

Anadolu'nun yükselmesi

Aral I. OKAY^{1,2}, Massimiliano ZATTIN³,
Ercan ÖZCAN² ve Gürsel SUNAL²

Öz

Anadolu Platosu'nun Senozoyik'deki evrimi dört veri seti ışığında incelenmiştir. Bunlar: a) Anadolu'da en genç Senozoyik denizel istiflerin yaşları ve dağılımları, b) Anadolu'da Neojen karasal çökelleri yaşları ve dağılımları, c) Neojen volkaniklerin yaşları ve dağılımları, d) Anadolu'dan elde edilen termokronolojik yaşlar. Batı, İç ve Kuzey Anadolu'da en genç denizel sedimanter kayalar Orta Eosen yaşındadır, ve durum bu bölgenin 41 milyon senedir kara halinde olduğunu gösterir. Denizel Eosen istiflerin geniş bölgelerde korunmuş olması, ve karasal Neojen istiflerin yaygınlığı, Anadolu'da, Eosen'den beri erozyon veya çökmenin önemli olmadığını, ve son 41 milyon senede ortalama yükselme veya çökme hızlarının milyon senede 50 metreyi geçmediğini göstermektedir. Bu duruma istisnalar Menderes ve Kazdağ masifleri gibi Miyosen yaşlı metamorfik çekirdek komplekslerdir. Senozoyik memeli fosil yaşları Anadolu'da Erken Miyosen'den (~ 22 Ma) günümüze kadar yaygın karasal çökelinin varlığına işaret eder. Neojen magmatizması da son 22 milyon senede karasal çökeline benzer bir süreklilik arz eder. Anadolu Platosu son 41 Ma senedir karasal bir alan halindedir, ve son 22 milyon senedir yoğun karasal çökelim ve volkanizmaya maruz kalmıştır. Bu son dönemde çökme ve yükselme bir birini dengelemiş ve İç Anadolu'yu deniz seviyesi üzerinde tutmuştur. Buna karşın, Anadolu Platosu'nun güneyinde yer alan Toroslar sekiz milyon sene önce deniz altındaydı, ve daha sonra hızlı bir şekilde (milyon senede ~300 m) yükselmiştir. Anadolu Platosu'ndan farklı olarak da, Toroslar'da Neojen magmatizması pek gözlenmez. Bu farklılıklar, Anadolu'nun yükselmesinin tek bir mekanizma ile açıklanamayacağına işaret etmektedir. Düşük açılı dalma-batma ve sonrasında gelişen manto yükselmesi İç Anadolu Platosu'nu Eosen ve Oligosen'de deniz seviyesi üzerinde tutmuş, daha sonra Geç Miyosen'de kuzeye dalmakta olan Doğu Akdeniz okyanusal litosferinin kopması, Toroslar'ın hızlı bir şekilde yükselmesine yol açmıştır.

1. Giriş

Tektoniği, sedimantasyonu, hidrografiye ve iklimi etkileyen önemli morfolojik yapıların başında platolar gelir. Platoların oluşumları ve yaşları jeolojinin önemli problemleri arasındadır. Yaklaşık

bir kilometre rakıma ve düşük engebeye (< 300 m) sahip olan, 800 km'ye 400 km büyüklükte İç Anadolu Platosu yerkürenin önemli platoları arasında yer alır (Şekil 1). İç Anadolu Platosu kuzey ve güneyinde daha yüksek rakımlı Karadeniz ve Toros dağ silsileleri ile çevrilidir, doğusunda Arabistan ve Avrasya levhalarının çarpıştığı bölgede yaklaşık iki kilometre rakımlı Doğu Anadolu yer alır; tektonik konumu nedeni ile Doğu Anadolu kuzey-güney yönünde kısalmakta ve yükselmektedir. İç Anadolu Platosu'nun batısında ise KKD-GGB yönünde genişleyen ve çöken Ege bölgesi bulunur (Reilinger vd., 2006).

Son yapılan çalışmalar ile Toroslar'ın Geç Miyosen sonrasında yükselmesi sağlam bir şekilde belgelenmiş, ve kuzeye dalan Doğu Akdeniz okyanus litosferinin kopması veya delaminasyonu ile açıklanmıştır (Schildgen vd., 2014). İç Anadolu Platosu'nun yükselmesi ile ilgili olarak ise çeşitli Geç Miyosen (<8Ma) sonrası litosferik mekanizmalar ileri sürülmüştür (Bartol ve Govers, 2014; Göğüş vd., 2017), buna karşın İç Anadolu Platosu'nun ne zaman yükseldiğine dair veriler kısıtlıdır. Yaptığımız çalışma kapsamında Anadolu Platosu'nun ne zaman yükseldiği ile ilgili dört veri seti hazırlanmıştır. Bunlar sırası ile: a) Anadolu'daki en genç denizel tabakaların yaşları ve dağılımları, b) Anadolu'daki karasal Neojen serilerinin yaşları ve dağılımları, c) Senozoyik magmatizmasının yaşı, d) termokronolojidir.

2. Yöntem

Yaptığımız çalışma literatürden derlediğimiz dört veri setine dayanmaktadır. Bunlar sırası ile Anadolu'daki en genç Senozoyik denizel çökellerin yaşları ve özellikleri (Çizelge S1), karasal Senozoyik çökellerin yaşları (Çizelge S2 ve S3), Senozoyik volkanizmanın yaşı (Çizelge S4), ve Anadolu'dan yayınlanmış termokronolojik verilerdir (Çizelge S5). Bu veri setleri Mendeley veri bankasında yer almaktadır (<https://data.mendeley.com/datasets/27jpg8z52d/1>).

Anadolu'daki en genç Senozoyik denizel çökellerin yaşları Şekil 2'de gösterilmiş ve çizelge S1'de listelenmiştir. Yaş verileri makalelerden, özellikle hassas biyostratigrafik veri sunan eserlerden alınmıştır; biyostratigrafik veriler dışında ayrıca az sayıda jeokronolojik yaşlar da listede yer almaktadır. Şekil 2'de gösterilen lokasyon numaraları çizelge S1'deki numaralara karşılık gelmektedir. Çizelge S1 (<https://data.mendeley.com/datasets/27jpg8z52d/1>),

¹ Avrasya Yerbilimleri Enstitüsü, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, Sarıyer 34469 İstanbul

² Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Maden Fakültesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Maslak, Sarıyer 34469 İstanbul

³ Dipartimento di Geoscienze, Università di Padova, Via G. Gradenigo 6, 35131 Padova, İtalya

216 biyostratigrafik lokasyon ve 157 makale içerir. Her bir lokasyon için o noktadaki yaş, formasyonun ismi ve litolojisi verilmiş ve ilgili referans belirtilmiştir. Aykırı bir kaç yaş verisi çizelge S1'nin sonunda sunulmuş ve tartışılmıştır. Çizelge S1'de verilen 157 makalenin kayıtları Referans Ek'inde mevcuttur.

Şekil 3 ve 4 gösterilen ve çizelge S2'de verilen ikinci veri seti karasal Neojen sedimanlarının memeli yaşları ile ilgilidir. Bu çizelge Saraç (2003) tarafından hazırlanan çizelgenin güncelleştirilmiş bir versiyonudur. Çizelge S2 (<https://data.mendeley.com/datasets/27jpg8z52d/1>) Anadolu'da değişik lokasyonlarda tespit edilmiş memeli zonlarını, memeli lokasyonların koordinatlarını sunmakta, memeli fosillerin yer aldığı karasal sedimanların çökme ortamları hakkında bilgi vermekte ve ilgili kaynakçayı belirtmektedir. Bazı durumlarda verilen memeli yaşları yeterince hassas olmayıp birkaç memeli zonunu içermektedir. Böyle durumlarda, Çizelge S3'de açıklandığı şekilde, memeli yaşları ilgili memeli zonlarına eşit olarak dağıtılmıştır. Çizelge S2'de verilen referanslar Mendeley veri bankasındaki referans ekinde mevcuttur.

