



## Malkara-Keşan (GB Trakya) çevresinde bulunan silisleşmiş ağaçların türlerinin tespiti ve mineralojik-petrografik özellikleri

Burcu Çevik Üner<sup>1\*</sup> , Ünal Akkemik<sup>2\*</sup> , Sabah Yılmaz Şahin<sup>3</sup> 

<sup>1</sup>*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Müzesi, 34500, Büyükçekmece-İstanbul*  
<sup>2</sup>*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Orman Fakültesi, Orman Mühendisliği Bölümü, 34473, Bahçeköy-İstanbul,*  
<sup>3</sup>*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Mühendislik Fakültesi, Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 34500, Büyükçekmece-İstanbul*

\*Sorumlu yazar: [bcevik@istanbul.edu.tr](mailto:bcevik@istanbul.edu.tr)

### Özet

Trakya Havzası'nın güneybatısında yer alan Malkara-Keşan çevresinde silisleşmiş ağaç örnekleri, Geç Oligosen-Erken Miyosen yaşlı Danişmen Formasyonuna ait karasal sedimanlar içerisinde bulunmaktadır. Türkiye'nin çeşitli bölgelerinde tespit edilen, özellikle Tersiyer yaş aralığındaki silisleşmiş ağaçların oluşumları, Malkara-Keşan bölgesinde de olduğu gibi bölgedeki etkin volkanizma faaliyetleri ve eşzamanlı sedimantasyonla ilişkilidir. Silisleşmiş ağaç örneklerinde enine, teğet ve radyal yönde kesitler alınarak, bunlarda polarizan mikroskop altında mineralojik-petrografik çalışmalar yapılmış ve silisleşmiş ağaçların tamamına yakınında silisin çeşitli formlarda geliştiği gözlenmiştir. Ayrıca, mikroskop altında tespit edilen silisin mineral tür ve amorf oluşumlarının tayinleri X-Işınlı Difraktometresi (XRD) analizleri ile de desteklenmiştir. Buna göre Opal-A, Opal-CT, kalsedon ve kuvars türü amorf/mineralojik oluşumlar saptanmıştır. Silisleşmiş ağaçlardan alınan ince kesitler üzerinde yapılan çalışmalarla fosil ağaç cins/türleri tespit edilerek o dönemin paleobotanik yorumları yapılmıştır. Silisleşmiş ağaç örneklerinin tanısıyla *Glyptostroboxylon rudolphii* bulgusu, Oligosen-Erken Miyosen döneminde Trakya'da ilk kez, cf. *Quercoxylon caucasicum* ve cf. *Ginkgoxylon lesboense* türleri ise Türkiye'de ilk defa bu çalışma ile tanımlanmıştır. Trakya'da daha önce varlığı bilinen diğer tür ise *Taxodioxylon gypsaceum* türüdür. Bu türlerin yaşam ortamları göz önüne alındığında, bölgede Oligosen-ErkenMiyosen dönemlerinde su kenarı-bataklık koşullarının ve subtropikal iklimin hâkim olduğu söylenebilir.

**Anahtar Sözcükler:** Trakya, Silisleşmiş ağaç, Paleobotanik, Mineraloji/Petrografi, Su kenarı, Bataklık ortamı

*Determination of the species and mineralogical-petrographical properties of silicified woods around Malkara-Keşan (SW Thrace)*

### Abstract

Silicified wood samples around Malkara-Keşan located in the southwest of the Thrace Basin are found within terrestrial sediments belonging to the Late Oligocene-Early Miocene Danişmen Formation. Especially the silicification of the Tertiary aged woods, which were also defined in various regions of Turkey, were associated with active volcanic activities and coeval sedimentation in that period as it is in Malkara-Keşan region. The thin sections from the silicified woods were taken as transverse, tangential and radial sections, mineralogical-petrographic studies were carried out under a polarizing microscope and in the nearly all silicified woods it has observed that silica has developed in different forms. Furthermore, the mineral types and amorphous formations' determinations of silica which are determined under the microscope are supported with X-Ray Diffractometer (XRD) analyses. Hence, it has been determined Opal-A, Opal-CT, calcedon and quartz type amorphous / mineralogic formations. The paleobotanical interpretations of this time are done by determining fossil wood genus/species with researchs which are done on the thin sections taken from the silicified woods. The *Glyptostroboxylon rudolphii* finding with the identification of the silicified wood samples is defined for the first time in the Oligocene-Early Miocene period in Thrace. In addition, the, cf. *Quercoxylon caucasicum* and cf.

*Ginkgoxylon lesboense* species are also firstly defined with this research in Turkey. Another species which is determined from Thrace before is the *Taxodioxydon gypsaceum*. Considering the the growing site conditions of these species that it can be concluded that riparian-swamp conditions and subtropical climate prevailed in the region during late Oligocene- early Miocene periods.

**Key Words:** Thrace, Silicified wood, Paleobotany, Mineralogy/Petrography, Riparian, Swampland environment.

## Giriş

Silisleşmiş ağaçlar, sedimanlarla birlikte gömülen gövde, dal gibi odunsu yapıların dokularına, bölgede gerçekleşen volkanik aktivite ile zenginleşen silisli suların yerleşmesiyle oluşmuş fosillerdir. Dokuda yer alan organik maddeler bozularak yerlerini silis ve/veya bazı elementlere bırakırlar. Silisifikasyon olayı, inorganik malzemenin (silis, karbonat, vb.) dokular içine gömülerek (permineralization) ağacın taşlaşması şeklinde olabileceği gibi, inorganik maddeler ile organik kısımların yer değiştirmesi (replacement) şeklinde de meydana gelmektedir (Musteo 2017, Musteo ve Viney 2017, Viney ve ark. 2019). Bu şekilde oluşan fosil ağaçlarda, farklı bileşim ve renklerin gelişmesine rağmen ağaç dokuları kısmen veya tamamen korunabilir, cins/tür tayinleri yapılabilir ve bölgenin jeolojisi hakkında önemli bilgiler verebilirler. Tüm bu veriler, bölgenin paleocoğrafik olarak tanımlanmasına ve yorumlanmasına olanak tanırırlar.

Başta Endonezya, Amerika, Almanya, Mısır ve İran olmak üzere dünyanın birçok yerinde, volkanik aktiviteler ile farklı jeolojik süreçlere bağlı olarak, farklı zamanlarda oluşmuş silisleşmiş ağaç ormanları bulunmaktadır (Voudouris ve ark. 2007, Dietrich ve ark. 2013, Mustoe 2017, Musteo ve Viney 2017, Hassan 2019, Lukens ve ark. 2019, Musteo ve ark. 2019, Pe-Piper ve ark. 2019). Türkiye’de ise başta Orta Anadolu olmak üzere Batı Anadolu’da ve Kuzeybatı Anadolu-Trakya bölgesinde Tersiyer dönemi volkanizmalarına bağlı olarak oluşan volkano-sedimanter birimler içerisinde fosilleşmiş ağaçlar tespit edilmiştir (Aras ve ark. 2004, Akkemik ve ark. 2005, Hatipoğlu ve Türk 2009, Akkemik ve ark. 2016, Acarca Bayam ve ark. 2018). Bunlardan Kuzeybatı Anadolu’da, Trakya bölgesinde tespit edilen fosil ağaçlar karasal sedimanlar içerisinde yer almakta ve Tersiyer döneminde bölgede gerçekleşen volkanik faaliyetin olduğu alanlarda ve yakınlarında gözlenmektedir.

Türkiye’de fosilleşmiş ağaçlar son yıllarda oldukça ilgi çeken bir konu haline gelmiş olup, başta orman botanigi alanı olmak üzere fiziki coğrafya ve paleontoloji alanında güncel çalışmalar yapılmaktadır (Akkemik ve ark. 2016, Yurtseven 2018, Akkemik 2019, Akkemik ve ark. 2019, Akkemik 2019a, Akkemik 2019b, Güngör ve ark. 2019, Polat ve ark. 2019).

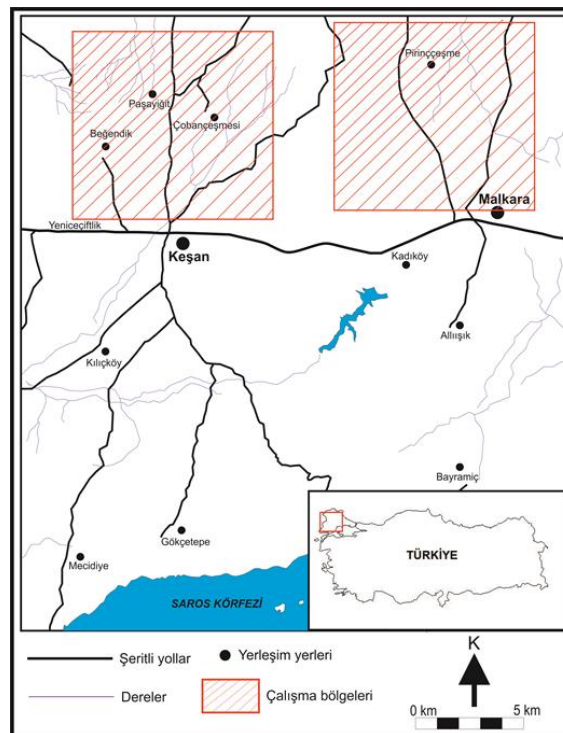
Trakya’nın güneybatısında, Keşan-Malkara bölgelerinde yapılan bu çalışmada, silisleşmiş ağaç örnekleri, genellikle kömür oluşumlarına yakın bölgede veya kömür yataklarının içinde konumlanmakta olup, jeolojik birimlerden Danişmen Formasyonu’na ait sedimanlar içerisinde gözlenmektedir. Trakya’da, günümüze kadar havzanın oluşumu ile ilgili pek çok jeolojik çalışmanın yanı sıra kömür yatakları, doğal gaz potansiyeli ve petrol açısından değerlendirilmiş çok sayıda çalışmanın varlığına karşın, silisleşmiş ağaçlarla ilgili çalışmaların daha kısıtlı sayılarda yapılmış olduğu görülmektedir. Bu çalışmalar sonucunda elde edilen verilerle, bölgenin paleobotanik ve paleocoğrafik durumu hakkında bazı yorumların yapıldığı tespit edilmiştir (Şanlı 1982, Aras ve ark. 2004, Akkemik ve ark. 2005, Akkemik ve ark. 2013, Akkemik ve ark. 2019a, Akkemik ve ark. 2019b). Çalışmaya konu olan Malkara (Tekirdağ) -Keşan (Edirne) bölgesi jeolojisi içerisinde, silisleşmiş ağaç türlerinin yeri, tespiti ve botanik açısından tanımlanması, jeolojik olarak ve mineralojik-petrografik olarak incelenmesi, içerdikleri silisin çeşitliliğinin saptanması gibi çalışmaların gerçekleştirilmesi amaçlanmıştır. Ayrıca, elde edilen sonuçlarla bölgenin jeodinamik evrimini tanımlamada farklı bir yaklaşım sağlanması ve paleobotanik yorumların yapılabilmesi hedeflenmiştir.

## **Bölgesel Jeoloji**

Çalışma alanı olan Malkara-Keşan'ı da (Şekil 1) içine alan Trakya bölgesi, Pontid Tektonik Birliği'nin batısında, kuzeyde Istranca Zonu'nun kristalin kayaçlarından, güneyde ise Trakya Havzası'nın sedimanter kayaçlarından oluşmaktadır (Okay ve ark. 2001; Siyako 2006). Trakya Havzası'nın kuzeyini oluşturan ve yaklaşık KB-GD gidişli bir konuma sahip olan Istranca Masifi kayaçları, batıda Bulgaristan ve Yunanistan'a kadar uzanarak, Rodop-Pontid kuşağı olarak devam etmektedir. Istranca Masifi Prekambriyen yaşlı metagranitoidler ile Paleozoyik yaşlı metamorfik temel kayaçlardan oluşmakta ve Geç Karbonifer- Erken-Geç Permiyen yaşlı pek çok plütonik kütle tarafından kesilmektedir (Okay ve ark. 2001, Sunal ve ark. 2011, Yılmaz Şahin ve ark. 2014, Aysal ve ark. 2018). Bu birimler Triyas-Jura yaşlı metasedimanter örtü ile uyumsuz olarak örtülmektedir (Çağlayan ve ark. 1988, Okay ve ark. 2001, Natal'in ve ark. 2005a, Natal'in ve ark. 2005b, Sunal ve ark. 2006, Sunal ve ark. 2011, Şekil 2).

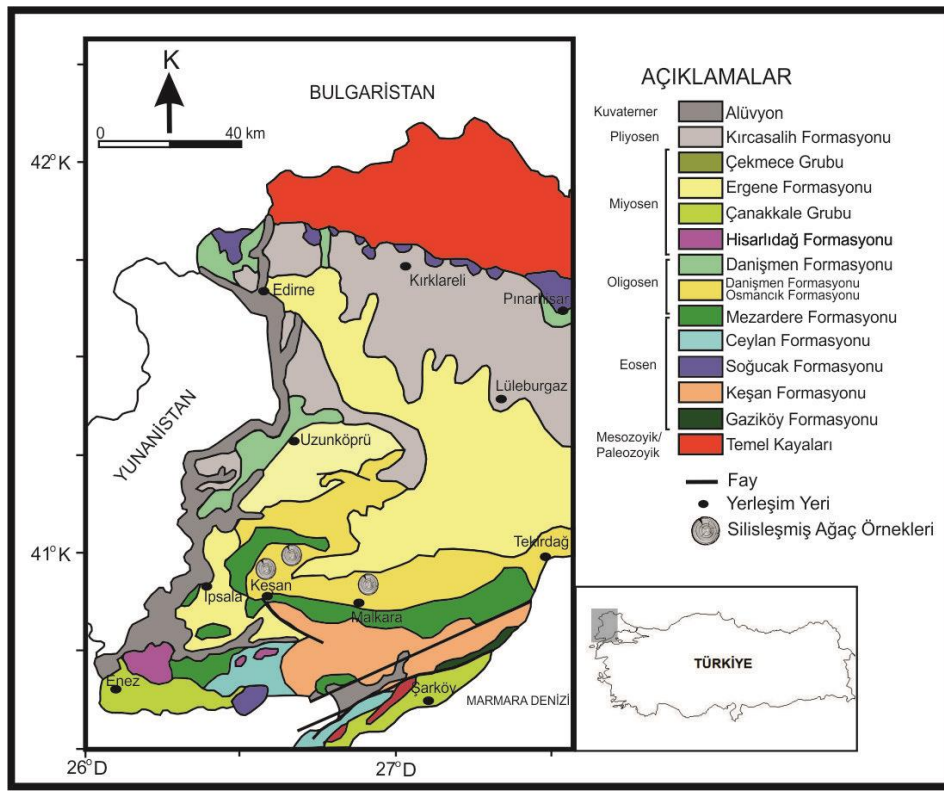
Bölgedeki bu kayaçlar Geç Jura-Erken Kretase'de yükselerek, Üst Kretase sedimanter kayaçları ve volkanik kayaçları tarafından uyumsuz olarak örtülmektedir (Okay ve ark. 2001, Sunal ve ark. 2011). Istranca Masifi'nin kuzey zonunda, Üst Kretase döneminde yay magmatitlerinin oluşumunun yanı sıra, aynı zamanda Karadeniz'in yay ardı havza olarak açılması da gerçekleşmiştir (Görür 1988, Okay ve ark. 2001). Istranca Masifi'nin güney sınırı boyunca yüzeylenen Trakya Havzası ise Istranca Dağları güney eteklerinden başlayarak, havzanın orta kesimlerinde 10.000 m kalınlığa kadar ulaşan sedimanter kayaçlardan oluşmaktadır (Şengül 2013).

