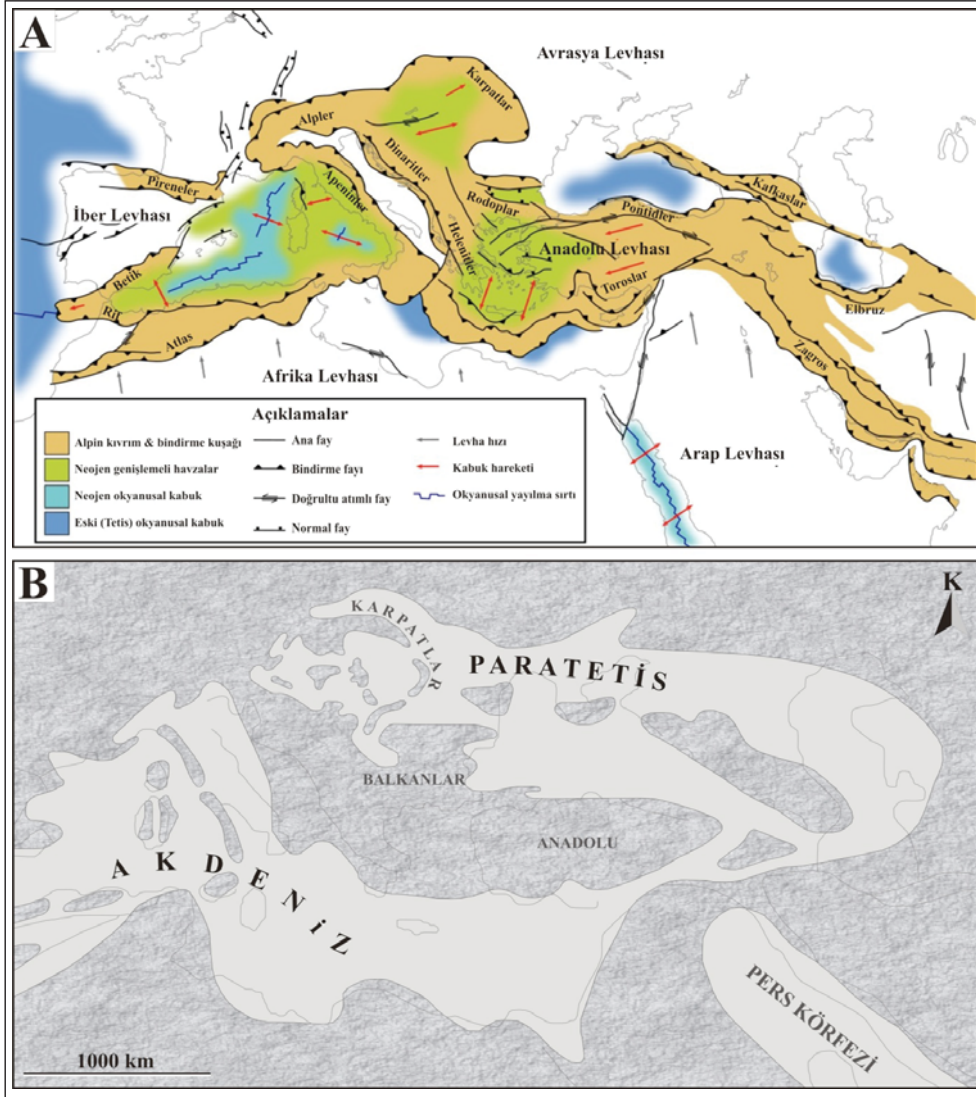
Akdeniz’in dünya okyanusları ile olan son bağlantısı İspanya ve Fas arasındaki Betik ve Rif boğazları vasıtasıyla sağlanmıştır (Şekil 4A, 5). Bu boğazlardaki su derinliği sığlaşmış olmasına rağmen Tortoniyen ve erken Messiniyen’de de Akdeniz–Atlas Okyanusu bağlantısı korunmuştur. Messiniyen’de normal denizel koşullardan evaporit çökelimine neden olan koşullara geçiş ani olmuştur. Ancak paleobotanik verilere göre bu ani değişimin sebebi iklimsel değildir. Akdeniz’de evaporit çökelimine neden olan ani değişimin nedeni geç Messiniyen döneminde batıdaki suyolunun kapanmasıdır (Hsü vd., 1977). Suyolunun kapanması tektonik kökenlidir. Bununla birlikte yerkürenin güneş etrafındaki yörünge şeklindeki değişimleri de (eccentricity) tuzluluk krizinin başlamasını etkilemiştir (Krijgsman vd., 1999). Böylece, Akdeniz’in dünya okyanuslarından izolasyonu hidrografik eksikliğe ve Akdeniz’in kaçınılmaz olarak buharlaşmaya bağlı tuzluluk krizine neden olmuştur.