Şekil 5 ve çizelge S4'de gösterilen üçüncü veri seti Türkiye'deki Senozoyik magmatik kayaların izotopik yaşlarını vermektedir. Çizelge S4 (<https://data.mendeley.com/datasets/27jpg8z52d/1>), Türkecan (2015), Ersoy vd. (2017) ve Schleiffarth vd. (2018)'de verilen veri setlerinin tüm Türkiye'yi içine alacak şekilde genişletilmiş ve güncelleştirilmiş halidir. Çizelge her bir lokasyonda elde edilen izotopik yaşı, uygulanan izotopik yaşlandırma tekniğini, kaya türünü, ve ilgili referansı içerir.

Çizelge S4'de kullanılan referanslar Mendeley veri bankasındaki referans ekinde mevcuttur.

Şekil 6 ve çizelge S5'de verilen dördüncü veri seti ise Türkiye'de yapılan ve yayınlanan termokronolojik yaşları kapsamaktadır.

Çizelge S5 (<https://data.mendeley.com/datasets/27jpg8z52d/1>) numerik yaşı, yaşlandırma yöntemini, kaya tipini, lokasyonunu ve ilgili referansı içerir. Yüzeylemeden ziyade kayanın çökme yaşı ile ilgili termokronolojik veriler çizelge S5'de belirtilmiştir. Çizelge S5'de kullanılan referanslar Mendeley veri bankasındaki referans ekinde bulunmaktadır.

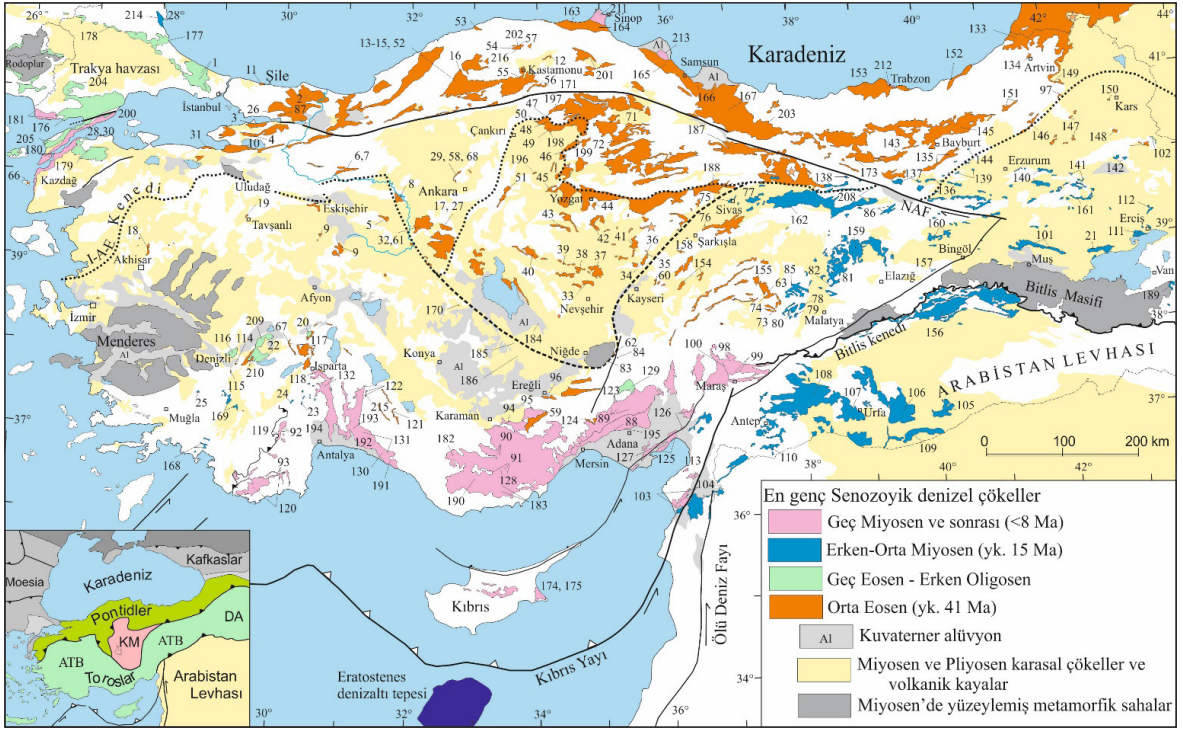
3. Biyostratigrafi – Anadolu en son ne zaman deniz altındaydı?

Deniz seviyesi bir bölgenin yükselmesi ile ilgili net bir biçimde tanımlanabilen bir yüzey oluşturur. Bir bölgenin en son ne zaman deniz altında olduğunu, o bölgede çökelen en genç sedimanların yaşı ile tespit etmek mümkündür. Anadolu'da tespit edilen en genç Senozoyik denizel sedimanların dağılımı ve yaşları şekil 2'de gösterilmiştir. Yaşlar, 200'den daha fazla lokasyondan elde edilen biyostratigrafik kesitlerden, az oranda jeokronolojik verilerden ve kuyu loglarından derlenmiştir. Harita üzerindeki numaralandırılmış lokasyonlardaki yaş, stratigrafik kesit, litoloji ve kaynakça gibi bilgiler çizelge S1'de (<https://data.mendeley.com/datasets/27jpg8z52d/1>) verilmiştir.

Şekil 2'deki harita Türkiye'deki en genç Senozoyik denizel sedimanter kayaların üç ana yaş grubunda toplandığını göstermektedir. Pontidler ve İç Anadolu'da, en genç denizel çökeller Orta Eosen



Şekil 1- Anadolu Platosu ve çevresinin fizyografisi. KAF, Kuzey Anadolu Fayı; DAF, Doğu Anadolu Fayı. Baz harita GeoMapApp programından elde edilmiştir (<http://www.geomapapp.org/>).



Şekil 2- Türkiye’de en genç Senozoyik denizel çökellerin dağılımı. Türkiye jeoloji haritası (Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2011) baz alınmıştır. Harita üzerindeki rakamlar çizelge S1’dekilere tekabül eder. ATB, Anatolid-Torid Bloku, KM-Kırşehir Masifi, DA – Doğu Anadolu, I-A-E Kenedi - İzmir-Ankara-Erzincan Kenedi, KAF – Kuzey Anadolu Fayı.