Trakya Havzası, günümüze kadar hem jeolojik hem ekonomik hem de coğrafik bakımdan farklı amaçlarla çeşitli araştırmacılar tarafından çalışılmıştır. Havza, Tersiyer yaşlı sedimanter kayaçları ve bu kayaçlar içerisinde linyit kömür seviyelerini içermesi, petrol ve doğal gaz açısından potansiyel olabilecek kalın sedimanter istiflere sahip olması ve güncel olarak da farklı birimler içerisinde silisleşmiş ağaçları içermesi bakımından jeolojik araştırmalar için dikkat çekici bir alanı oluşturmaktadır (Erarslan ve ark. 2014, Perinçek ve ark. 2015, Güçtekin 2017, Akkemik ve ark. 2019a, Akkemik ve ark. 2019b, Okay ve ark. 2020).



**Şekil 1.** Çalışma alanının yer bulduru haritası.

Trakya Havzası birimleri, güney Marmara’da, Gökçeada, Bozcaada, Gelibolu Yarımadası ile Marmara Denizi güneyinde Biga Yarımadası’ndan Armutlu Yarımadası’na kadar devam etmektedir (Akartuna 1968, Siyako ve ark. 1989, Siyako 2006). Çalışmaya konu olan silisleşmiş ağaçların içinde bulunduğu Malkara-Keşan bölgesi birimleri, Trakya’nın güneybatısında yer almakta ve Gelibolu’ya kadar devam eden bir istif oluşturmaktadır. Bölgede sedimantasyonun muhtemelen Erken Eosen zamanında transgresif bir istifle başladığı ve Orta Oligosen-Erken Miyosen’de ise regresif karakterli olarak çökeldiği ileri sürülmektedir (Keskin 1974, Turgut ve ark. 1983, Saner 1985, Perinçek ve ark. 2015, Şekil 2). Orta Eosen–Erken Oligosen dönemi, türbititik çökellerle temsil edilirken, havzanın kuzeyinde şelf bölgelerinde karbonat çökeli de gerçekleşmiştir (Keskin 1974, Turgut ve ark. 1983). Bu esnada Trakya Havzası’nın, büyük bir nehrin oluşturduğu delta sisteminin etkisinde olduğu ve buna bağlı denizaltı yelpazeleri oluşturduğu ileri sürülmektedir (Turgut ve ark. 1983). Geç Eosen–Erken Oligosen döneminde aktif volkanizma ürünü olan dasitik ve andezitik küller havzadaki sedimanlar içerisinde volkanizma faaliyetlerinin varlığını göstermektedir.



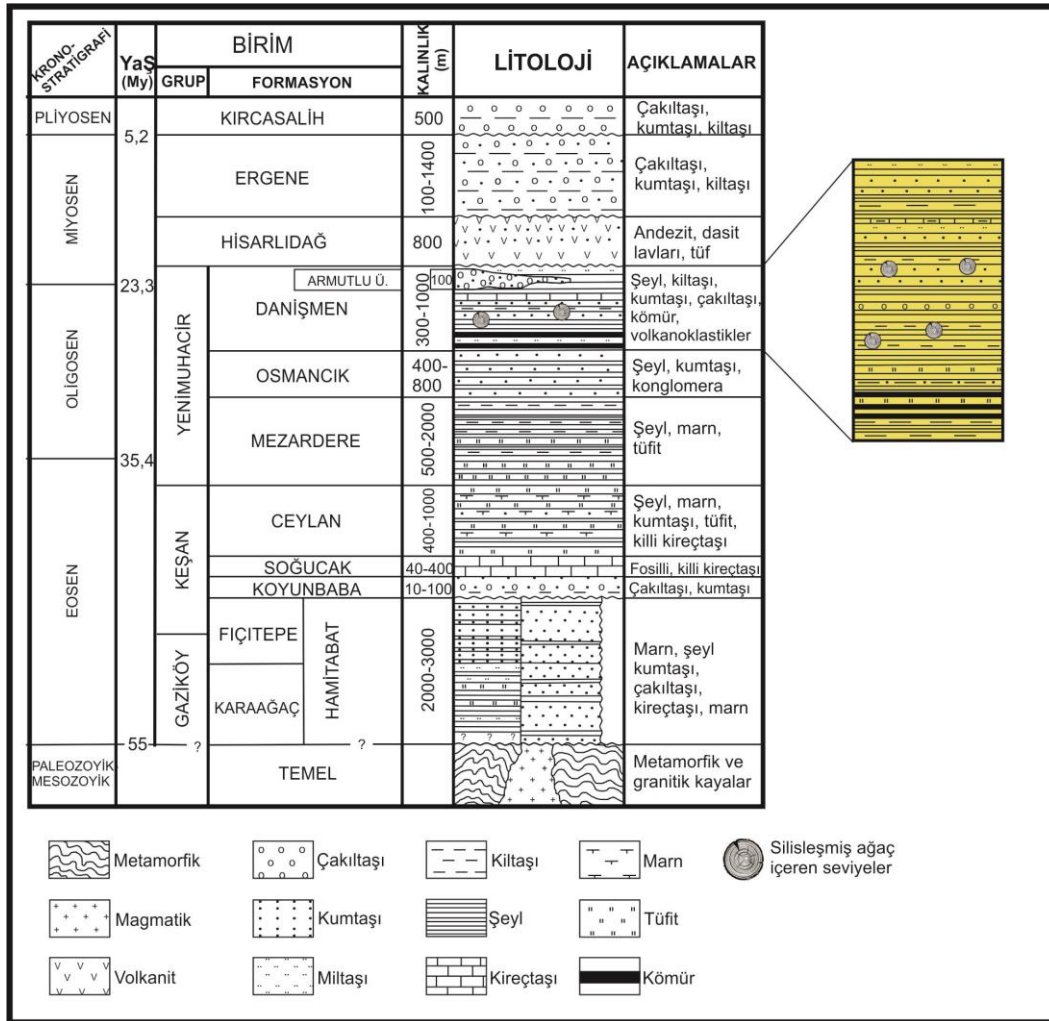
Şekil 2. Çalışma bölgesinin jeoloji haritası ve silisleşmiş ağaç lokasyonları (Siyako 2006’dan düzenlenerek alınmıştır).

Miyosen ve sonrası birimler, Eosen-Oligosen istifini örtmektedirler. Trakya Havzası’nın kenar kısımlarında çökelenin zaman açısından yer yer kesintiye uğradığı, ancak orta kesimlerinin kalın istiflerle temsil edildiği, sedimantasyonun devamlılık gösterdiği ve oldukça hızlı çöken bir havza olarak tanımlandığı görülmektedir (Burke ve Uğurtaş 1974, Perinçek 1987, Turgut ve ark. 1991, Perinçek ve ark. 2015). Tersiyer yaşlı birimler genellikle klastiklerden oluşmakta, yer yer karbonatlı kayaları da içermektedir (Perinçek ve ark. 2015). Havzanın güneyinde Malkara (Tekirdağ), Keşan ve Meriç (Edirne) bölgelerinde, kırıntılı sedimanter birimler içerisinde kömür (genellikle linyit) oluşumları bulunmakta ve bu kömür bantları havza ortasına doğru kalınlaşmaktadır (Şengüler 2013). Trakya Bölgesi’nde, kömür oluşumlarının yoğun gözlemlendiği alanlar genellikle Istranca Masifi eteklerinde yer almakta olup İstanbul-Silivri-Sinekli, Tekirdağ-Saray-Küçük Yoncalı, Tekirdağ-Saray-Safaalan ve Tekirdağ-Saray-Edirköy

sahaları olarak tespit edilmiştir (Perinçek ve ark. 2015, Erarslan ve Örgün 2017, Erarslan 2018). Bu lokasyonların güneybatısında ise kömür oluşumları Malkara, Keşan, Uzunköprü ve Meriç sahaları olarak tanımlanır (Erarslan 2018). Kuzeyde ve güneyde bir zon halinde yüzeylenen kömür (linyit) oluşumları, havzanın ortasına doğru tedrici olarak derinleşmekte ve havzanın orta kesimlerinde 10.000 m'ye ulaşan çökel istif içerisinde, 600 metreyi aşan derinliklerde kömürlere ve bunlarla birlikte de silişleşmiş ağaç oluşumlarına rastlanmaktadır (Şengüler 2013, Erarslan ve Örgün 2017, Erarslan 2018).

### Jeolojik Konum

Trakya Havzası'nın stratigrafisinde Erken Eosen-Orta Eosen yaşlı birimler, Malkara-Keşan bölgesinde, türbiditik özellikler gösteren Gaziköy Formasyonu ve Keşan Formasyonu'nun alt seviyeleri ile temsil edilir ve aynı zamanda kuzey Trakya'da Hamitabat Formasyonu olarak da isimlendirilir (Şekil 3). Bunlar üzerine Orta Eosen-Erken Miyosen yaşlı Koyunbaba ve Soğucak Formasyonları gelmektedir (Şekil 3). Havzanın giderek derinleşmesiyle, denizel ortamı temsil eden Ceylan Formasyonu çökelmiştir (Şekil 2 ve 3). Ceylan Formasyonu üzerine bu birimle geçişli olan ve delta ortamında çökelen Yenimuhacir Grubu gelir (Kasar ve ark. 1983, Siyako 2005, Siyako 2006). Geç Eosen-Erken Miyosen yaşlı Yenimuhacir Grubu alttan üste doğru Mezardere, Osmancık ve Danişmen Formasyonlarından oluşur (Perinçek 1991, Siyako 2006, Perinçek ve ark. 2015, Şekil 3).



Şekil 3. Trakya Havzası Tersiyer istifinin geliştirilmiş stratigrafik kesit (Siyako 2006'dan değiştirilerek alınmıştır).

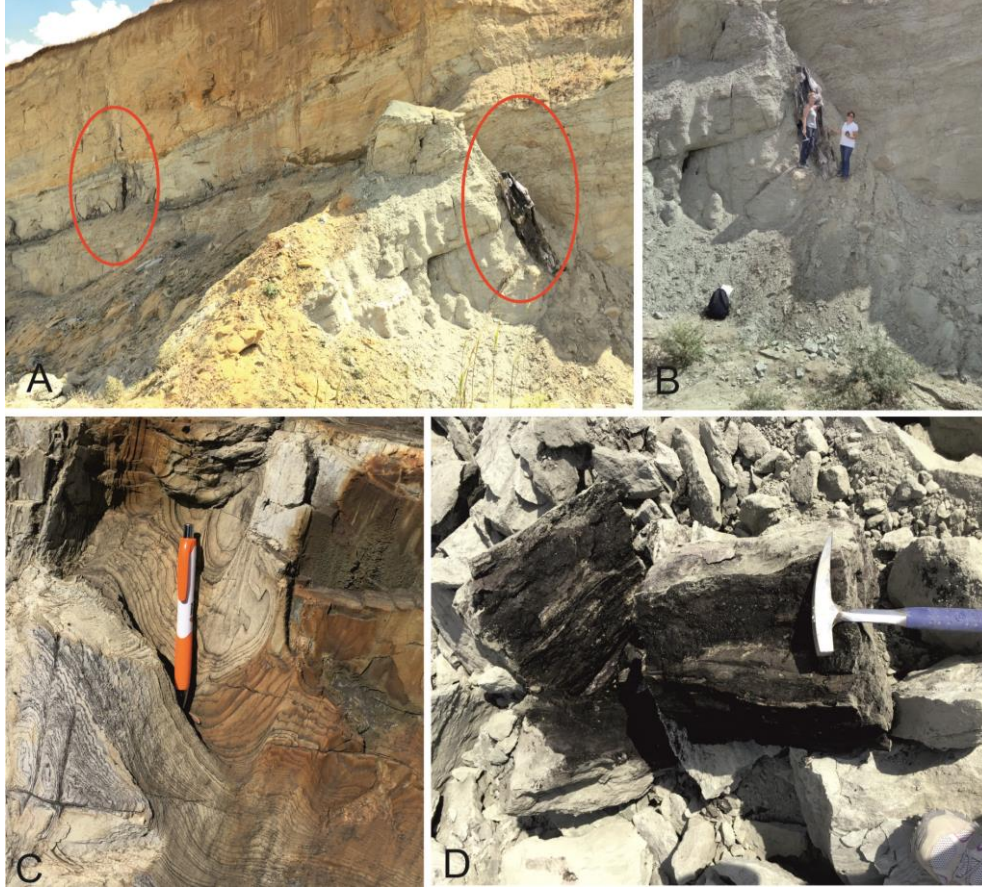
Yenimuhacir Grubu'nu oluşturan formasyonlar klasik bir delta sisteminde oluşmuş olup yanal ve üste doğru tane boyu irileşen şeyl, silttaşı, kumtaşı ve çakıltası kayalar türü özelliklerine sahiptir. Bunlar arasında zaman zaman tuf-tüfit ara seviyeleri ile kömür oluşumları gözlenmektedir. Yenimuhacir Grubunun yaşı Geç Eosen-Erken Miyosen olarak saptanmıştır (Gerhard ve Alişan 1987, Ediger ve Alişan 1989, Batı ve ark. 1993, Batı ve ark. 2002, Akkemik ve Sakıncı 2013, Perinçek ve ark. 2015). Erken Miyosen sonunda, bölge tümüyle dolarak ve yükselerek kara haline gelmiş ve grubun üzerine uyumsuzlukla, havzanın güneybatısında yer alan Erken-Orta Miyosen yaşlı Hisarlıdağ Volkanitleri gelmiştir. Hisarlıdağ Volkanitleri, asidik ve ortaç bileşimli, bol miktarda piroklastik kayaları oluşturan bir volkanizmanın ürünü olup (Saner 1985, Sümengen ve ark. 1987, Siyako 2006, Güçtekin 2017), yapılan K/Ar yaşlandırmasına göre  $35,0 \pm 09$  My yaşı bulunmuştur (Ercan 1992).