Karot örneklerinin incelenmesi tuzluluk krizi boyunca havzanın 69 kez buharlaşmaya bağlı olarak kurduğunu ve yeniden sular altında kaldığını göstermektedir. Bu döngü Akdeniz çevresinde iklim değişikliklerine bağlı olarak gerçekleşmiştir. İklim değişikliği yerkürenin yaklaşık 23000 yıllık yalpalama (precession) hareketi ile ilgilidir (Krijgsman vd., 1999).

Krijgsman vd. (1999) tuzluluk krizine ilişkin olayları detaylı olarak tarihlendirmişlerdir. Messiniyen Tuzluluk Krizi’nin başlaması tüm Akdeniz çevresinde 5.96 milyon yıl önce eş zamanlı olarak gerçekleşmiştir. Akdeniz’in Atlas Okyanusu bağlantısının kopması 5.59 ve 5.33 milyon yılları arasında olmuştur. Bu durum 5.59–5.50 milyon yılları arasında Akdeniz su düzeyinde büyük ölçekli düşüşe ve erozyona; 5.50–5.33 milyon yılları arasında ise büyük “Lago Mare” (göl deniz) havzasında depolanmaya neden olmuştur.

KRİZ NASIL AŞILMIŞTIR?

Akdeniz’de tuzluluk krizinin sonlanması 5.33 milyon yıl önce gerçekleşmiş olup, bu sınır Jeolojik Zaman Çizelgesinde Messiniyen ve Zanklean sınırını oluşturur. Dolayısıyla Akdeniz’de tuzluluk krizinin son bulması Zanklean transgresyonu olarak da adlandırılır. Zanklean transgresyonu Cebelitarık Boğazı’nın tektonik çökmeye bağlı olarak açılması sonucu gerçekleşmiştir (Şekil 5; Garcia-Castellanos vd., 2009; Govers, 2009). Hsü vd. (1973) Akdeniz’in yeniden dolmasını katastrofik bir olay olarak kabul etmese de, Akdeniz’in Atlas Okyanusu suları ile yeniden doldurulması konusunda yapılan son çalışmalara göre Zanklean transgresyonu çok hızlı gerçekleşmiştir. Öyle ki günümüz Amazon Nehri’nin 1000 katı büyüklüğündeki bir su boşalımı ile Akdeniz hızla dolmuştur (Garcia-Castellanos vd., 2009). Atlas Okyanusu sularının çok yüksek hızda Akdeniz’e boşalımı Akdeniz’in taban çökelileri içinde büyük aşınmalar meydana getirmiştir. Havzanın yeniden dolması ile Akdeniz günümüzdeki görünümüne kavuşmuştur.



Şekil 4- (a) Avrasya ve Afrika-Arap levhaları arasındaki Tetis Okyanusunun kapanması Atlantik-İndo-Pasifik bağlantısının tamamen kopmasını, Akdeniz çevresindeki dağların oluşumunu ve günümüz coğrafyasının hemen hemen kurulmasını sağlamıştır (http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/Tectonic_map_Mediterranean_EN.svg sitesinden alınmıştır). (b) Miyosen dönemi Paratetis ve Akdeniz paleocoğrafyası (Rögl, 1998, 1999'dan alınmıştır).

KRİZİN ETKİLERİ NELERDİR?

Hsü vd. (1977)'ne göre Messiniyen Tuzluluk Krizi geride sadece muhteşem büyüklükte evaporit çökeltileri bırakmamış, aynı zamanda özellikle Akdeniz çevresinde olmak üzere lokal ve bölgesel ölçekte iklim değişimlerine, bitki ve hayvanların dağılımı ve evrimine ve kayaçların ve topoğrafyanın şekillenmesine büyük etkileri olmuştur. Deniz düzeyinin düşmesi, akarsuların Akdeniz içlerine doğru derin kazınma vadi-

lerini oluşturmasını sağlamıştır. Büyük yer altı suyu hareketleri karstlaşmaya, karst topoğrafyasının oluşumuna ve denizaltı mağaralarının gelişimine neden olmuştur. Tuzluluk krizi Akdeniz çevresinde sürekli soğuma ve kuraklaşma eğiliminde olan bir iklime neden olmuştur. Antartika'daki buzulların yayılımı Messiniyen döneminde genişlemiştir. Krize bağlı olarak kara alanlarının artması kara hayvanlarının Afrika ve Avrupa arasında göçünü de sağlamıştır.