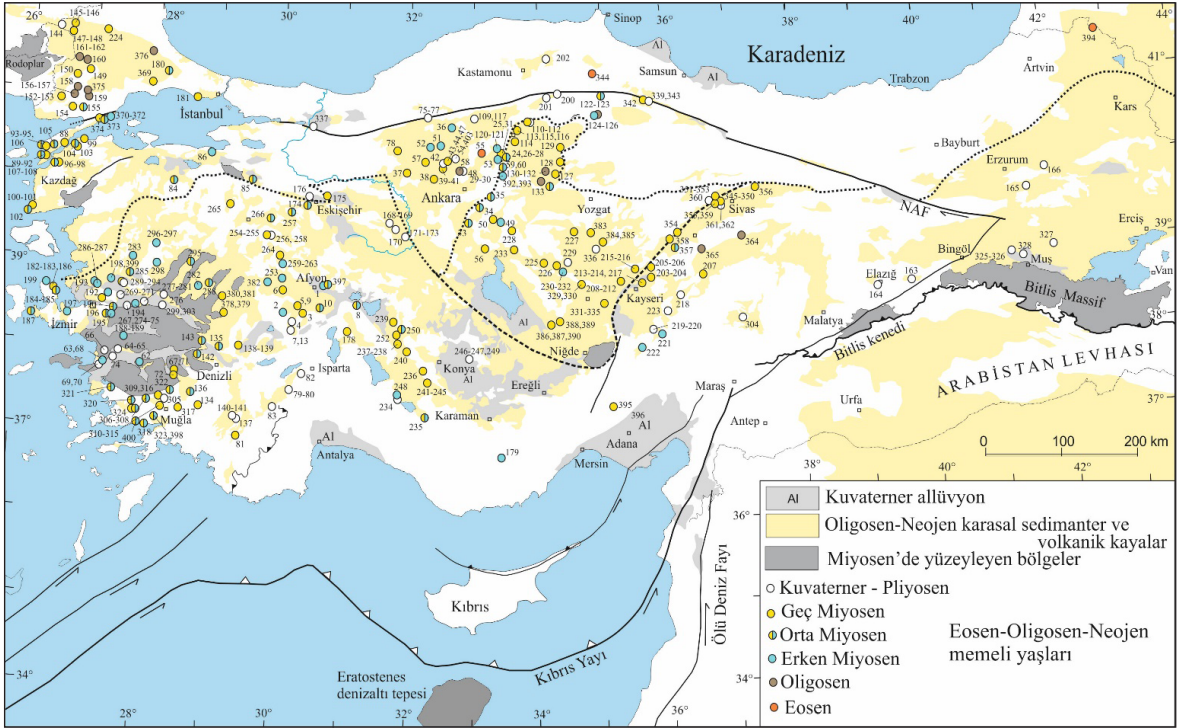
(Lütseyen, ~41 Ma) yaşındadır. Trakya dışında bu geniş alanda teyit edilmiş Geç Eosen veya daha genç denizel çökeller bulunmamaktadır (Lüttig ve Steffens, 1976; Özcan vd., 2020). Doğu Anadolu ve Güneydoğu Anadolu’yu içeren Arabistan Platformu’nda en genç denizel çökeller baskın olarak Erken Miyosen yaşındadır (Burdigaliyen kireçtaşları ve seyrek Orta Miyosen marlları) (Şekil 2, çizelge S1). Toroslar ise Miyosen sonunda ve yer yer Pliyosen ve Pleistosen’de deniz seviyesinin üzerine çıkmıştır (Cosentino vd., 2012; Öğretmen vd., 2018). Stratigrafik veriler İç Anadolu ve Pontidler’in yaklaşık 41 milyon sene önce, Doğu Anadolu ve Arabistan Platformu’nun yaklaşık 15 milyon sene önce, ve Toroslar’ın en son sekiz milyon sene önce kara haline geldiğini göstermektedir.

4. Senozoyik yaşlı karasal sedimantasyon

Anadolu Platosu’nda Orta Eosen ve Oligosen (41 Ma - 22 Ma) yaşlı karasal çökeller kısıtlı alanlarda gözlenir, buna karşın Miyosen ve sonrası karasal tortullar ve onlarla ilişkili volkanik kayalar çok geniş alanlarda mostra verir (Şekil 3, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, 2011). Neojen yaşlı sedimanlar göl veya akarsu ortamlarında çökelmiş veya alüvyal yelpazelerde birikmiş klastik ve

karbonat kayalarından oluşur (Becker-Platen vd., 1977; Arıkan, 1975; Çemen vd., 1999; Gürbüz vd., 2019). Kalınlığı bir kaç kilometreyi geçebilen Neojen istifleri içinde linyit, borat ve diğer evaporit yatakları yer alır (Kaymakçı vd., 2009; Fernandez-Blanco vd., 2013); Neojen istifleri izole göllerde ve lokal akarsu sistemlerinde çökelmiş oldukları için, Neojen formasyonlarını yanal olarak uzun mesafeler takip etmek mümkün değildir. Bu durum ve istiflerin karasal niteliği, Neojen istiflerinin yaşlandırılmasında problem arz etmektedir. Neojen istiflerinin yaşlandırılmasında en iyi yöntem mikro-memeli fosilleridir. Hassas ve doğru yaşlar veren mikro-memeli fosilleri sayesinde Neojen dönemi memeli zonlarına ayrılmıştır (Steininger vd., 1996). Anadolu’daki Senozoyik memeli yaşları Saraç (2003) tarafından derlenmiştir; biz bu derlemeyi güncel hale getirerek, çizelge S2’de sunduk. Çizelge S2, dört yüzü aşkın memeli fosil lokasyonunun yaşlarını, coğrafi koordinatlarını, içinde buldukları sedimanların çökeltme ortamlarını ve bunlarla ilgili referansları vermektedir (<https://data.mendeley.com/datasets/27jpg8z52d/1>).

Batı ve İç Anadolu’da Erken, Orta ve Geç Miyosen, ve Pliyosen memeli fosil lokasyonlarının dağılımı şekil 3’deki haritada gösterilmiştir. Şekil 3’deki

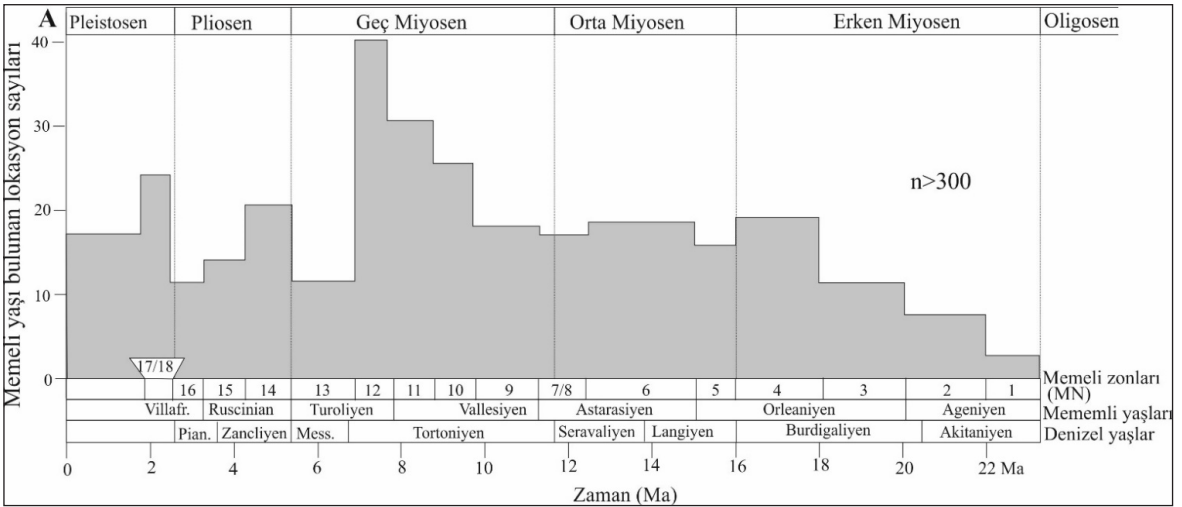


Şekil 3- Türkiye’de karasal Neojen çökel ve volkaniklerin mostra dağılımı. Harita üzerindeki rakamlar çizelge S2’dekilere tekabül etmektedir.

memeli lokasyonlarının numaraları çizelge S2’deki numaralara karşılık gelmektedir. Şekilden görüleceği gibi, Miyosen ve Pliosen karasal sedimanları Batı ve İç Anadolu’da yaygın olarak yüzeylenmektedir. Bu durum şekil 4’deki memeli fosil yaşı ile buluntu sıklığı arasındaki ilişkiyi gösteren diyagramda da görülebilir. Veriler memeli fosil yaşlarının, en Erken Miyosen’de bir seyreklik ve Geç Miyosen’de bir yoğunluk dışında, Miyosen’den günümüze kadar homojen bir şekilde dağıldığını göstermektedir. Memeli fosil yaşlarının dağılımı Batı ve İç

Anadolu’da karasal sedimantasyonun kesintili de olsa Erken Miyosen’den günümüze kadar sürdüğüne işaret etmektedir (Alçipek, 2010).