Danişmen ve Osmancık Formasyonları petrol, kömür (linyit) ve doğal gaz içermesi bakımından oldukça önemlidir (Ünal 1967, Kasar ve ark. 1983, Batı ve ark. 2002, Siyako 2006). Bunlardan Malkara-Keşan bölgesinde yüzeylenen bu birime ait kayalar içerisinde, silisleşmiş ağaçlar özellikle kömürlü seviyelere yakın yerlerde gözlenmesi bakımından ayrı bir öneme sahiptirler (Akkemik ve Sakıncı 2013). Silisleşmiş ağaçların boyutları değişken olup birkaç metre boyutuna ve yaklaşık metre çapına sahip olarak gözlenmektedirler. Tüm bu birimler üzerine Erken-Orta Miyosen yaşlı Hisarlıdağ Volkanitleri ile Miyosen yaşlı Çanakkale Grubu kayaları uyumsuz olarak gelmektedir. Çanakkale Grubu, Trakya Havzası'nın orta kesimlerinde Ergene Formasyonu, İstanbul civarında ise Çekmece Grubu adını alarak farklı üyelerden oluşmaktadır (Siyako 2006, Şekil 3). Trakya bölgesinin Pliyosen yaşlı en genç birimleri ise Kırcasalih Formasyonu'ndan oluşmaktadır. (Siyako 2006, Şekil 3).

Danişmen Formasyonu, altta bulunan Osmancık Formasyonu ile dereceli geçişli olup, daha genç birimler olan Kırcasalih Formasyonu tarafından da uyumsuz olarak örtülmektedir. Birime ilk kez Ünal (1967) tarafından, en iyi gözleendiği yer olan Kırklareli, Pınarhisar Danişmen Köyü'nün ismi verilmiştir (Kesgin ve Varol 2003). Birimin kalınlığının, en kalın yerinde 1600 m'ye, en ince yerinde 0-300 m kalınlığa kadar incelendiği gözlenmektedir. Ortalama 1000 metre civarında olan birimin üst kısımlarında aşınma yüzeylerinin bulunduğu ileri sürülmektedir (Siyako 2006, Perinçek ve ark. 2015). Özellikle linyit yataklarını bünyesinde barındırmasından dolayı, TPAO, MTA ve bazı araştırmacılar bakımından detay incelemelerde bulunulmuştur. Bu çalışmalara göre, formasyon kendi içinde Taşlısekan, Pınarhisar ve Armutburnu Üyeleri olmak üzere üç farklı alt birim halinde de tanımlanmıştır (Perinçek ve ark. 2015). Birimi oluşturan çamurtaşlarında, farklı kalınlıkta bol kömür bantları, istifin bütününde ise birimlerin arasında gözlenen bitki fosili kalıntıları yer almaktadır. Göl, bataklık, taşkın ovası ve akarsu çökellerinden oluşan Geç Oligosen-Erken Miyosen yaşlı birim, şeyl, kiltası, kumtaşı, çakıltası, seyrek olarak tuf ve yer yer kömür bantları içermektedir. Danişmen Formasyonu tabanda çok ince bir çakıltası seviyesiyle başlar. Volkanik malzemenin bol olduğu bu seviye üste doğru kumtaşı-silttaşı ve çamurtaşı ardalanmalı karasal bir istif sunar (Şekil 3). Kumtaşları ince taneli, grimsi yeşil renkli, gevşek dokulu ve karbonat çimentoludur. Formasyon, kuzeybatı Trakya'da balık fosilleri içermesi, güneybatı Trakya'da ise silisleşmiş ağaç içermesinden dolayı bölgenin paleocoğrafyasının yorumlanmasında ayrı bir önem taşımaktadır.

Keşan bölgesinde, Muzalı/Çobançeşme göleti yanında, Danişmen Formasyonu'nun, yaklaşık 300 m kalınlıkta devam eden yeşilimsi-grimsi-sarımsı boz renkli, yatay tabakalı ancak bazı yerlerde yaklaşık 10-15° eğimli tabakalara sahip olduğu gözlenmektedir. Formasyon içinde yer yer düşey atımlı normal fayların varlığı tespit edilmiş olup, kumtaşı-kiltası-marn ardalanması ve bunlar arasında çok seyrek olarak da olsa ince bantlı kömürlü seviyelerin kılavuz seviye olarak bulunduğu gözlenmiştir (Şekil 4A). Kömür tabakalarının genellikle içinde bulunduğu birim ile paralel olarak bulunduğu ve bu kömürlü seviyelere yakın konumlarda (yaklaşık birkaç m) ise silisleşmiş ağaç fosillerinin bulunduğu

saptanmıştır. Ağaçların kalın gövde kısımları bu kırıntılı kayaçların eğim yönüne genellikle dik olarak bulunurken, ağaçlara ait daha ince dal parçaları da eğim yönüne paralel, tabakalarla uyumlu bir şekilde gözlenmektedir (Şekil 4A,B). İyi korunmuş ve silisleşmiş ağaç gövdelerinde, odunsu doku yapı elemanları makro ölçekte görülebilmektedir (Şekil 4C). Tespit edilen ağaçlarda silisleşmenin yanı sıra kömür seviyelerine yakın olan örneklerde kısmen ve/veya tamamen kömürleşme de meydana gelmiştir (Şekil 4D).



**Şekil 4. A-B.** Keşan bölgesinde Danişmen Formasyonu kayaçlarının ve tabakalara dik konumda yer alan iki büyük ağaç gövdesinin görünümü. **C.** Silisleşmiş ağaç üzerinde iyi korunmuş odunsu doku elemanlarının makro görünümü **D.** Yer yer kısmen kömürleşmiş silisleşmiş ağaç gövdelerinin görünümü.

Silisleşmiş ağaçlar genellikle yerli mostralar halinde gözlenmekle birlikte, bazı kömür ocaklarında yerinden sökülmiş ve bir yerde biriktirilmiş kırık ağaç gövde ve dalları şeklinde döküntü olarak bulunmaktadır. Yerli mostra olarak bulunan ağaçlarda yaklaşık 80-290 cm uzun eksene ve yaklaşık 30-60 cm çapa sahip olanları görülebildiği gibi, 300 cm boyunda ve yaklaşık 150-200 cm çapında, dokusu çok iyi korumuş ağaç birikimlerine de rastlanmıştır.

Malkara bölgesinde de Keşan bölgesinde olduğu gibi Danişmen Formasyonu birimlerinin farklı bir seviyesi olarak ince taneli, grimsi-yeşilimsi renkli, ince tabakalı-laminalı kumtaşı-kiltaşı ardalınması ve bunlar içerisinde kömür ara tabakalarının yaygın olarak bulunduğu gözlenmektedir. Kömürlü seviyelerin bolluğundan dolayı aktif olarak işletilmekte olan kömür ocaklarının ve bu ocakların içerisinde çalışmaya konu olan silisleşmiş ağaçların bolluğundan bahsedilebilir. Hem kömürlü seviyelere yakın, hem de kumtaşlarının içerisinde gözlenen silisleşmiş ağaçlar havzanın derin kısımlarında yer almaktadır. Keşan bölgesinde olduğu gibi Malkara bölgesinde de silisleşmiş ağaçlar,

klastik kayaçların en ince tanelilerinden oluşan kumtaşı-kiltaşı ar dalanmasının olduğu seviyelerde, tabaka eğim yönlerine ve genellikle düşey atımlı fay zonlarında dik konumda yerleşmiş olarak bulunmaktadır (Şekil 5A). Bu ağaçların ölçülebilir boyutları yaklaşık 75-270 cm ve çapları da 55-130 cm' dir (Şekil 5B,C,D). Ayrıca, karasal ortamı temsil eden yaprak fosilleri de içermektedirler. Fakat kömür ocağından iş makineleri ile çıkarılıp taşınmaları esnasında zayıf zonlarından kırılan ve boyları kısalan örnekler de mevcuttur.



**Şekil 5.** A. Keşan bölgesinde silisleşmiş ağaç örneklerinin tespit edildiği kömür ocağının genel görünümü, B-C-D. Kömür ocağından çıkarılan ve ocağın kenarında toplanmış çeşitli boyutlarda silisleşmiş ağaç gövdeleri.

## **Materyal ve Metot**

### **Materyal**

Çalışma alanı olan Keşan ve Malkara bölgeleri için, daha önce yapılmış jeolojik haritalarda birimler tanımlanarak, hem jeolojik amaçlı hem de paleobotanik amaçlı örnekleme çalışması gerçekleştirilmiştir. Jeolojik çalışmalar için, silisleşmiş ağaç örnekleri ile beraber çevre kayaçlarından da örnekler alınmış, jeolojik ölçümler yapılmıştır. Özellikle ağaçların konumlandığı kırıntılı seviyeler içinden yerli mostralardan ve kömür ocaklarında kömür oluşumlarına yakın yerlerden, toplam altı farklı lokasyondan jeolog çekici yardımıyla çok sayıda silisleşmiş ağaç örneği ile kısmen kömürleşmiş ağaçlardan numuneler alınmıştır. Örnekler için kendi bölgelerini temsil edecek şekilde Keşan bölgesi için 'K', Malkara bölgesi için ise 'M' kodu verilmiştir. Sistematik olarak toplanan ağaç örnekleri makro olarak incelenerek bir ön elemenden geçirilmiş, özellikle odunsu doku elemanları korunmuş on iki (12) örnekten, enine, radyal ve teğet olmak üzere üç yönlü otuz altı (36) adet kesit alınmıştır.

### **Mineralojik-Petrografik İncelemeler**

İnce kesitler üzerinde, polarizan mikroskop altında mineralojik-petrografik incelemeler yapılmış, silisin farklı türleri tanımlanmıştır. Ayrıca bu mineralojik tayinleri desteklemek amaçlı, hem seçilen ağaç hem de kayaçlara ait kırma-öğütme sonucu elde edilen toz örneklerinden X-Işını Kırınım Yöntemi (XRD)



ile mineralojik tanımlamalar gerçekleştirilmiştir. Polarizan mikroskop tanımlamaları esnasında, Leica DM2500 mikroskop ile Leica DFC295 dijital kamera kullanılarak silisleşmiş ağaçların üç farklı yöndeki fotoğrafları çekilmiştir.

### ***Tür tanım analizleri***

Her bir örnekten alınan üç yönlü ince kesit üzerinde odun tanısında kullanılan gymnospermlerde traheid, öz ışını, odun parankiması özellikleri, angiospermlerde de trahe, öz ışını, odun parankiması ve lif özellikleri incelenmiştir. Terminolojik tanımlamalarda IAWA Committe (1989, 2004) ve fosil cins isimlerinin kontrolünde (Gregory ve ark. 2009) ilgili referanslar ile odun anatomisi anahtarları için de Inside Wood veri tabanı takip edilmiştir (InsideWood 2004-onwards).

### **Bulgular**

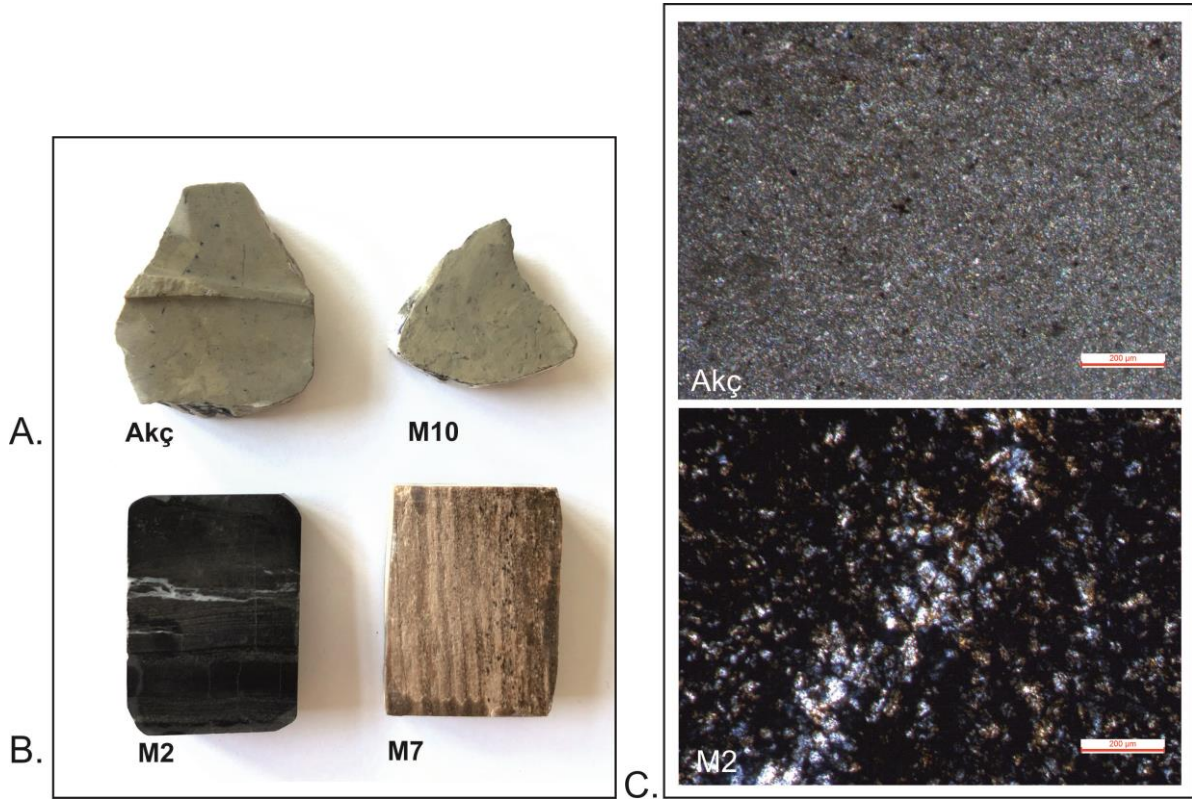
#### ***Mineralojik-Petrografik bulgular***

Keşan bölgesinde, silisleşmiş ağaçların içinde bulunduğu birim olan Danişmen Formasyonu'nu oluşturan bazı örnekler (kiltası, kömürleşmiş/kısmen silisleşmiş örnekler) ile silisleşmiş ağaç örneklerinin ince kesitleri petrografik amaçlı polarizan mikroskop altında incelenmiştir. Bunlardan kumtaşları, mineralojik özellikleri bakımından incelendiğinde, tane boylarının birbirine yakın, ince-orta taneli ve boylanmalı olduğu gözlenmiştir. Dokusal olgunluk bakımından tanelerin az köşeli-yuvarlak bileşenlerden oluşması bunların dokusal açıdan olgunlaşmış olduğunu gösterir. Mineralojik açıdan da kil miktarının az olması ve kuvars içeriğinin yüksek olması nedeniyle olgunlaşmış olarak tanımlanabilir. Kumtaşlarının bağlayıcısı karbonat çimento olup bu kayaların mineralojik bileşimi esas olarak kuvars, feldispat, mika ve epidot mineralleri ile kireçtaşı ve metamorfik (kuvarsit, şist) kayaç parçalarından oluşmaktadır. Kumtaşları Folk ve ark. (1970)'e göre Litik-arkoz, subarkoz türü kumtaşı sınıflamasına girmektedir. Muskovitlerin bol ve yönelimli olması, metamorfik kayaç parçaları içermesi kumtaşlarının metamorfik bir kaynaktan (Istranca Masifi) beslendiğini işaret etmektedir. Formasyonda, kumtaşlarının yanı sıra kiltası seviyeleri de ardalanmalı olarak bulunmaktadır. Açık gri-krem renkli, çok ince taneli, içerisinde opak mineraller gözlemlenen ve karbonat çimentoya sahip bu birimler içerisinde silisleşmiş ağaç fosilleri sıklıkla yer almaktadır. Kömür bantlarına yakın seviyelerden alınan örnekler ise koyu renkli ve ağaç dokusunun çok az korunabildiği, ince kesitlerinde koyu renkli kömürleşmenin ve beyaz renkli silis yerleşiminin gözlemlenebildiği örneklerdir (Şekil 6).