6.5 milyon yıl önce

Messiniyen Tuzluluk Krizi öncesinde kanalların daralmasına bağlı olarak Atlantik ve Akdeniz arasındaki su değişimi azalmıştır. Birkaç koridorun varlığı ve onların derinliği Akdeniz'in tuzluluk düzeyinin normal değerlerde kalmasını sağlamıştır.



6 milyon yıl önce

Atlantik ve Akdeniz arasındaki son kanal iki su kütlesi arasındaki bağlantıyı sürdürmüştür. Bu kanal Atlantik sularının Akdeniz'e girmesini sağlayarak Akdeniz'in buharlaşmaya bağlı olarak gerçekleşen su eksilmesini dengelemiştir. Aynı zamanda Atlantik'ten gelen su akıntısı oluşturduğu aşınma nedeniyle Betik Sıradağları'nın yükselmeye devam etmesine rağmen kanalın açık kalmasını sağlamıştır. Diğer kanalların kapanması Akdeniz suyunun aşırı tuzlanmasına ve Messiniyen Tuzluluk Krizi'nin başlamasına neden olmuştur.



5.59 milyon yıl önce

Atlantik ve Akdeniz arasındaki son kanalın kapanması Messiniyen Tuzluluk Krizi olarak adlandırılan ilk kurumamanın başlamasına yol açmıştır. Kriz öncesi Akdeniz'e dökülen akarsular (B ve C) krize bağlı olarak derin vadiler kazınmışlardır. (D ve E) Akdeniz'in buharlaşması havzada kalan sular içinde tuz çözünürlüğünün artmasına ve kalın tuz çökelimlerinin gerçekleşmesine neden olmuştur. İki farklı kıtada yaşayan omurgalılar kurumaya bağlı olarak diğer kara parçasına geçmişlerdir.



5.33 milyon yıl önce

Atlantik sularının tekrar Akdeniz'e akması (Zanklean transgresyonu) Messiniyen Tuzluluk Krizi'ni sonlandırmıştır. Akdeniz'e tekrar su girişi Cebelitarık Boğazı (A) vasıtasıyla gerçekleşmiştir. Batı Akdeniz'den doğu Akdeniz'e su geçişi muhtemelen Sicilya Boğazı (F) boyunca olmuştur.

Şekil 5- Messiniyen Tuzluluk Krizi'nin batı Akdeniz'de farklı zaman dilimlerinde etkilerini gösteren şematik çizimler (<http://commons.wikimedia.org/wiki/Commons:Llotja>).

DEĞİNİLEN BELGELER

Garcia-Castellanos, D., Estrada, F., Jiménez-Munt, I., Gorini, C., Fernandez, M., Vergés, J., De Vicente, R. 2009. Catastrophic flood of the Mediterranean after the Messinian salinity crisis. *Nature Letters*, 462, 37–49. doi:10.1038/nature08555.

Govers, R. 2009. Choking the Mediterranean to dehydration: The Messinian salinity crisis. *Geology* 37, 2, 167–170. doi:10.1130/G25141A.

Hsü, K.J., Ryan, W.B.F., Cita, M.B. 1973. Late Miocene desiccation of the Mediterranean. *Nature* 242, 240–244.

Hsü, K.J., Montadert, L., Bernoulli, D., Cita, M.B., Erickson, A., Garrison, R.E., Kidd, R.B., Mélières, F., Müller, C., Wright, R. 1977. History of the Mediterranean salinity crisis. *Nature* 267, 399–403.

http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/9/92/Tectonic_map_Mediterranean_EN.svg.

https://www.youtube.com/watch?v=bw-qf_zQMWs.

Krijgsman, W., Hilgen, F.J., Raffi, I., Sierro, F.J., Wilson, D.S. 1999. Chronology, causes and progression of the Messinian salinity crisis. *Nature* 400, 652–655.

Rögl, F. 1998. Paleogeographic considerations for Mediterranean and Paratethys seaways (Oligocene to Miocene). *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien* 99A, 279–310.

Rögl, F. 1999. Mediterranean and Paratethys. Facts and hypotheses of an Oligocene to Miocene paleogeography (short overview). *Geologica Carpathica* 50, 339–349.