Anadolu Platosu’nda Miyosen sedimantasyonu, Miyosen yaşlı metamorfik çekirdek kompleksler olan Kazdağ ve Menderes masifleri çevresinde olduğu gibi genişlemeli, veya Çankırı havzasında olduğu gibi (Kaymakçı vd., 2009) sıkışmalı tektonik ortamlarda gelişmiştir. Neojen istiflerinin kalınlıkları genellikle bir kilometrenin altındadır, buna karşın bazı Neojen



Şekil 4- Senozoyik memeli yaşları ve yaş yoğunlukları arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram. Veriler için çizelge S2 ve şekil 3’e bakınız.

havzalarında kalınlık bir kaç kilometreye kadar çıkmaktadır. Kalınlık ve tektonik ortamda farklılıklara rağmen, ve Miyosen'de 150 metreyi geçen global deniz seviyesi değişimlerine rağmen (Haq vd., 1987), İç Anadolu'daki Neojen istifleri arasında denizel çökellere rastlanmaz. Bu durum Neojen havzalarında çökmenin, yer yüzünün yükselmesi ile dengelendiğini, Miyosen süresince kıyı kenar çizgisinin Toros Dağlarının kuzey sınırını takip ettiğini ve oldukça sabit olduğunu göstermektedir (Şekil 2).

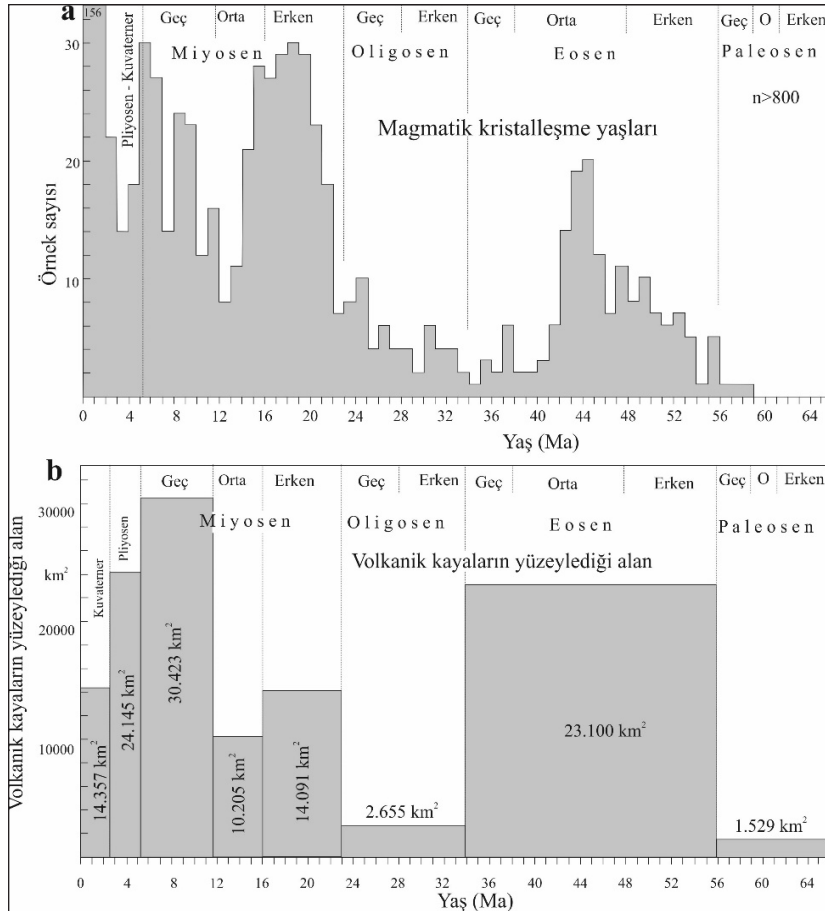
5. Anadolu'da Senozoyik yaşlı magmatizma

Neojen yaşlı volkanik kayalar Batı Anadolu'da ve İç Anadolu Platosu'nda geniş alanlarda mostra verir, buna karşın Toroslar'da hemen hemen hiç gözlenmez ve Pontidler'de Neojen volkanik kayaları seyrek (Türkecan, 2015). Türkiye'deki magmatik kayaların kristalleşme yaşları Türkecan (2015), Ersoy vd. (2017) ve Schleiðfarth vd. (2018) tarafından derlenmiştir. Bu derlemeler için Senozoyik magmatik kaya yaşları seçilmiş, yeni veriler ile güncellenerek çizelge S4'de

(<https://data.mendeley.com/datasets/27jpg8z52d/1>) sunulmuştur.

Şekil 5a ise kristalleşme yaşı ile yaş yoğunluğu arasındaki ilişkiyi göstermektedir. Buna göre Anadolu'da Paleosen'de düşük yoğunluklu bir magmatizma sonrası Orta Eosen'de büyük bir magmatik faaliyetin gelişmiştir. Benzer bir resmi Türkiye'de Senozoyik volkanik kayaların yüzey dağılımında da gözlemek mümkündür (Şekil 5b, Türkecan, 2015). Orta Eosen volkanizması genelde denizel karakterdedir; volkanik seviyeler arasında sık sık denizel çökeller bulunur. Orta Eosen magmatizması, çarpışma sonrası genişlemeli bir tektonik ortamda gelişmiştir.

Orta Eosen magmatizmasını takiben Geç Eosen ve Oligosen'de ikinci bir düşük yoğunluklu magmatik evre yaşanmış (Şekil 5), daha sonra Erken Miyosen'de (~22 Ma) başlayan ve günümüze kadar devam eden yoğun karasal volkanizma meydana gelmiştir (örn., Innocenti vd., 2005; Dilek ve Altunkaynak, 2009; Sarıkaya vd., 2019). Bu dönem aynı zamanda



Şekil 5- a) Senozoyik magmatik kayaların yaşları ve yaş yoğunlukları arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram. b) Türkiye'de farklı yaştaki Senozoyik magmatik kayaların yüzeyleme alanları (Türkecan, 2015'den değiştirilerek alınmıştır). Şekil 5a'daki veriler için çizelge S4'e bakınız.

Anadolu'da yaygın karasal sedimantasyonun meydana geldiği zamandır (Şekil 2).