Silisleşmiş ağaç örneklerinin polarizan mikroskop altında incelenmesi sonucu, silisin farklı ürünleri olan opal, kalsedon ve kuvarsın her üçünün de kesitlerde tanımlanabildiği, ancak bunlar arasında kesin ayırımın çok iyi yapılamadığı, bunların XRD ve diğer çalışmalarla desteklenmesi gerekliliği ortaya çıkmıştır. Polarizan mikroskopta tek nikol altında içerdikleri kömürlü seviyeler ve ağaç dokularının farklılığından dolayı silisleşmiş ağaçlar birbirlerinden ayrılabilir. Gri ve tonlarında girişim rengine sahip olan silisleşmiş ağaçlar kristalin olanları ince taneliden iri taneliye kadar geniş bir aralık sunarlar. Bazıları orta iri taneli kuvars kristalleri oluşturacak şekilde çok iyi kristalizasyon gösterirken (Şekil 7,1A), bazıları mikrokristalin kalsedon oluşumları şeklindedir, bir kısmı da daha çok amorf silis oluşumları (Şekil 7, 2A-3A) şeklinde gözlenmektedir.

İnce taneli ağaç dokusunun kısmen veya tamamen korunduğu örneklerde, odunsu yapı elemanları tespit edilirken, meydana gelen silis oluşumları genellikle bu yapı elemanlarına uyumlu şekilde gelişmişlerdir. Enine kesitte görülen traheidlere iri kuvars kristalleri ve kalsedon dolarken (Şekil 7,1A), teğet yöndeki kesitte görülen traheidler içerinde ise kalsedon oluşumları gelişmiştir (Şekil 7,3A). Kalsedonlar tipik olarak lifsi kristaller halinde olması ve ışınal dizilimleriyle mikrokristalin ve kristalin kuvars ile ince taneli opalden ayrılmaktadır. Silisleşmiş ağaç örneklerinden alınan üç yönlü kesitlerin (enine, teğet, radyal) incelenmesi sonucu kuvars kristallerinin tüm yönlerde oluşabileceği gözlenmiş, kristallerinin

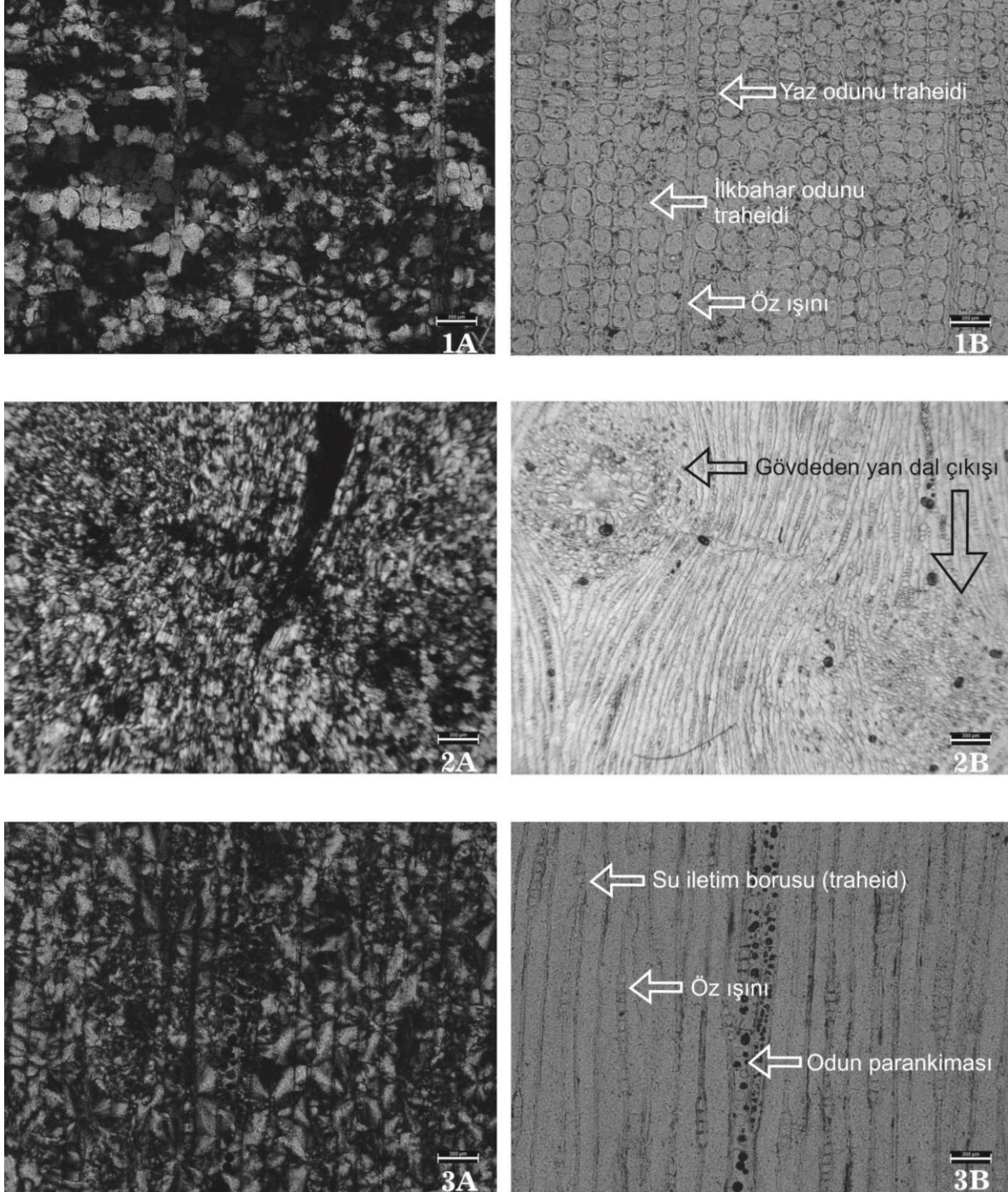
oluşumu için gerekli bir anatomik yön belirlenmemiştir. Fakat bazı enine kesitlerde, kuvars kristallerinin trahe ve/veya traheidlerin yuvarlağımsı boşluklarına yan yana yerleşmesi tanımlanmalarında kolaylık sağlamaktadır. Keşan bölgesi silisleşmiş ağaçlarında, silis kristalizasyonu birkaç evrede gerçekleşmiş olabilir. Silisin sulu sedimentler içerisinde diyajenezi esnasında sırasıyla opal-A, Opal-CT (kalsedon-tridimit) ve kuvars oluşumları şeklinde olabileceği bu konuda yapılan güncel çalışmalardan bilinmektedir (Musteo 2017, Viney ve ark. 2019). Fosilleşme gösteren ağaçlarda, silisifikasyonun bu sıra ile olması yaygın bir kanıdır ancak yapılan pek çok araştırmada ağaçların fosilleşmesi mineralizasyonun çok yönlü evrelerini içerebilir. Oluşan bu iri kuvarslar birincil oluşan mineral olarak düşünülmektedir. Bu özelliği hem polarizan mikroskop altında bol miktarda kuvars kristallerinin görülmesiyle hem de XRD değerlendirmelerinde kuvarsların piklerinin çok iyi gözlenmesiyle desteklenmektedir (Şekil 7-9).



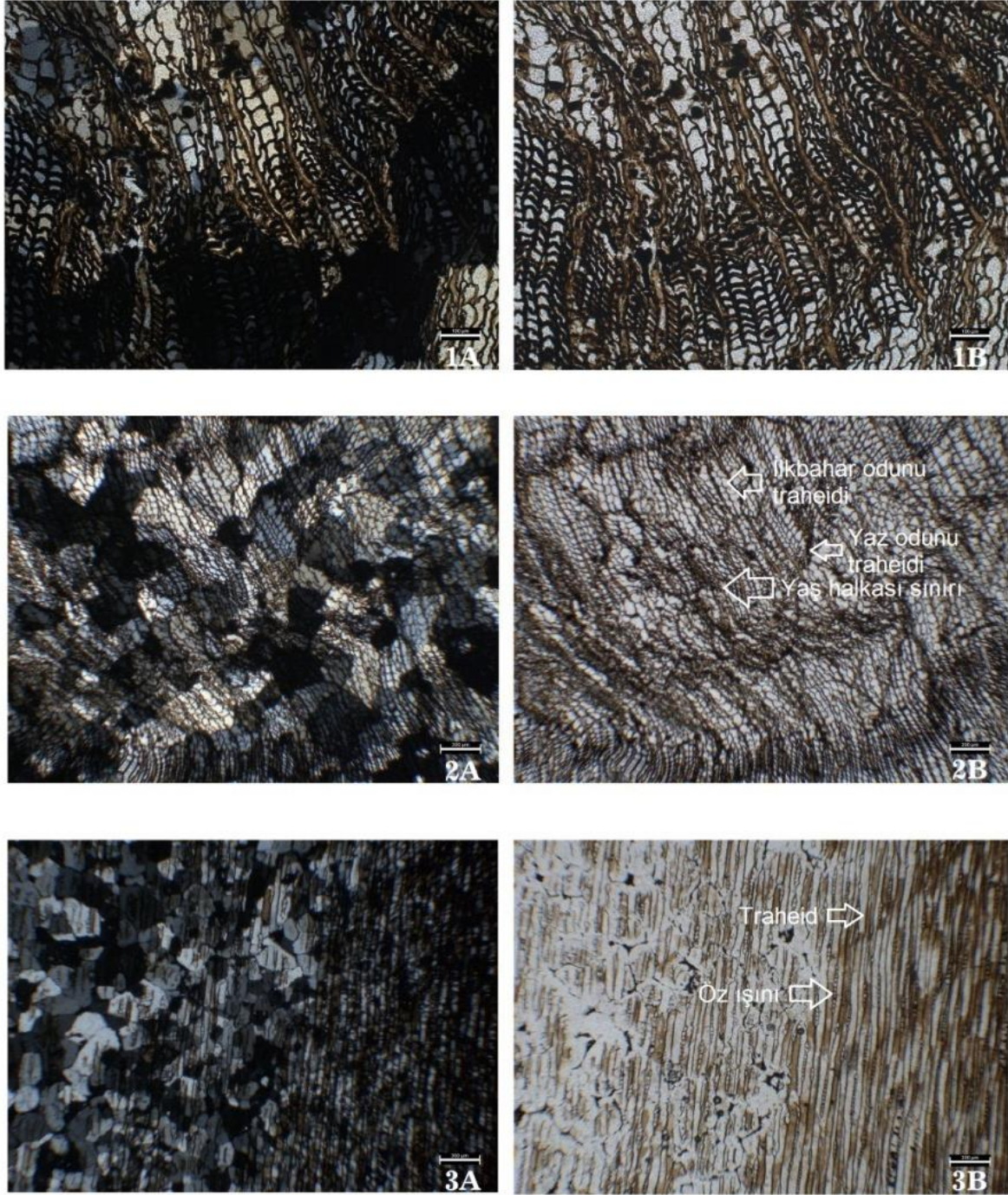
**Şekil 6. A.** Keşan bölgesi (Akç) ile Malkara bölgesinden (M10), Danişmen Formasyonu'na ait kiltaşlarından alınan örneklerin el örneğinde görüntüsü. **B.** Malkara bölgesine ait kısmen kömürleşmiş/kısmen silisleşmiş bir örnek (M2) ile tamamen silisleşmiş örneğin (M7) karşılaştırılması. **C.** Her iki örneğe ait ince kesitlerin polarizan mikroskop altındaki çift nikol görüntüleri.

Malkara bölgesinin silisleşmiş ağaçları, Keşan bölgesindeki silisleşmiş ağaçlarına benzerlik göstermekle beraber, bu ağaçlarda silisleşmenin yanı sıra kömürleşme de yoğun olarak gözlenmektedir (Şekil 8,1A). Silisleşmiş ağaçların polarizan mikroskop altında incelenmesiyle kristalizasyon düzeyleri tanımlanmış olup, ince-orta tane boyuna sahip kuvars kristalizasyonu üç yöndeki kesitlerde de iyi gözlenmektedir (Şekil 8, 1A,2A,3A). Bunun yanı sıra ağaçların yapı unsurlarından olan traheidleri ile öz ışınları tek ve çift nikol altında iyi gözlenmektedir. Tek nikol son derece hücrel bir yapı sunan silisleşmiş ağaçlarda hücre çeperleri kahverengi-siyah renkli olarak gözlenirken hücrelerin içi renksizdir. Hücre çeperleri organik malzemenin kömürleşmiş türevleri olarak değerlendirilirken, iç kısımların ise silisle dolmuş olarak tanımlanmaktadır (Şekil 8, 1B,2B,3B). Bazı kesitlerde kuvarslar, kristalizasyon özelliklerini yoğun bir şekilde göstererek iri kristaller halinde gözlenirken, tek mineralli bir kayaca (örn. kuvarsit gibi) benzemekle beraber, tek nikol altında zayıf da olsa ağaç dokusunun

korunmuş olması bu örneklerin silisleşmiş ağaç olduğunu göstermektedir. İri taneli kuvars içeren silisleşmiş ağaçların bazı zonlarında ve farklı kesim yönlerinde daha ince taneli kesimlere de rastlanmaktadır. Mikrokristalin veya amorf olarak gözlenen kalsedon ve opal oluşumları bölge örneklerinde nispeten daha sınırlıdır.