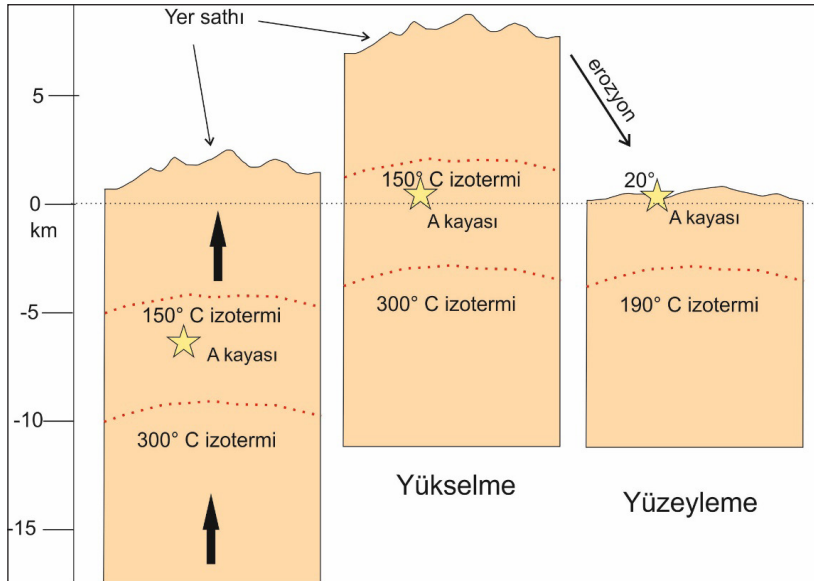
6. Termokronoloji - İç Anadolu Platosu'nun yükselmesi

Anadolu'da denizel tabakaların dağılımı, Anadolu'nun erken Orta Eosen'den (Lütesyen) sonra kara haline geldiğini göstermektedir. Buna göre Anadolu'da derindeki kayaların yüzeylenmesi 41 milyon sene sonrası olmuştur.

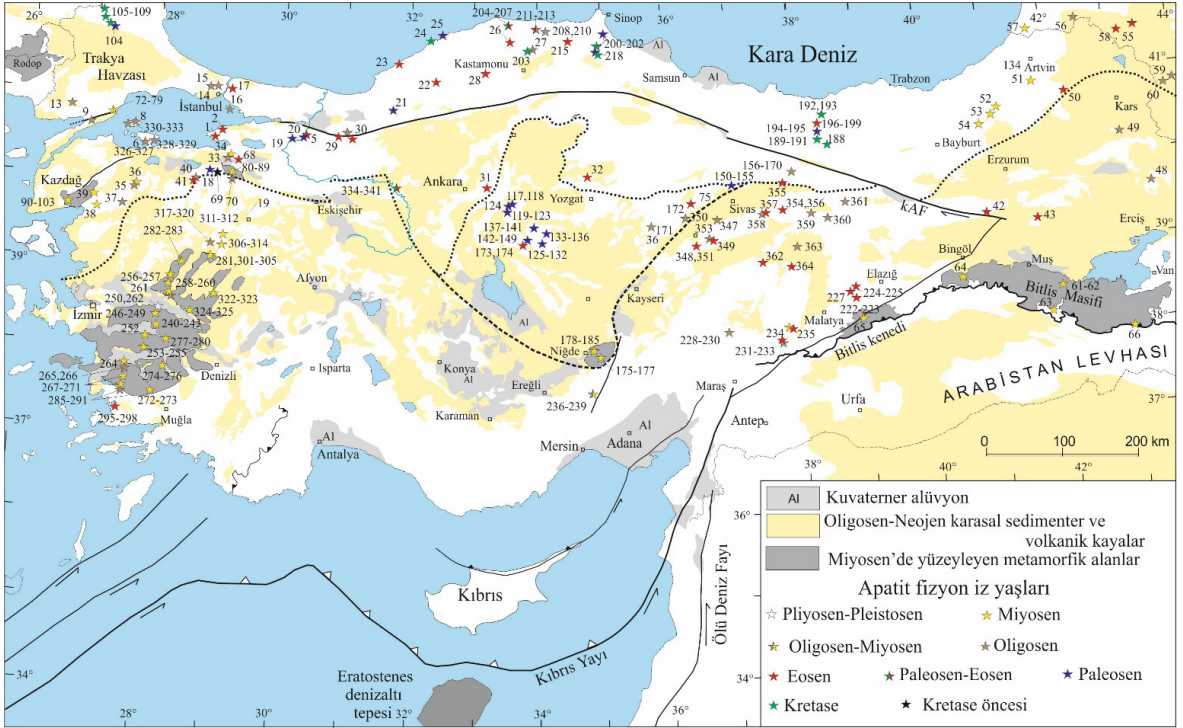
Burada yükselme (uplift) ve yüzeyleme (exhumation) terimlerinin açıklanmasında fayda vardır. Yükselme bir bölgenin deniz seviyesine göre yükselmesine, rakım değerinin artmasına denir, fakat sadece yükselme ile derindeki kayalar yer sathına çıkamaz (Şekil 6). Derindeki kayaların satha çıkması için yükselme ile beraber fiziksel veya tektonik erozyon gerekir; bu olaya yüzeyleme (exhumation) denir. Yüzeyleme ile derindeki kayalar yer sathına yaklaştıkça sıcaklıkları düşer. Örneğin 8849 m yükseklikte olan Everest dağının tepesinden derin bir sondaj yapılsa, sıfır rakımında (deniz seviyesinde) kesilen kayaların sıcaklıkları 250 °C civarında olacaktır. Everest Dağı tamamen aşınsa 250 °C sıcaklıkta olan kayaların sıcaklığı 15-20 °C'ye düşecektir. Yüzeyleme ile kayaların sıcaklığı düşmekte, ve bunun ne zaman olduğu termokronolojik

yöntemlerle ortaya konulabilmektedir. Örneğin, en yaygın termokronolojik yöntem olan apatit fizyon iz (AFİ) yöntemi ile kayaların ne zaman yaklaşık 120 °C sıcaklığın altına düştüğü saptanabilir. 120 °C sıcaklık da normal jeotermal gradyana göre yaklaşık 3-4 km derinliğe karşılık gelir. Örneğin Kazdağ Masifi'ndeki yüksek dereceli metamorfik kayaların AFİ yaşları yaklaşık 16 milyon senedir (Cavazza vd., 2009). Bu durum bu kayaların 16 milyon sene önce 3-4 km derinlikte olduğuna işaret eder. Buna karşın Istranca Masifi'ndeki metamorfik kayalarda ölçülen AFİ yaşları 50-60 milyon sene arasında saçılmaktadır (Catto vd., 2018); Istranca Masifi Senozoyik'te yükselmemiş, yüzeylenmemiştir.

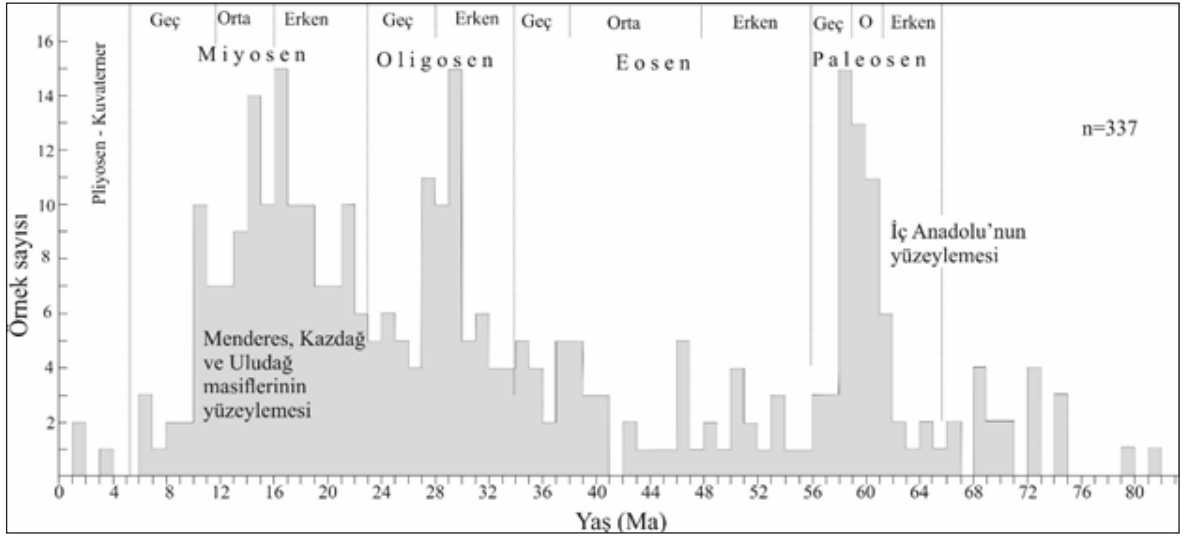
Anadolu'dan yayınlanan termokronolojik veriler çizelge S5'de derlenmiş ve apatit fizyon iz (AFİ) yaşlarının dağılımı şekil 7'deki haritada ve şekil 8'deki grafikte gösterilmiştir. AFİ verileri Anadolu'da üç önemli yüzeyleme evresine işaret eder: Orta-Geç Paleosen, Oligosen ve Miyosen; Senozoyik öncesi yaşlar toplam yaşların % 7'sinden daha azını oluşturur. Miyosen yüzeylenmesi, Menderes ve Kazdağ masifleri gibi metamorfik çekirdek komplekslerde (Ring vd., 2003; Cavazza vd., 2009) ve Bitlis Masifi gibi metamorfik bindirme dilimlerinde (Okay vd., 2010) gözlenir. Şekil 8'de gözlenen Miyosen'de yoğunlaşmış AFİ yaşları bu masiflerde yapılan yoğun çalışmaların sonucudur. Buna karşın Miyosen