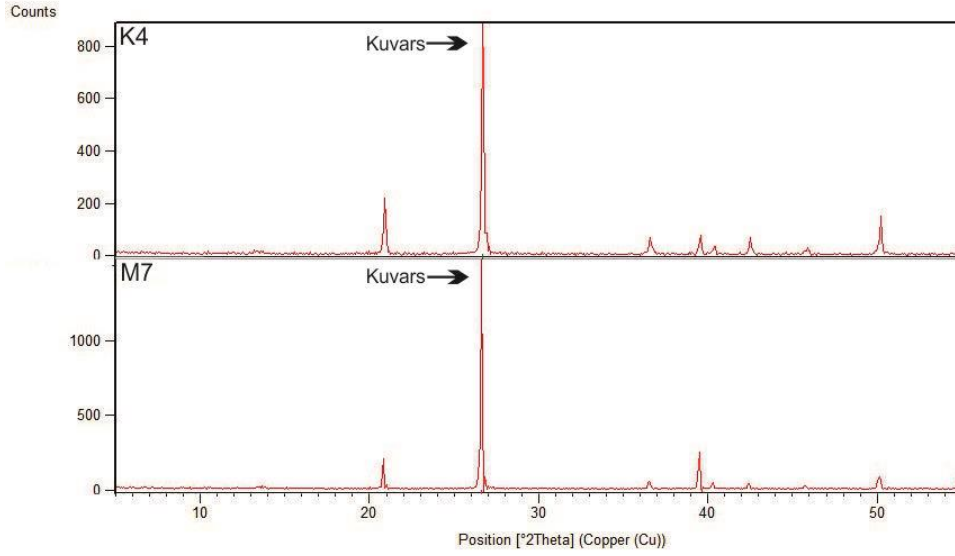


**Şekil 7.** Keşan bölgesinden alınan K5(a) örneğine ait; **1A.** Enine kesitinde orta-iri boyutlu kuvarsların görünümü (çift nikol), **1B.** Enine kesitinde yer alan odunsu yapı elemanlarının tek nikol görünümü, **2A.** Teğet yönde alınan kesitte çok küçük boyutlu kuvarslar ile mikrokristalin kuvarsların çift nikoldeki görünümü, **2B.** Teğet kesitte yan dal çıkışlarının ince kesitteki görünümü **3A.** Traheidlere uygun formda yerleşen kalsedonların çift nikoldeki görünümü (teğet yön), **3B.** Odunsu yapı elemanlarının tek nikoldeki görünümü.



**Şekil 8.** Malkara bölgesinden alınan M7 örneğinde; **1A.** Enine kesitte odunsu dokuya uyumlu olarak gelişmiş kuvars kristalleri ile kömürleşmenin görünümü, **1B.** Enine kesit, tek nikolde odunsu yapı elemanlarının görünümü, **2A.** Enine kesitte görülen orta-iri boyutlu kuvars kristalleri, **2B.** İlk bahar ve yaz odunu traheidleri ile yaş halkasının tek nikol görünümü, **3A.** Traheidlerin içine yerleşmiş orta-iri boyutlu kuvarslar ile mikrokristalin kuvarsların radyal kesitteki görünümü (çift nikol), **3B.** Tek nikol altında odunsu dokunun görünümü.

Keşan ve Malkara bölgesindeki silisleşmiş ağaç örneklerine ait ince kesitlerde, farklı silis yapılarının olduğu örnekler seçilmiş, bu örnekler kırma-öğütme metodu ile toz haline getirilerek XRD analizleri gerçekleştirilmiştir. Elde edilen benzer difraktoğram patternlerinde kuvars kristaline ait 100'lük pik olan  $3.33\text{\AA}$ ,  $2\theta$  değeri 26.65 civarında tespit edilmiş, çoğunlukla kuvars oluşumlarının güçlü ve zayıf pikleri gözlenmiştir (Şekil 9).



Şekil 9. K4 (Keşan) ve M7 (Malkara) örneklerine ait XRD sonuçları ve kuvarsın farklı derecedeki pik değerlerinin görünümü.

### Sistemik paleobotanik bulguları

Familiya Cupressaceae GRAY 1821

Cins *Glyptostroboxylon* CONWENTZ 1884

*Glyptostroboxylon rudolphii* DOLEZYCH&VAN DER BURGH 2004

Şekil 10

**Kod:** K4, K5, K10, K14, K15, K16

**Lokalite:** Keşan

**Yaş:** Geç Oligosen

**Formasyon:** Danişmen

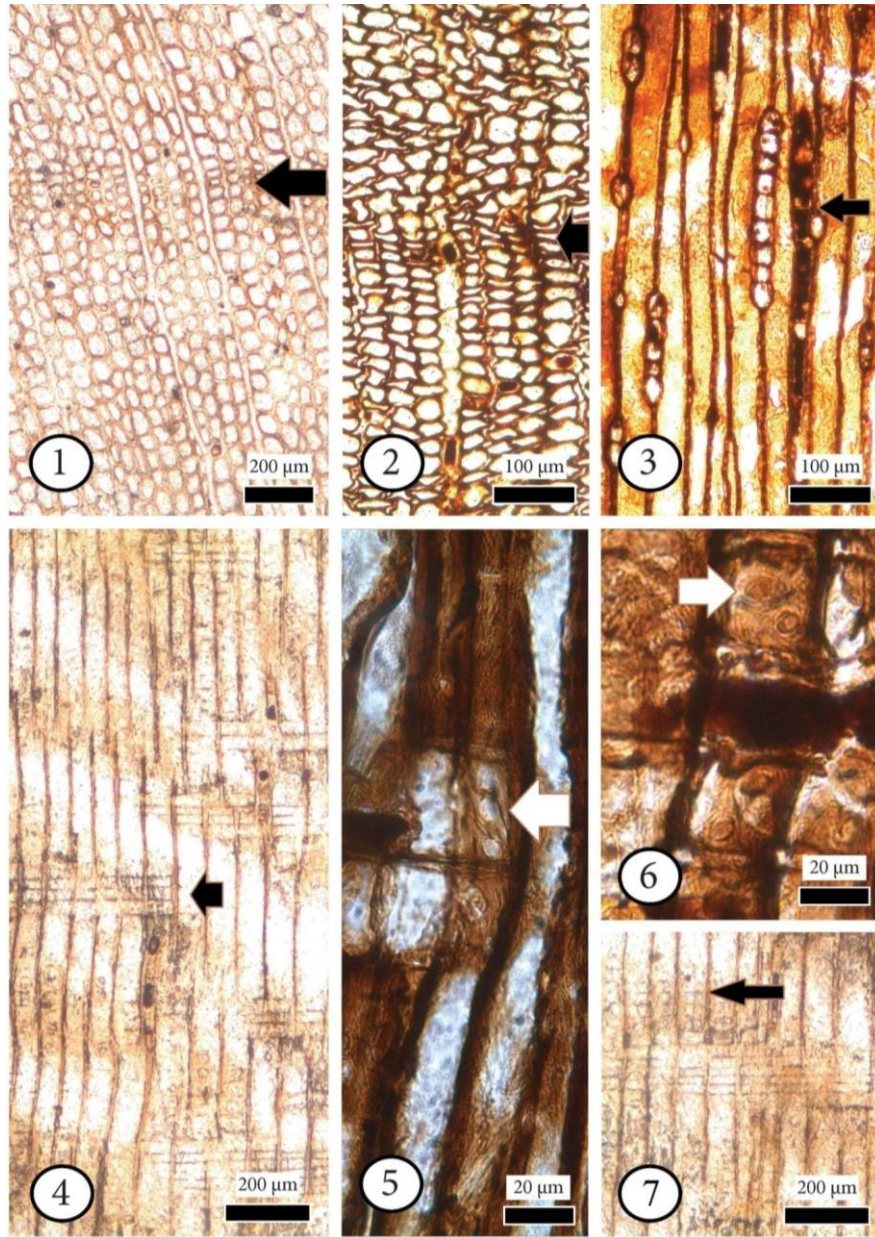
**Mikroskobik Tanımlama:** Mikroskobik tanımlama altı örnek üzerinde yapılmıştır. Enine kesitte yıllık halka sınırı, 2-4 sıra halinde dizilmiş ve yassılaştırmış yaz odunu traheidlerinden dolayı belirgindir. İlkbahar odunundan yaz odununa geçiş belirgin değildir. Traheidler genellikle poligonal, dörtgen şeklinde ve bazıları daireseldir (Şekil 10:1-2). Odun parankima hücreleri odun içerisinde özellikle yaz odununa doğru dağınık vaziyette dizilmiştir. Teğet kesitte öz ışınları tek sıralı, yüksekliği 3-8 (1-15) hücredir (Şekil 10:3). Odun parankima hücrelerinin enine çeperleri düz ve incedir. Radyal kesitte öz ışınları homoselüler (Şekil 10:4), karşılaşma yeri geçitleri glyptostroboid ve taxodiod tiptedir (Şekil 10:5-6). Cupressoid tipte geçitler de görülebilmektedir. Traheidlerin radyal çeperlerindeki kenarlı geçitler 1-2 sıralı ve krasül oluşumu belirgindir (Şekil 10:7).

**Tartışma:** Yıllık halka sınırı belirgin, yaz odunu çok ince, reçinesiz ve karşılaşma yeri geçitlerinin genellikle glyptostroboid tip olmasından dolayı bu tür fosil odunlar *Glyptostroboxylon* olarak tanımlanmaktadır (Dolezych ve van der Burgh 2004). Çalışılan örneklerde de bu özelliklerin tamamı olduğu için örnekler *Glyptostroboxylon* olarak tanımlanmıştır. Fosil cinsin dünya üzerinde tanımlanmış üç fosil türü bulunmaktadır (Dolezych ve van der Burgh, 2004, Teodoridis ve Sakala 2008, Dolezych 2011, Akkemik ve ark. 2017, Akkemik ve Acarca Bayam 2019). Bunlardan *G. tenerum* (KRAUS) CONWENTZ 1884 türünde traheidlerin radyal yüzeyindeki geçitler tek sıralı ve krasül oluşumu bulunmamaktadır. Çalışılan örnekte ise bu geçitler 1-2 sıralı ve krasül oluşumu yaygındır. Bu özellikler

*G. rudolphii* türünde bulunduğundan (Dolezych ve van der Burgh 2004) *Glyptostroboxylon* örnekleri *G. rudolphii* olarak tanımlanmıştır.

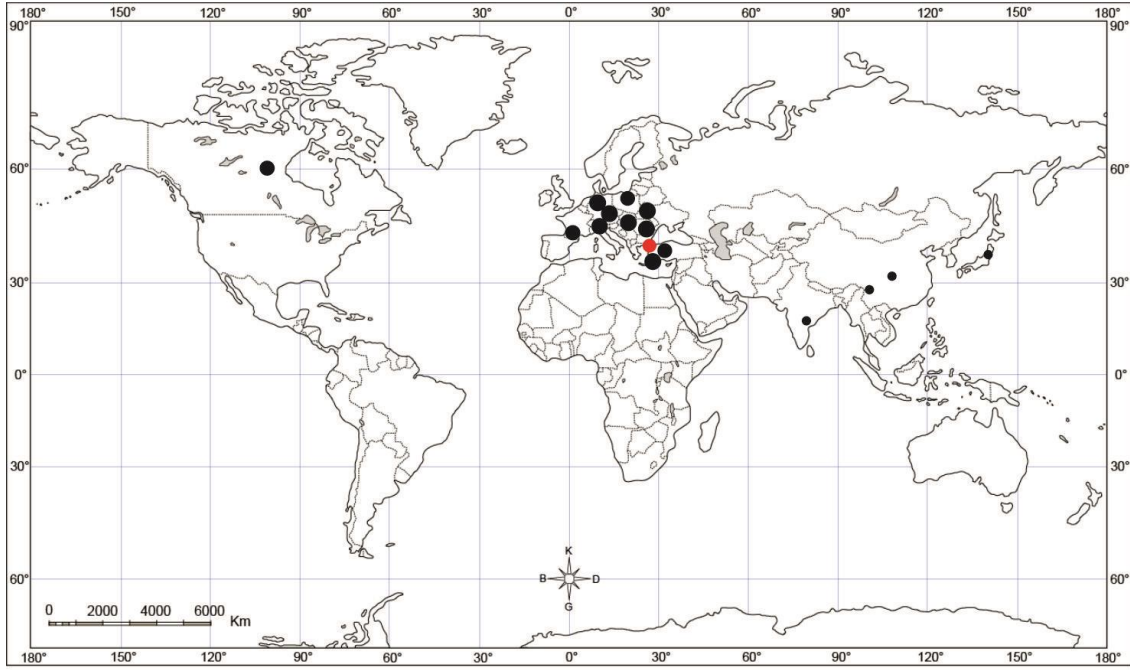
Bu türün, Türkiye'nin özellikle Miyosen dönemi boyunca yaygın olarak bulunduğu tespit edilmiştir (Akkemik ve ark. 2017, Acarca Bayam ve ark. 2018, Akkemik ve Acarca Bayam 2019, Akkemik ve ark. 2019a). Bu yeni çalışma ile Anadolu'nun Miyosen döneminde yaygın olarak bulunan fosil türün Trakya'nın Oligosen ve Erken Miyosen döneminde de olduğu belirlenmiştir (Şekil 11).

Günümüzde bu cins, Çin ve Vietnam'daki bataklık koşullarda tek türle (*Glyptostrobus pensilis* K. Koch.) temsil edilmektedir (Eckenwalder 2009, Farjon 2010). Yaşam koşulları su kenarı ve bataklık alanlar olduğundan bu cinse "Swamp cypress-Bataklık servisi" denmektedir. Cinsin, Oligosen ve Miyosen boyunca Türkiye'deki varlığı bu dönemlerde bataklık koşulların da olduğuna işaret etmektedir.



**Şekil 10.** *Glyptostroboxylon rudolphii* türünün odun kesitleri. 1-2) Enine kesit, yıllık halka sınırı 3-4 sıralı yassılaştırmış hücrelerden dolayı kısmen belirgin (ok), 3) Teğet kesitte öz ışınları ve odun parankiması (ok) 4) Radyal kesitte homojen öz ışınları (ok), 5) Glyptostroboid tipte karşılaşma yeri geçidi (ok), 6) Taxodioid tipte karşılaşma yeri geçidi (ok), 7) Crassulae oluşumu (ok).

Denk ve ark. (2017) ve Güner ve ark. (2017)'ye göre *Glyptostrobus europaeus* makrofosilleri VU3 olarak tanımlanan vejetasyon birimi içerisinde yer almaktadır. VU3 bataklık orman olarak tanımlanmakta olup makrofosillerle birlikte aynı cinsin taşlaşmış odunları da tanımlanmış ve bataklık orman yapısının varlığı Trakya'da da teyit edilmiştir.



Şekil 11. *Glyptostroboxylon rudolphii*'nin Oligo-Miyosen döneminde dünyadaki dağılımı (siyah noktalar) ve çalışmadaki varlığı ile belirlenen yeni lokasyonu (kırmızı nokta) (Akkemik ve Acarca Bayam 2019' dan alınmıştır).