Şekil 6- Yükselme, erozyon ve yüzeyleme terimlerini açıklayan diyagram. Bir bölgenin yükselmesi kayaların yer sathına göre yüksekliğini (rakımını) değiştirmekte fakat sıcaklıklarını etkilememektedir. Örneğin A noktasındaki kayanın sıcaklığı 170 °C'dir, bölge blok halinde yedi kilometre yükselse bile A noktasındaki kayanın sıcaklığı pek değişmeyecektir, fakat erozyon devreye girip, A noktası üzerindeki kayalar aşınırsa, A kayası satha yükselebilecek, ve sıcaklığı yeryüzü sıcaklığına inecektir. A kayasının sıcaklığındaki değişimi (A kayasının yüzeylenmesini) termokronoloji ile tespit etmek mümkündür.



Şekil 7- Türkiye’de karasal Neojen çökel ve volkaniklerin mostra dağılımı. Harita üzerindeki rakamlar çizelge S2’dekilere tekabül etmektedir.



Şekil 8- Anadolu’da apatit fizyon iz (AFT) yaşları ve yaş yoğunlukları arasındaki ilişkiyi gösteren diyagram. Veriler için şekil 6 ve çizelge S5’e bakınız.

yüzeylemesi gösteren yapılar Anadolu’nun yüzde ondan daha az bir alanını kaplar (Şekil 7).

Paleosen-Eosen AFİ yaşları baskın olarak İç Anadolu ve Pontidler’den (Şekil 7, çizelge S5) gelmektedir. Bu yaşlar, Pontidler ile Anatolid-Torid Bloku/Kırşehir Masifi’nin çarpışması sonrasında gerçekleşen yüzeylemeye karşılık gelir. Oligosen AFİ yaşları (30-27 Ma) geniş bir alan kaplar (Şekil

7) ve Miyosen karasal çökelimi öncesi bir yüzeyleme evresine karşılık gelir.

7. Tartışma ve Sonuçlar

Biostratigrafik veriler İç Anadolu ve Pontidler’de en genç denizel tabakaların Orta Eosen (~41 Ma) yaşında olduğunu göstermektedir. Orta Eosen çökelileri üzerinde geniş alanlarda Neojen karasal

sedimanları yer alır; bu durum Orta Eosen'den sonra bölgeye bir daha deniz istila etmediğine işaret eder. Buna göre Anadolu Platosu 41 milyon senedir kara halindedir.

Anadolu Platosu'nun Orta Eosen sonrası jeolojik evrimi iki safhaya ayrılabilir. Orta Eosen ve Oligosen'de (41-22 Ma) kısıtlı alanlarda karasal çökelim, yükselme-aşınma ve az oranda magmatizma meydana gelmiştir (Şekil 3). Miyosen ve sonrasında ise karasal çökelim geniş alanlarda gerçekleşmiş ve buna yaygın magmatizma eşlik etmiştir. Bu dönem aynı zamanda Menderes ve Kazdağ masifleri gibi metamorfik çekirdek komplekslerin genişlemeli bir tektonik ortamda yüzeyleme dönemidir (Ring vd., 2003; Cavazza vd., 2009). Neojen'de bölgesel olarak bazı havzalarda çökme olmuşsa da, Anadolu Platosu Neojen süresince deniz seviyesi üzerinde yer almıştır; yöresel çökme, bölgesel yükselme ile dengelenmiştir.

İç Anadolu'da sedimantasyon ortamı ve topoğrafya, Orta Eosen'den (~41 Ma, Lütesyen) ve özellikle Erken Miyosen'den beri (~22 Ma) önemli ölçüde değişmemiştir. Bu görüşü destekleyen veriler şunlardır:

a) Son 22 milyon senedeki deniz seviyesi değişimleri ve Neojen havzalarındaki yöresel çökmelere rağmen İç, Kuzey ve Batı Anadolu karasal özelliğini korumuştur; bu kara alanının güney sınırı bugünkü Toros Dağlarının kuzey sınırını takip eder (Şekil 2). Bu durum İç ve Batı Anadolu'daki rakımın en az birkaç yüz metre olduğunu gösterir.

b) Anadolu'da Eosen ve Miyosen denizel çökellerin kalınlığı genelde 500 metreden azdır (Çizelge S1). Bu çökellerin Anadolu'da yaygın dağılımı, Menderes Masifi gibi bazı istisnalar dışında, Orta Eosen sonrası erozyonun Anadolu'da önemli bir rol oynamadığını göstermektedir (>1 km); bu görüş termokronolojik veriler ile de desteklenmektedir.

c) Memeli fosil yaşları Batı ve İç Anadolu'da karasal çökelin kesintili olarak Erken Miyosen'den günümüze kadar devam ettiğini gösterir (Şekil 3).

d) Anadolu Platosu'nda güncel karasal çökelim alanları, örneğin Tuz Gölü ve birçok alüvyon sahası, Neojen mostraları içinde yer alır (Şekil 2); bu gözlem Miyosen'deki çökelim ve tektonik ortamının günümüzde de sürdüğünü göstermektedir.

e) Anadolu'da Neojen havzaları genellikle düşük engebeli düz topoğrafya oluşturur, havzaları çevreleyen tepelik engebeli alanlar ise temel kayalarından yapılmıştır. Bu durum da Miyosen'den beri sedimantasyonun süreklilik arz ettiğine işaret eder.

f) Erken Miyosen başlayan karasal magmatizma önemli bir kesiklik göstermeden günümüze kadar devam etmiştir.

g) Menderes ve Kazdağ masifleri gibi Miyosen yaşlı metamorfik çekirdek kompleksler dağlık alanlar oluşturur ve aktif normal ve transtansiyonal faylarla ilişkilidir (Baran vd., 2017; Cavazza vd., 2009; Okay vd., 2008).