Familiya Cupressaceae GRAY 1821

Cins *Taxodioxylon* HARTIG 1848

***Taxodioxylon gypsaceum* (GÖPPERT) KRÄUSEL 1949**

(Syn: *Sequoioxylon gypsaceum* (GÖPPERT) GREGUSS 1967)

Şekil 12

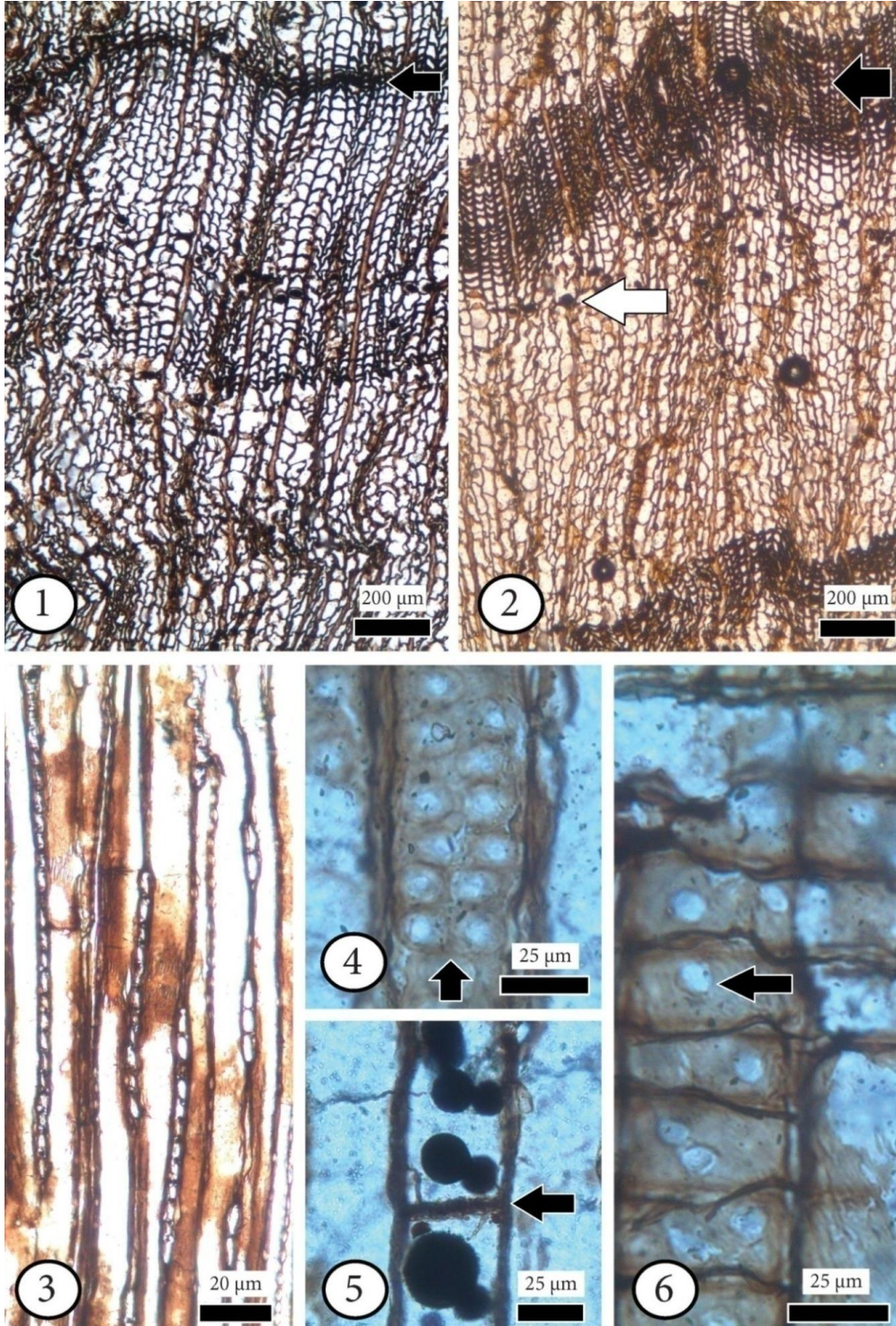
**Kod:** K12, M7

**Lokalite:** Keşan, Malkara

**Yaş:** Geç Oligosen

**Formasyon:** Danişmen

**Mikroskobik Tanımlama:** Mikroskobik tanımlama iki örnek üzerinde yapılmıştır. Enine kesitte yıllık halka sınırı belirgin, ilkbahar odunundan yaz odununa geçiş yavaş ya da ani, yaz odunundaki yassılaştırmış traheidlerin sırası 2-21'dir (Şekil 12:1-2). Odunda reçine kanalı yoktur. Traheidler genellikle köşeli ya da hafif yuvarlak, odun parankima hücreleri ilkbahardan yaz geçiş kısımlarında dağınık dizilmiş ve yıllık halka sınırında bulunur (Şekil 12:1-2). Teğet kesitte öz ışınları tek sıralı, zaman zaman kısmi olarak 2 sıralı, yüksekliği 1-26 hücre, çoğunlukla 4-15 hücredir (Şekil 12:3). Odun parankima hücrelerinin enine kesitleri düz ya da belli belirsiz dişlidir (Şekil 12:5). Traheidlerin radyal yüzeyindeki kenarlı geçitler 1-2 sıralı, 2 sıralı olanlar genellikle karşılıklı, seyrek olarak almalıdır ve krasül oluşumu belirgindir (Şekil 12:4). Odun parankima hücrelerinin enine çeperleri genellikle düz ve içlerinde genellikle koyu renkli madde birikimleri belirgindir (Şekil 12:5). Radyal kesitte öz ışınları homoselülerdir. Karşılaşma yeri geçitleri 2-4 adet ve taxodioid tiptedir. Öz ışınlarının yatay çeperlerinde geçit yoktur (Şekil 12:6).



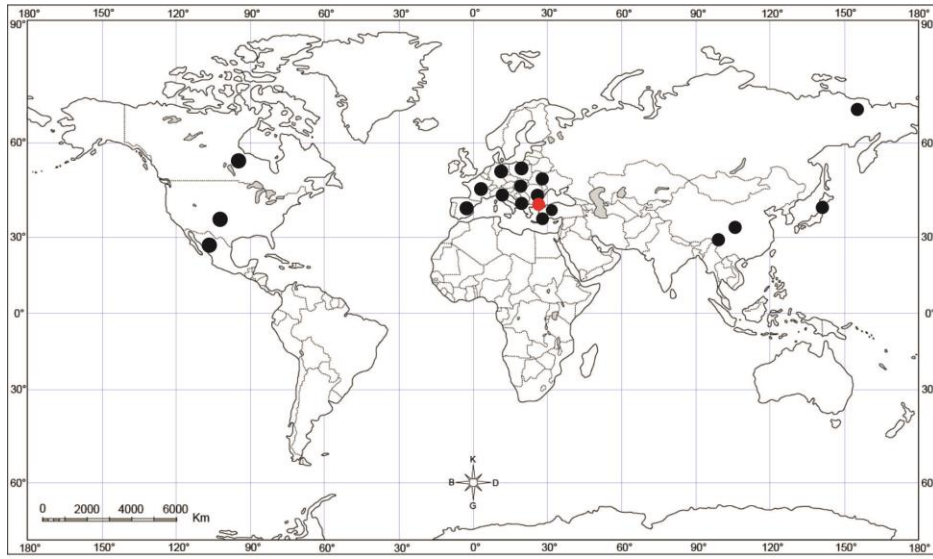
**Şekil 12.** *Taxodioxylon gypsaceum* türünün odun kesitleri. 1-2) Enine kesit. 2-21 sıralı yassılaştırmış yaz odunu traheidleri (siyah ok) ve odun parankima hücreleri (beyaz ok) , 3) Tek sıralı öz ışınlarına sahip teğet kesit, 4) İki sıralı kenarlı geçitler ve krasül oluşumu (ok), 5) Enine çeperleri düz olan odun parankima hücreleri (ok), 6) Taxodiod tipte karşılaşma yeri geçitleri (ok) ve homojen özışınları.

**Tartışma:** *Taxodioxylon* odunu Türkiye'nin Oligosen ve Miyosen dönemindeki en yaygın ağaçlarından biri olup Anadolu (Akkemik ve ark. 2009, Acarca Bayam ve ark., 2018, Akkemik ve Acarca Bayam 2019, Polat ve ark. 2019) ve Trakya'da (Özgüven 1971, Kayacık ve ark. 1995, Akkemik ve ark. 2005, Sakinç ve ark. 2007, Akkemik ve Sakinç 2013) ve Gökçeada'da (Güngör ve ark. 2019) büyük ormanlar oluşturmuştur. Hatta bu ağaçlar Pliyosen dönemine kadar yaşamlarını sürdürmüşlerdir (Akkemik 2019).



Çalışılan bu örnekte de odun tanım özellikleri, Akkemik ve ark. (2005, 2009, 2019a), Akkemik ve Sakınç (2013) tarafından verilen tanımlarla hemen hemen aynı olduğundan örnek *Taxodioxyton gypsaceum* olarak tanımlanmıştır. Tanımlanan bu tür, aynı zamanda Avrupa, Asya ve Amerika kıtalarında da tespit edildiğinden oldukça yaygın bir türdür (Şekil 13).

Denk ve ark. (2017) ve Güner ve ark. (2017)'ye göre *Sequoia abietina* makrofosilleri VU5, VU6 ve VU7 olarak tanımlanan vejetasyon birimleri içerisinde yer almaktadır. VU5 iyi drenajlı alçak kesim ormanlarını, VU6 iyi drenajlı yüksek kesim ormanlarını ve VU7 de iyi drenajlı alçak ya da yüksek kesim konifer ormanlarını simgelemektedir. Bu türün *Glyptostroboxylon* ile birlikte bulunması, bunların da bataklık ormanların çevresindeki alçak kesim ormanları halinde yaşamlarını sürdürmüş oldukları sonucuna varılabilir.



**Şekil 13.** *Taxodioxyton gypsaceum* türünün Oligo-Miyosen dönemi dünyadaki dağılımı (siyah noktalar) ve çalışmadaki lokasyonu (kırmızı nokta) (Akkemik ve Acarca Bayam 2019'dan alınmıştır).

Familiya Ginkgoaceae  
Cins *Ginkgoxylon* CHUDAJB. 1962  
**cf. *Ginkgoxylon lesboense* SÜSS 2003**  
Şekil 14

**Kod:** K17

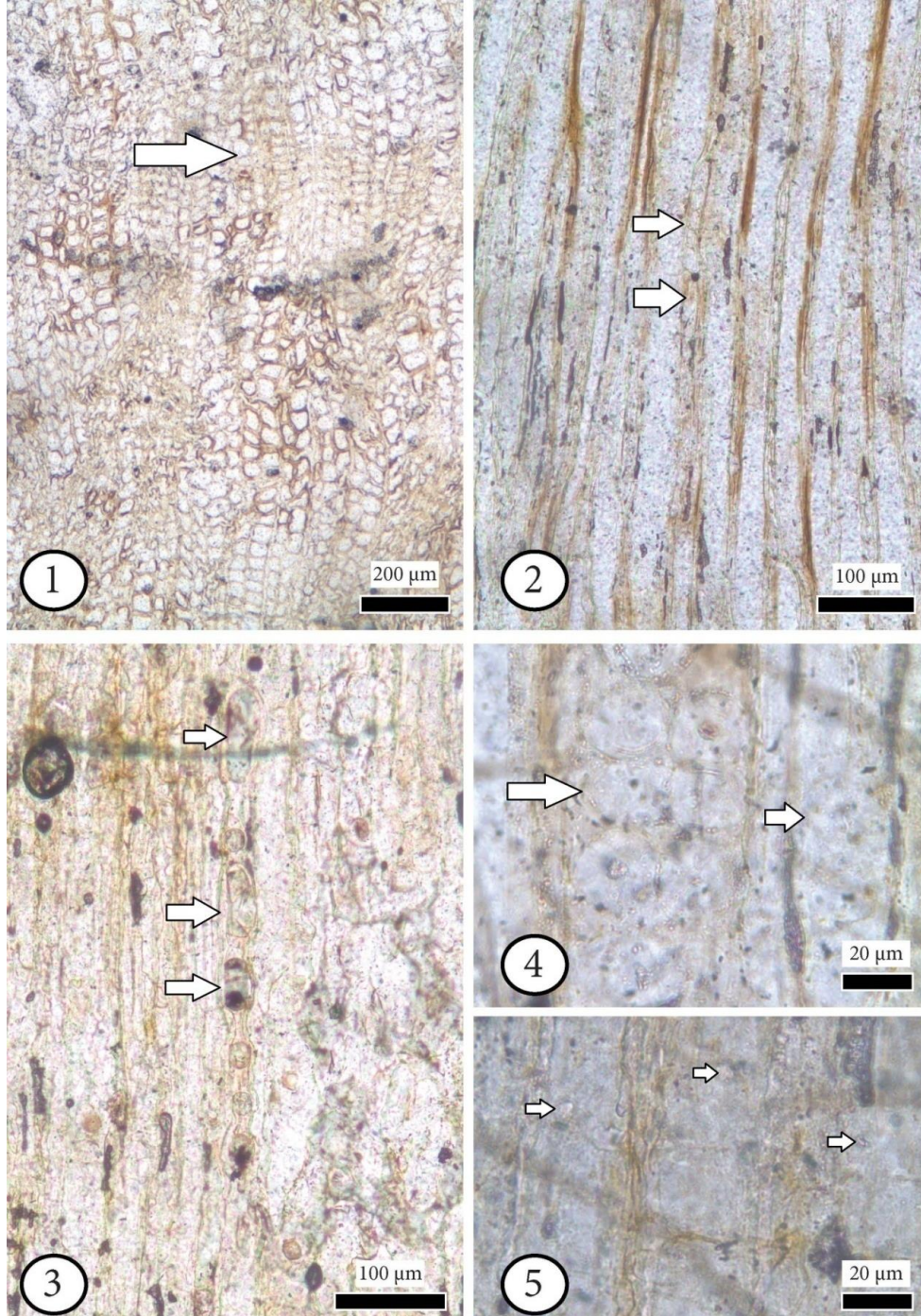
**Lokalite:** Keşan

**Yaş:** Geç Oligosen

**Formasyon:** Danişmen

**Mikroskobik Tanımlama:** Mikroskobik tanımlama K17 nolu örneğin enine, teğet ve radyal kesitleri üzerinde yapılmıştır. Enine kesitte yıllık halka sınırı az belirgin ya da belirsiz. Traheidlerin ilkbahar odunundan yaz odununa geçişi belirgin değildir. Traheidler genellikle düzensiz çaplarda, kare ya da dikdörtgen, zaman zaman çokgen şeklindedir. Odunda reçine kanalı yoktur (Şekil 14:1). Odun parankima hücreleri yıllık halka içerisinde dağınık konumdadır. Teğet kesitte fosilleşmenin kötü olmasından dolayı özellikler genellikle zor görülmektedir. Öz ışınları oldukça seyrek, tek sıralı ve düzensiz çaplardadır (Şekil 14:2, oklar). Odun parankima hücreleri boğumlu bir yapı göstermekte olup orta kısımları genişlemiştir. Bu genişleme çok fazla değildir ve yatay çeperleri genellikle düzdür (Şekil 14:3). Bu özellik *Ginkgo* odunları için karakteristiktir. Traheidlerinde kısmen spiral kalınlaşmalar

görülebilmektedir. Radyal kesitte traheidlerin çeperleri üzerindeki geçitler tek ya da iki sıralıdır (Şekil 14:4). Traheidlerin uçları birbirinin üzerine hafif eğiktir. Geçitler dairesel, sık ya da seyrek. Sık olanlar daha çok araucarioid tiptedir. Seyrek ve yuvarlak olan ise abietinoid tipte kenarlı geçitlerdir. Özışınları homojen ve karşılaşma yeri geçitleri 1-2 sıralı cupressoid tiptedir (Şekil 14:5). Özellikle boyuna parankima hücrelerinde genişlemeler belirgin olup *Ginkgo* cinsine ait bu özellik sıklıkla görülmüştür (Şekil 14:3). Aynı zamanda idioblast benzeri hücreler de odun içerisinde bulunmaktadır.



**Şekil 14.** cf. *Ginkgoxylon lesboense* Süss, 2003 odunu kesitleri. 1) Enine kesit, traheidler düzensiz çaplarda ve yıllık halka sınırı hafif belirgin (ok), 2) Teğet kesitte değişik boylarda öz ışınları (oklar), 3) Şişkinleşmiş odun parankima hücreleri (oklar), 4) Traheidlerin radyal çeperlerinde tek ve iki sıralı geçitler (oklar), 5) Cupressoid tipte olan karşılaşma yeri geçitleri (oklar). Fosilleşmenin kötü olmasından dolayı 4 ve 5 nolu fotoğraflarda özellikler zorlukla görülmektedir.

**Tartışma:** Yıllık halka sınırının hafif belirgin olması, traheidlerin düzensiz çaplarda bulunması, reçine kanalının yokluğu, özışınlarının homojen, boyuna parankima hücrelerinin varlığı ve yer yer genişlemiş olması ve büyük cupressoid tipte karşılaşma yeri geçitlerinin varlığı çalışılan örneğin *Ginkgoxylon* cinsine ait olduğunu göstermektedir. Jiang ve ark. (2016) yeni bir fosil tür tanımlayarak (*Ginkgoxylon liaoningense* Jiang ve ark. 2016) *Ginkgo* cinsinin odunlarının evolüsyonunu tartışmışlardır. Tanımlanan fosil türlerin jeolojik çağlara ve bazı özelliklerine göre düzenlenen listesi ile Dünya üzerindeki dağılımları aşağıda verilmiştir (Tablo 1; Şekil 15).

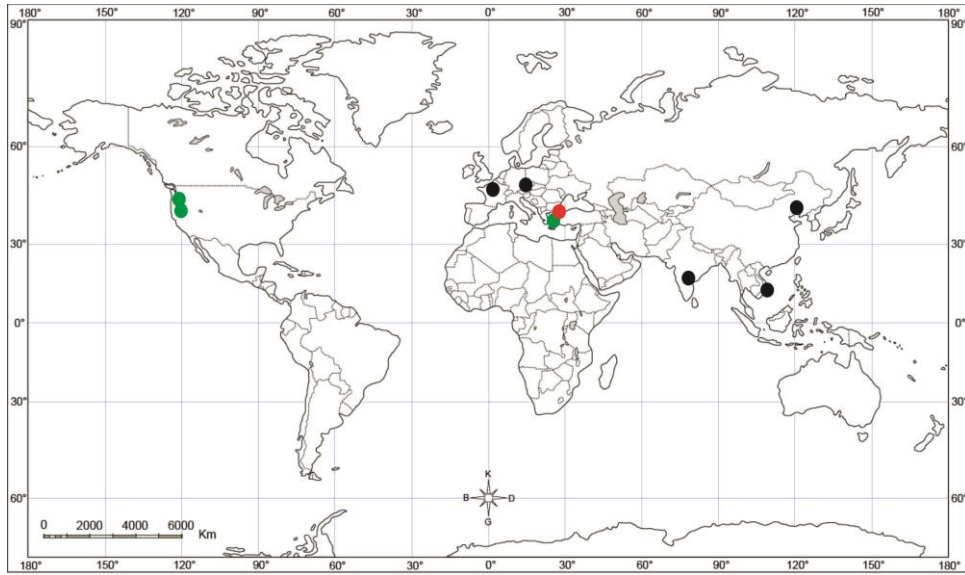
**Tablo1.** Dünya üzerinde tanımlanmış *Ginkgoxylon* türlerinin bazı özellikleri.

Fosil tür adı	Dönemi	Yeri	Özellikleri
<i>Ginkgoxylon quangnamens</i> Serra	Erken Jura	Vietnam	Traheidlerin radyal çeperlerindeki kenarlı geçitler daha çok araukarioid tipte ve abietinoid tiptedir.
<i>Ginkgoxylon dixitii</i> Biradar et Mahabale	Erken Jura	AndhraPradesh, Hindistan	Traheidlerin radyal çeperlerindeki kenarlı geçitler daha çok araukarioid tipte ve abietinoid tiptedir.
<i>Ginkgoxylon liaoningense</i> Jiang ve ark. 2016	Orta-Geç Jura	Liaoning, Çin	Traheidlerin radyal çeperlerindeki kenarlı geçitler hem araukarioid (yaklaşık olarak %40-50) hem de abietinoid tiptedir (Jiang ve ark. 2016).
<i>Ginkgoxylon chinense</i> Zhang, Zhenget Shang	Erken Kretase	Liaoning, Çin	Traheidlerin radyal çeperlerindeki kenarlı geçitler kısmen araukarioid daha çok abietinoid tiptedir (Jiang ve ark. 2016).
<i>Ginkgoxylon gruettii</i> Ponset Vozenin-Serra	Geç Kretase	Nordd' Angers, Fransa Prag, Çek Cumhuriyeti	Traheidlerin radyal çeperlerindeki geçitler çoğunlukla abietinoid tipte ve büyük çoğunlukla tek sıralıdır (Kvaček ve ark. 2005).
<i>Ginkgoxylon bonesi</i> Scott	Eocene	Oregon, Kuzey Amerika	Traheidlerin radyal çeperindeki kenarlı geçitler kısmen araukarioid daha çok abietinoid tiptedir. Boyuna paransimlerin şişkinliği oldukça belirgin ve fazladır (Scott ve ark. 1962).
<i>Ginkgoxylon</i> sp. (Bu çalışma)*	Geç Oligosen- Erken Miyosen	Trakya Bölgesi- Türkiye	Traheidlerin radyal çeperlerindeki kenarlı geçitler kısmen araukarioid daha çok abietinoid tiptedir. Boyuna parankima hücrelerinin şişkinliği fazla değildir.
<i>Ginkgo beckii</i> Scott	Miyosen	Washington, Kuzey Amerika	Traheidlerin radyal çeperlerindeki kenarlı geçitler 1-3 sıralı, kısmen araukarioid daha çok abietinoid tiptedir. Modern <i>Ginkgo biloba</i> odununa benzemektedir (Scott ve ark. 1962).
<i>Ginkgoxylon lesboense</i> Süss, 2003	Erken Miyosen	Midilli Adası (Yunanistan)	Radyal kesitte traheidlerin uçları birbirinin üzerine eğilmiştir. Kenarlı geçitler 1-2 sıralı ve abietinoid tiptedir. Krasül oluşumu vardır. Karşılaşma yeri geçitleri 1-2 adet cupressoid tiptedir ve boyuna parankima hücreleri azdır (Süss 2003).
<i>Ginkgoxylon diversicellulatum</i> Süss, 2003	Erken Miyosen	Midilli Adası (Yunanistan)	Traheidlerinde hücre genişlikleri belirgin değişiklik göstermektedir. Radyal kesitte traheidlerin uçları birbirinin üzerine eğilmiş ve bindirilmiş görünümündedir. Kenarlı geçitler 1-2 sıralı ve abietinoid tiptedir. Krasül oluşumu vardır. Karşılaşma yeri geçitleri 1-2 adet cupressoid tiptedir ve boyuna parankima hücreleri azdır, kristal oluşumu yoğundur (Süss 2003).

\* Malkara –Keşan (Trakya) bölgesinin silisleşmiş ağaçları.

Çalışma kapsamında tanımlanan *Ginkgoxylon* örneği, tabloda verilen özellikler ile karşılaştırılmış ve diğer örneklerden bazı farklılıklar gösterdiği saptanmıştır. Bunlar, yıllık halka sınırının fazla belirgin

olmaması, traheidlerin uçlarının hafif eğik olması, odun parankima hücrelerinin seyrek ve teğet kesitte şişkinliklerinin hafif olması, karşılaşma yeri geçitlerinin 1-2 cupressoid tipte olması ve radyal kesitte kenarlı geçitlerin 1-2 sıralı ve çoğunlukla abietinoid tipte bulunmasıdır. Bu örneğin tür olarak en fazla *Ginkgoxylon lesboense* Süss türüne benzemektedir. Buna karşın kenarlı geçitlerin bazı yerlerde sık olmasıyla da kısmen farklılık sunmaktadır. Bu nedenle tür tanımı cf. *Ginkgoxylon lesboense* Süss olarak yapılmış olup, ülkemizdeki ilk fosil *Ginkgoxylon* türü olarak saptanmıştır. Şanlı (1982) tarafından iç Trakya'da Silivri-Gelevri-Yolçatı Köyü Kösdemir mevkiindeki linyitlerde bu türün polenini tespit etmiş ve yaşının Pliyosen olduğunu belirtmiştir. Şanlı (1982), günümüzde yaşayan *Ginkgo biloba* L. türünün nemli ve sıcak bir iklimin ve toprağında su açığı bulunmayan yerlerin ağacı olduğunu belirtmiştir. O nedenle bu cinsin yaşam koşulları da diğer türlerin yaşam koşullarıyla uyumludur. Royer ve ark. (2003) bu türün nemli koşullarda zaman zaman angiospermlerle yer değiştirdiğini, örneğin, yavaş büyüme hızı, geç üreme olgunluğu, uzatılmış üreme döngüsü, büyük ve karmaşık tohumlar, büyük ve yavaş gelişen embriyolara sahip olması nedeniyle diğer türlere üstünlük sağladığını belirtmiştir.



**Şekil 15.** Tanımlanmış *Ginkgoxylon* türlerinin dünya üzerinde dağılımları; Mesozoyik dönemlerinde tespit edilmiş (siyah nokta), Senozoyik dönemlerinde tespit edilmiş tür (yeşil nokta) lokasyonları ile çalışmada tanımlanmış *Ginkgoxylon* örneği (kırmızı nokta) lokasyonu (Tablol'den düzenlenmiştir).

Familiya Fagaceae DUMORTIER 1829

Cins *Quercoxylon* (KRAUSEL 1939) GROS 1988

cf. *Quercoxylon caucasicum* (GAJGORONSKI) MÄDEL-ANGELIEWA 1968

Şekil 16

**Kod:** K11, K13

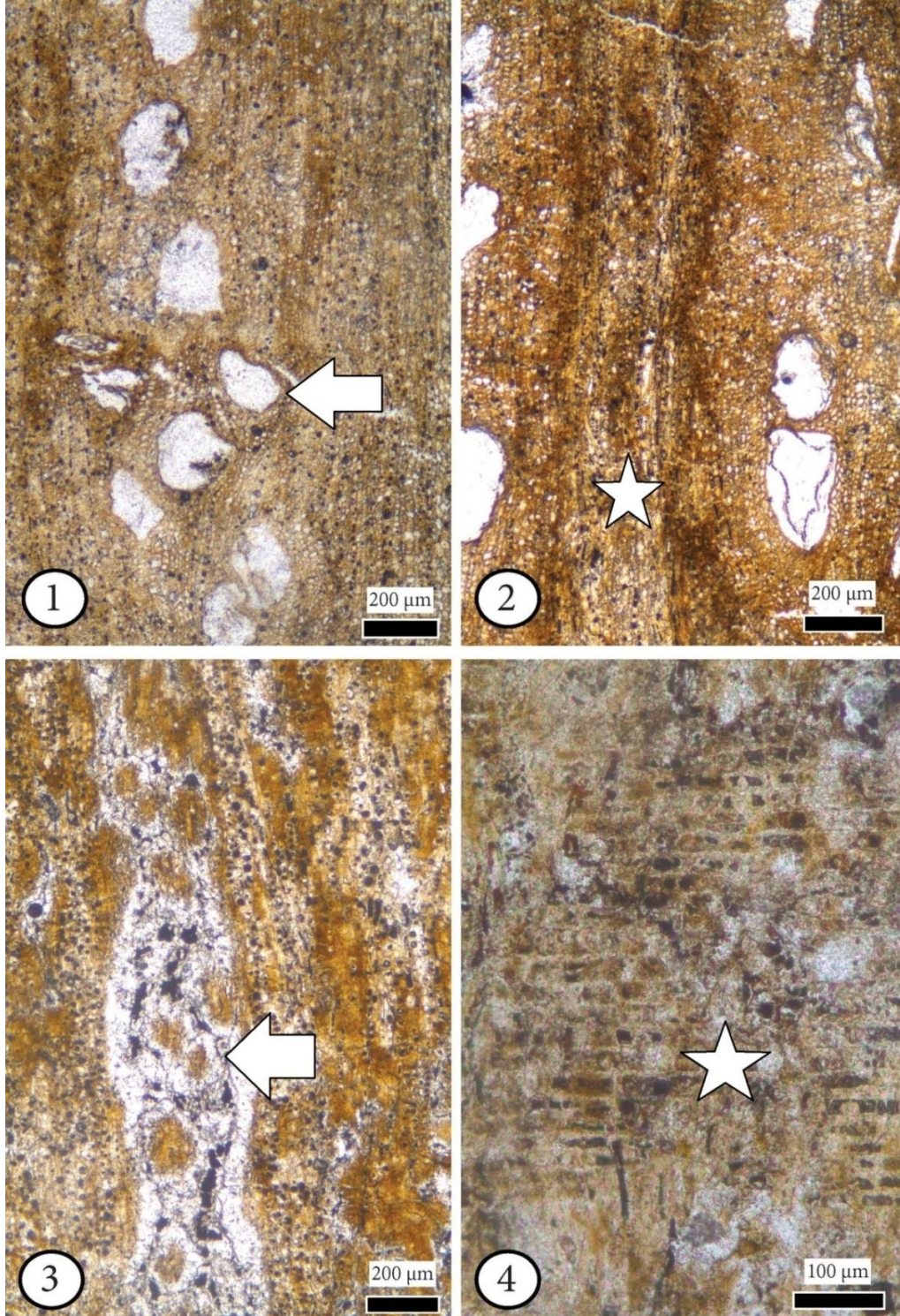
**Lokalite:** Keşan

**Yaş:** Geç Oligosen

**Formasyon:** Danişmen

**Mikroskobik Tanımlama:** Mikroskobik tanımlama enine, teğet ve radyal kesitler üzerinde çalışarak aşağıdaki şekilde yapılmıştır. Enine kesitte yıllık halka sınırı belirgin değil, yıllık halka sınırında parankima bantları mevcuttur. Boyuna parankima bant şeklinde, yıllık halka içerisinde tek sıralı kesik çizgiler halindedir. Traheleri dağınık tipte, radyal yönde dizilmişlerdir. İlkbahar yaz odunu ve bir yıldan diğerine geçişleri belirgin değildir. Öz ışınları dar ya da çok geniş, geniş olanlar genellikle agregat