Eosen çökellerinin Anadolu'da yaygın olarak korunmuş olması, Neojen sedimanter kayalarının yaygın dağılımı, erozyon veya çökelinin son 41 milyon senede Anadolu Platosu'nda genelde bir kilometreyi geçmediğini gösterir. Tuz Gölü havzasında derin hidrokarbon sondajlarının modellenmesi, bu bölgede çökelim veya erozyonun son 41 milyon senede 500 metreyi geçmediğini ortaya koymuştur (Huvaz, 2009). Son 41 milyon senede Anadolu Platosu'nda yükselmesi veya çökmesi ortalama bir milyon senede 20-30 metre civarındadır. Bu duruma istisnalar Kazdağ veya Menderes Masifi gibi metamorfik çekirdek komplekslerdir.

Toroslar'ın Neojen evrimi, Anadolu Platosu'nda Neojen'de gözlenen düzenli karasal sedimantasyon ve volkanizmadan çok farklıdır. Toroslar'da genellikle Neojen magmatizması gözlenmez, ayrıca Toroslar deniz seviyesi üzerine Geç Miyosen'de (8 Ma) çıkmış, ve hızlı bir şekilde yükselmiştir (0.2-0.4 km/Myr, Cosentino vd., 2012; Schildgen vd., 2014). Son 600.000 senede yükselme hızı 1 km/Myr'i geçmiştir (Öğretmen vd., 2018). Toroslar'ın yakın geçmişteki hızlı yükseliminin İç Anadolu Platosu'na tek olası etkisi Geç Miyosen'de magmatizma yoğunluğunun artmasıdır (Şekil 5).

Doğu Anadolu'nun yükselme hızı ile ilgili doğrudan veriler kısıtlıdır. Buna karşın bölgedeki Alt-Orta Miyosen (15 Ma) denizel çökellerin yaygınlığı ve bölgenin 2 km'lik ortalama rakımı, Doğu Anadolu'nun da Toroslar'a benzer bir hızla (0.1-0.2 km/Myr) yükseldiğine işaret etmektedir.

Toroslar ve Doğu Anadolu'nun yükselmesinin nedeni olarak genellikle Doğu Akdeniz okyanus litosferinin delaminasyonu veya kopması ile meydana gelen astenosfer yükselmesi gösterilir (Keskin, 2003; Cosentino vd., 2012; Schildgen vd., 2014). Doğu Anadolu'da Tetis okyanusu Arabistan ve Avrasya çarpışması sonucu Erken Miyosen'de kapanmıştır (Okay vd., 2010), buna karşın Doğu Akdeniz'de Tetis okyanusu Anadolu'nun altına dalmaya devam etmiştir. Bartol ve Govers (2014)'e göre Orta Anadolu Platosu'nun yükselmesine yol açan olay Doğu Anadolu litosferik laminasyonunun batıya doğru kaymasıdır. Göğüş vd. (2017) ise Anadolu'nun

yükselmesini, Anadolu altındaki litosferik mantonun damla şeklinde derine inmesi ile açıklamaktadır. Her iki çalışma da Anadolu'nun yükselmesinin son on milyon senede gerçekleştiğini farz etmektedir. Buna karşın bu çalışmada gösterildiği gibi tektonik ortam açısından Anadolu son 22 milyon senede duraylı bir konumdadır, ve İç ve Batı Anadolu 41 milyon senedir kara alanıdır. Geç Eosen ve Oligosen'de Doğu Akdeniz okyanusal litosferinin düşük hızla ve düşük açılarla Anadolu'nun altına dalması, ve Miyosen'de manto yükselmesi Anadolu'yu dinamik olarak deniz seviyesi üzerinde tutmuştur (Faccenna vd., 2013; Govers ve Fichtner, 2016).

Sonuç olarak Orta Anadolu 41 milyon sene önce deniz seviyesi üzerine yükselmiş ve günümüze kadar kara olarak kalmıştır. Son 22 milyon senede karasal çökelim ve volkanizma ile tanımlanan duraylı bir tektonik ortam hakim olmuştur. Miyosen yaşlı metamorfik çekirdek kompleksler dışında Orta Anadolu'da Neojen'de çökme ve yükselme hızları düşük seyretmiştir (<0.05 km/Myr). Buna karşın Toroslar'ın yükselmesi çok daha genç (8 Ma sonrası) ve hızlıdır (>0.4 km/Myr). Orta Anadolu ve Toroslar'ın yükselmesi aynı mekanizmaya bağlanamaz. Anadolu Platosu kompozit bir yapıdır, Geç Miyosen sonrası güneşe doğru genişlemiştir.

Katkı Belirtme

Bu makale Turkish Journal of Earth Sciences'de 2020 senesinde yayınlanan "Uplift of Anatolia" makalesinin kısaltılmış bir çevirisidir (Okay vd., 2020). Makaleye konu olan çalışma 113R007 numaralı TÜBİTAK projesi ve TÜBA tarafından desteklenmiştir. Makalenin hazırlanması sırasında görüş alışverişinde bulunduğumuz Oğuz Göğüş, Ali Uygun, Evren Çubukçu ve Aynur Hakyemez'e, makaleyi inceleyen Taylor Schildgen, Attila Çiner, Rob Govers ve anonim kalan hakemlere teşekkür ederiz.

Değinen Belgeler

- Alçiçek, H. 2010. Stratigraphic correlation of the Neogene basins in southwestern Anatolia. Regional palaeogeographical, palaeoclimatic and tectonic implications. *Palaeogeography Palaeoclimatology Palaeoecology* 291: 297–318.
- Arıkan, Y. 1975. The geology and petroleum prospects of the Tuz Gölü Basin. *Bulletin of the Mineral Research and Exploration Institute of Turkey* 85: 17–44.
- Baran, Z.O., Dilek, Y., Stockli, D. 2017. Diachronous uplift and cooling history of the Menderes core complex, western Anatolia (Turkey), based on new zircon (U-

Th)/He ages. *Tectonophysics* 694: 181–196.

- Bartol, J., Govers, R. 2014. A single cause for uplift of the Central and Eastern Anatolian plateau? *Tectonophysics* 637: 116–136.
- Becker-Platen, J.D., Benda, L., Steffens, P. 1977. Litho- und biostratigraphische Deutung radiometrischer Altersbestimmungun aus dem Jungtertiär der Türkei. *Geologisches Jahrbuch B25*: 139–167.
- Cavazza, W., Okay, A.I., Zattin, M. 2009. Rapid early-middle Miocene exhumation of the Kazdağ metamorphic core complex (Western Anatolia). *International Journal of Earth Sciences* 98: 1935–1947.
- Cattò, S., Cavazza, W., Zattin, M., Okay, A.I., 2018. No significant Alpine-age tectonic overprint of the Cimmerian Strandja Massif (SE Bulgaria and NW Turkey). *International Geology Review*, 60, 513–529.
- Cosentino, D., Schildgen, T.F., Cipollari, P., Faranda, C., Gliozzi, E., Hudáková, N., Lucifora, S., R. Strecker, M. 2012. Late Miocene surface uplift of the southern margin of the Central Anatolian Plateau, Central Taurides, Turkey. *Geological Society of America Bulletin* 124: 133–145.
- Çemen, İ., Göncüoğlu, M.C., Dirik, K. 1999. Structural Evolution of the Tuzgölü Basin in Central Anatolia, Turkey. *Journal of Geology* 107: 693–706.
- Dilek, Y., Altunkaynak, Ş. 2009. Geochemical and temporal evolution of Cenozoic magmatism in western Turkey: mantle response to collision, slab break-off, and lithospheric tearing in an orogenic belt. van Hinsbergen DJJ, Edwards MA, Govers R (editörler). *Collision and Collapse at the Africa–Arabia–Eurasia Subduction Zone*. The Geological Society, London, Special Publications 311: 213–233.
- Ersoy, Y., Akal, C., Genç, Ş.C., Candan, O., Palmer, M.R., Prelević, D., Uysal, İ., Mertz-Kraus, R. 2017. U-Pb zircon geochronology of the Paleogene – Neogene volcanism in the NW Anatolia: Its implications for the Late Mesozoic–Cenozoic geodynamic evolution of the Aegean. *Tectonophysics* 717: 284–301.
- Faccenna, C., Becker, T.W., Jolivet, L., Keskin, M. 2013. Mantle convection in the Middle East: Reconciling Afar upwelling, Arabia indentation and Aegean trench rollback. *Earth and Planetary Science Letters* 375: 254–269.
- Fernandez-Blanco, D., Bertotti, G., Çiner, T.A. 2013. Cenozoic tectonics of the Tuz Gölü Basin (Central Anatolia Plateau, Turkey). *Turkish Journal of Earth Sciences* 22: 715–738.
- Göğüş, O.H., Pysklywec, R.N., Şengör, A.M.C., Gün, E. 2017. Drip tectonics and the enigmatic uplift of the Central Anatolian Plateau. *Nature Communications* 8: 1538.

- Govers, R., Fichtner, A. 2016. Signature of slab fragmentation beneath Anatolia from full-waveform tomography. *Earth and Planetary Science Letters* 450: 10–19.
- Gürbüz, A., Saraç, G., Yavuz, N. 2019. Palaeoenvironments of the Cappadocia region during the Neogene and Quaternary, central Turkey. *Mediterranean Geoscience Reviews* 1: 271–296.
- Haq, B.U., Hardenbol, J., Vail, R. 1987. Chronology of fluctuating sea-levels since the Triassic (250 million years ago to present). *Science* 235: 1156–1167.
- Huvaz, O. 2009. Comparative petroleum systems analysis of the interior basins of Turkey: Implications for petroleum potential. *Marine and Petroleum Geology* 26: 1656–1676.
- Innocenti, F., Agostini, S., Di Vincenzo, G., Doglioni, C., Manetti, P., Savaşçın, M.Y., Tonarini, S. 2005. Neogene and Quaternary volcanism in Western Anatolia: Magma sources and geodynamic evolution. *Marine Geology* 221: 397–421.
- Kaymakçı, N., Özçelik, Y., White, S.H., van Dijk, P.M. 2009. Tectono-stratigraphy of the Çankırı Basin: Late Cretaceous to early Miocene evolution of the Neotethyan Suture Zone in Turkey. van Hinsbergen DJJ, Edwards MA, Govers R (editörler). *Collision and Collapse at the Africa–Arabia–Eurasia Subduction Zone*. The Geological Society, London, Special Publications 311: 67–106.
- Keskin, M. 2003. Magma generation by slab steepening and breakoff beneath a subduction accretion complex: an alternative model for collision-related volcanism in Eastern Anatolia, Turkey. *Geophysical Research Letters* 30: 8046.
- Lüttig, G., Steffens, P. 1976. Paleogeographic atlas and explanatory notes for Turkey from the Oligocene to the Pleistocene. *Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover* 64 pp.
- Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü (2011). 1: 1 250 000 ölçekli Türkiye jeoloji haritası, tek pafta, Ankara. <http://www.mta.gov.tr/eng/maps/geological-1250000>.
- Okay, A.I., Satır, M., Zattin, M., Cavazza, W., Topuz, G. 2008. An Oligocene ductile strike-slip shear zone: Uludağ Massif, northwest Turkey – implications for the escape tectonics. *Geological Society of America Bulletin* 120: 893–911.
- Okay, A.I., Zattin, M., Cavazza, W. 2010. Apatite fission-track data for Miocene Arabia-Eurasia collision. *Geology* 38: 35–38.
- Okay, A.I., Zattin, M., Özcan, E., Sunal, G. 2020. Uplift of Anatolia. *Turkish Journal of Earth Sciences* 29: 696-713.
- Öğretmen, N., Cipollari, P., Frezza, V., Faranda, C., Karanika, K., Gliozzi, E., Radeff, G., Cosentino, D. 2018. Evidence for 1.5 km of uplift of the Central Anatolian Plateau's southern margin in the last 450 kyr and implications for its multiphased uplift history. *Tectonics* 37: 359–390.
- Özcan, E., Özcan, Z., Okay, A.I., Akbayram, K., Hakyemez, A. 2020. The Ypresian-to Lutetian marine record in NW Turkey: a revised biostratigraphy and chronostratigraphy and implications for Eocene paleogeography. *Turkish Journal of Earth Sciences* 29: 1–27.
- Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., Lawrence, S., Ergintav, S., Cakmak, R., Kadirov, F., Guliev, I., Stepanyan, R., Nadariya, M., Hahubia, G., Mahmoud, S., Sakr, K., ArRajehi, A., Paradissis, D., Al-Aydrus, A., Prilepin, M., Guseva, T., Evren, E., Dmitrova, A., Filikov, S.V., Gomez, F., Al-Ghazzi, R., Karam, G. 2006. GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions. *Journal of Geophysical Research* 111: B05411.
- Ring, U., Johnson, C., Hetzel, R., Gessner, K. 2003. Tectonic denudation of a Late Cretaceous-Tertiary collisional belt: regionally symmetric cooling patterns and their relation to extensional faults in the Anatolide belt of western Turkey. *Geological Magazine* 140: 421–441.
- Saraç, G. 2003. Türkiye omurgalı fosil yatakları. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü Rapor no: 10609. 218 s. https://eticaret.mta.gov.tr/index.php?route=product/product&product_id=10609
- Sarıkaya, M.A., Çiner, A., Zreda, M., Şen, E., Ersoy, O. 2019. Chlorine degassing constrained by cosmogenic ³⁶Cl and radiocarbon dating of early Holocene rhyodacitic lava domes of Erciyes Stratovolcano, central Turkey. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 369: 263-275.
- Schildgen, T.F., Yıldırım, C., Cosentino, D., Strecker, M.R. 2014. Linking slab break-off, Hellenic trench retreat, and uplift of the Central and Eastern Anatolian plateaus. *Earth-Science Reviews* 128: 147–168.
- Schleiffarth, W.K., Darin, M.H., Reid, M.R., Umhoefer, P. J. 2018. Dynamics of episodic Late Cretaceous–Cenozoic magmatism across Central to Eastern Anatolia: New insights from an extensive geochronology compilation. *Geosphere* 14: 1990–2008.
- Steininger, F.F., Berggren, W.A., Kent, D.V., Bernor, R.L., Şen, S., Agusti, J. 1996. Circum-Mediterranean Neogene (Miocene and Pliocene) marine continental chronologic correlations of European mammal units. Bernor RL, Fahlbusch V, Mittmann H-W (editörler). *The Evolution of Western Eurasian Neogene Mammal Faunas*, Columbia University Press, New York, pp. 7–46.

Türkecan, A. 2015. Türkiye Senozoyik Volkanitleri. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Özel Yayın No. 33, 258 s

Ek Çizelge ve şekiller

Ek çizelgeler ve kaynakça, aşağıda adresi verilen Mendeley Veri Merkezi'nden indirilebilir. <https://data.mendeley.com/datasets/27jpg8z52d/1>.

Çizelge S1. Anadolu'da en genç Senozoyik denizel sedimanter kayalar

Çizelge S2. Anadolu'da Senozoyik memeli fosil yaşları ve lokasyonları

Çizelge S3. Çoklu memeli yaşlarının memeli zonlarına dağılımı

Çizelge S4. Anadolu'da Senozoyik magmatizmaya ait izotopik yaş ve diğer veriler

Çizelge S5. Anadolu'da elde edilen termokronolojik yaşlar

Çizelge S1, S2, S4 ve S5 için kaynakça