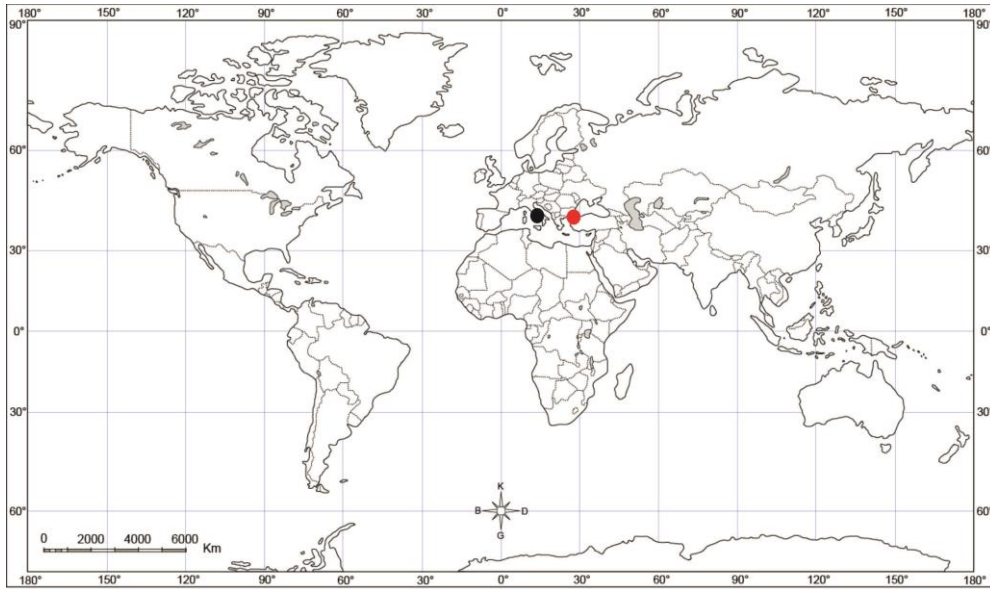
özışını görünümündedir (Şekil16:1-2). Teğet kesitte öz ışınları 1-2 ya da çok sıralıdır (10 sıralıdan daha fazla). Çok sıralı öz ışınlarının birçoğu agregat özışını özelliğindedir (Şekil 16:3). Radyal kesitte özışınları homoselüler tipte olup genellikle yatık hücreler halindedir (Şekil 16:4). Bazı özışınları ise kareye yakın şekillerde olup homoselüler yapıdadır. Perforasyon tablası basit tiptedir.



**Şekil 16.** cf. *Quercoxylon caucasicum* (Gajvoronskij) Mädel-Angeliowa 1968 türünün ince kesitleri. **1-2)** Trahelerin tek tek ve radyal yönde dizildiği (ok) enine kesitler ve geniş özışını (yıldız), **3)** Teğet kesit, özışını kötü fosilleşmeden dolayı tahrip olmuş (ok), **4)** Radyal kesitte homoselüler özışını (yıldız). Fosilleşmenin iyi olmaması nedeniyle 3 nolu fotoğraftaki özellikler çok belirgin şekilde görülememektedir.

**Tartışma:** Özişinlarının çok geniş olması ve dağınık vaziyette dizilmiş olan trahelerin radyal yönde devamlılık göstermesi nedeniyle tanısı yapılan örneğin herdem yeşil meşe grubuna ait bir gövde parçası olduğunu göstermektedir. Akkemik ve ark. (2019b) tarafından hazırlanan tanı anahtarına göre bu örnekler *Quercoxylon caucasicum* türüne gitmektedir. Yıllık halka sınırlarının belirgin olmayışı, boyuna parankima hücrelerinin bant şeklinde ve özellikle bir-iki sıralı kısa teğet çizgiler oluşturması ve agregat özişinlarının bulunması nedeniyle bu türün özelliklerini taşımaktadır. O nedenle en yakın bu türe benzediği için tanım cf. *Quercoxylon caucasicum* olarak yapılmıştır. İlk defa İtalya’da tanımlanan bu tür, Türkiye’de de bölgede yapılan bu çalışma ile ilk defa tanımlanmıştır (Şekil 17).

Herdem yeşil meşe, Türkiye’nin özellikle Erken Miyosen döneminin en yaygın ağaç cinslerinden biridir. Acarca Bayam ve ark. (2018), Akkemik ve ark. (2016, 2018, 2019b) tarafından Anadolu’dan herdem yeşil meşelerin odun örneklerinin tanısı yapılmıştır. Güner ve ark. (2017), Denk ve ark. (2017, 2019) tarafından da yaprak izlerine dayanarak değişik herdem meşe türlerinin tanısını yapmışlar ve Erken Miyosen ikliminin daha nemli ve sıcak, subtropikal bir iklim tipine sahip olduğunu belirtmişlerdir.



**Şekil 17.** Siyah nokta; *Quercoxylon caucasicum* türünün ilk defa tanımlandığı lokasyon (İtalya), kırmızı nokta; bu çalışma ile Türkiye’de ilk defa tanımlanan lokasyonu (Trakya).

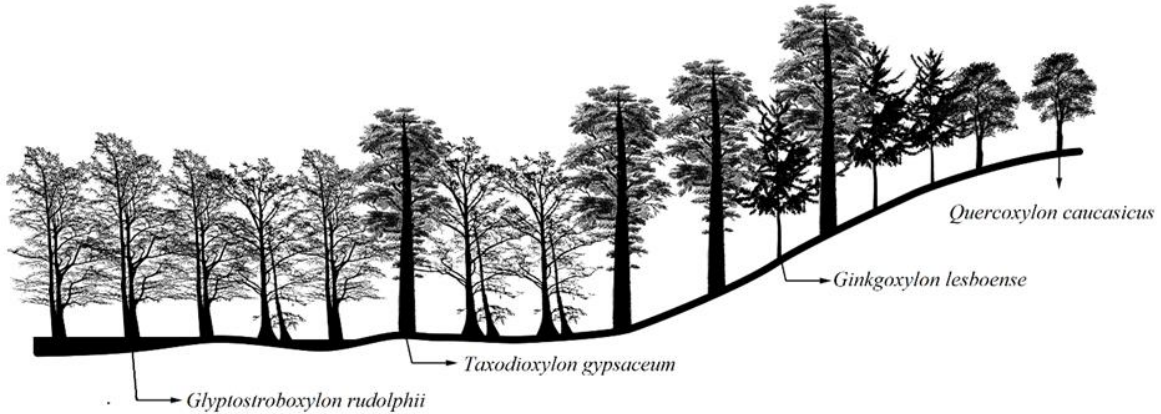
### Tartışma ve Ortamsal Yorumlar

Silisleşmiş ağaçların içinde bulunduğu Danişmen Formasyonu tipik bir karasal-delta ortamını temsil etmekte, kumtaşı-kiltaşı-şeyl ardalması ve nadiren de kireçtaşı içeren seviyelerle bunlara paralel kömür (linyit) oluşumları içermektedir. Yaklaşık yatay konumlu olan bu birimleri dik konumlarda kesen, farklı kalınlık ve seviyelerdeki silisleşmiş ağaçların ortamda gömülme yoluyla bulunabileceğini göstermektedir. Silisleşmiş ağaçlar Malkara-Keşan bölgelerinde Danişmen Formasyonu’nun farklı seviyelerinde tanımlanmaktadır, ancak sedimantasyona ve fosilleşmeye (petrification) etki edecek bir kaynak olarak yakın civarda konumlanan, çalışma alanında birim olarak gözlenmeyen Hisarlıdağ Volkanitleri ve bunların hidrotermal çözeltilerinin olabileceği düşünülmektedir.

Deneyel bir çalışmaya göre volkanik küller içerisindeki ağaçların silisifikasyonunun gerçekleşmesi için hidrotermal sıvıların 7.8 civarında olan ortamın PH’ını 4 civarında asidik bir duruma getirmesi ve sıcaklığın da 100°C civarında olması ile mümkün olabileceğini ileri sürülmektedir (Ballhaus ve ark. 2012). Bazı deneyel çalışmalarda ise silisleşmenin olabilmesi için ortamın sıcaklık ve H<sub>2</sub>O basınç koşullarının, 100°C’den 150°C’ye (riyolitik volkanizmada) çıkması, basıncın ise 1 atm basınç civarında

olması gerektiğinden bahsedilmektedir (Läbe ve ark. 2012). Yapılan bu çalışmalarda, ağaçların gömüldüğü derin ortamlarda, ligninin asidik ortamı sağlayan sıcak suların etkisiyle makro-molekül taneleri içeren organik kısımlarının zamanla serbestleştiği bunun yerini ise silisleşmenin alabildiği gözlenmektedir. Malkara-Keşan bölgesindeki silisleşmiş ağaçların, Danişmen Formasyonu birimleri çökelirken, sedimantasyonun herhangi bir evresinde volkanik aktivitenin etkisiyle ortamın silis içeriğinin yükselmesine neden olduğu ve bölgedeki ağaçların böyle bir ortamda silisleşmiş olabileceği yorumu yapılmaktadır (Batı 1996, Siyako 2005, Akkemik ve Sakıncı 2013). Ayrıca bu formasyon içinde gelişen kömürleşme ve silisleşme olayına, bölgede gözlenen fayların etkisinin de olabileceği de ileri sürülmektedir. Trakya fay sistemini oluşturan yapısal unsurlar, bazı kesimlerin yükselmesine neden olurken, bazı kesimlerde ise aşınma ile birlikte havzanın şekillenmesine yol açmaktadır.

Silisleşmiş ağaç örneklerinde tespit edilen *Glyptostroboxylon rudolphii* türü Trakya Bölgesi'nde Oligosen-Erken Miyosen dönemlerinde ilk defa tanımlanmıştır. Bu türün varlığı, bölgede su kenarı-bataklık koşullarının olduğuna işaret etmektedir. Türkiye'nin en yaygın fosil ağaçlarından ve *Sequoioxylon gypsaceum* ile sinonim olan *Taxodioxylon gypsaceum* Trakya Bölgesi'nde de Oligosen-Miyosen dönemlerinde yaşamış olup ılıman iklimi ve su kenarı-bataklık ortamını işaret etmektedir. Çalışmada tayin edilen cf. *Ginkgoxylon lesboense* türü ise tespit edilen diğer fosil ağaç tür bulgularını destekleyecek iklim özelliklerine sahiptir. Herdem yeşil meşe grubuna ait cf. *Quercoxylon caucasicum* türünün çalışma bölgesinde tespit edilen varlığı da Türkiye'de ilk defa tanımlanmıştır. Erken Miyosen döneminde büyük ormanlar oluşturan bu cinse ait ağaçlar içerisinde bu fosil türün varlığı da o dönemdeki iklimin nemli ve sıcak, subtropikal bir iklim olduğunu göstermektedir (Şekil 18). Denk ve ark. (2017) Avrasya'nın batısında tespit ettikleri herdem yeşil meşelerin varlığını birlikte bulunduğu türlerle birlikte değerlendirdiklerinde yağışların yüksek olduğuna, erken Miyosen'de yaygın olan *Q. drymeja* ve *Q. mediterranea* türlerinin Akdeniz koşullarından ziyade çökeltildikleri zamanlarda, tamamen nemli veya yazın ıslak olan, çoğunlukla nemli ılıman koşullarının varlığına işaret etmişlerdir. Sonuç olarak ağaç tür bileşimi; ortam koşullarının günümüzden daha nemli, yağışları yüksek ve düzlüklerde bataklıkların ve riparyan alanların varlığını göstermiştir.



Şekil 18. Çalışma bölgesinde tayini yapılan ağaçların simgesel dağılımı ve olası orman yapısı.

## SONUÇLAR

Silisleşmiş ağaç teşhisleri, Türkiye'nin özellikle erken Miyosen dönemiyle ilgili zengin bir orman ağacı çeşitliliğinin olduğunu ortaya koymuştur. Trakya Bölgesi'nde (Malkara-Keşan) yapılan bu çalışmada, silisleşmiş ağaçlar hakkında elde edilen bulgular ile jeolojik açıdan oluştuğu sedimantasyon ortamının tayini ve botanik çalışmalarla da ağaçların paleobotanik yorumlamalarının yapılması mümkün olmuştur. Silisleşmiş ağaçlar, kömür ocaklarının oluştuğu yerlerde veya yakınında bulunduğu için, bunların oluşumunu anlamada kömürün nerede, nasıl oluştuğu ve içinde bulunduğu kayalar ile ilişkisi ve de

oluşum ortamının yorumlanması gibi literatür bilgileri önemli katkılar sağlamıştır. Bu çalışmayla elde edilen bulguların sonuçları da aşağıda verilmiştir:

1. Silisleşmiş ağaçların mineralojik çalışmalarından, silisleşmenin çok yönlü bir olay olduğu ve farklı silis formlarında gelişebileceği sonucuna varılmıştır.
2. Örneklerin mikroskop altında incelenmesi sonucu, silisin farklı formları olan opal, kalsedon ve kuvars tanımlanmıştır. Gözlemlenen iri kuvars kristallerinin varlığı, XRD çalışmalarında elde edilen kuvars pikleri ile de desteklenmiştir.
3. Kesitlerde orta-iri taneli kuvars kristallerinin yanı sıra, mikrokristalin kalsedon oluşumları ve/veya amorf silis/opal oluşumları da gözlemlenmiştir. İri kuvars kristalleri genellikle enine kesitlerde görülen traheidler ve/veya traheler içinde oluşurken diğer kesit yönlerinde de (radyal ve teğet) yer yer iri kuvars kristallerine rastlanmıştır. Örneklerin bazılarında mikroskop altında koyu kahve-siyah renkli olarak görülen kısımlar organik maddelerin yoğunlaştığı alanlar olarak tanımlanmıştır.
4. Silisleşmiş ağaçların asidik bir ortamda oluştukları göz önüne alındığında, böyle bir ortamın sağlanmasında volkanik bir aktiviteye bağlı olarak gelişen hidrotermal çözeltilerin önemli bir rol oynadığı sonucuna varılmıştır.
5. Silisleşmiş ağaç örneklerinde tespit edilen
  - *Glyptostroboxylon rudolphii* bulgusu, Oligosen-Erken Miyosen döneminde Trakya Bölgesi'nde ilk kez belirlenmiştir.
  - cf. *Quercoxylon caucasicum* ile cf. *Ginkgoxylon lesboense* türleri bu çalışma ile Türkiye'de ilk defa tanımlanmıştır.
  - Ayrıca, tespit edilen *Taxodioxylon gypsaceum* ile bu türün çok yaygın olduğu tekrar teyit edilmiştir.
6. Ağaç türlerinin bileşimine dayanarak dönemin ikliminin günümüzden daha sıcak, nemli, yağışın yüksek olduğu subtropikal bir iklim tipine sahip olduğu belirlenmiştir.
7. Ortam koşullarının ise genellikle bataklık, sulak alan ve yamaçlardan oluşan deniz seviyesinin düşük olduğu daha çok düzlüklerden oluşan bir arazi olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

### **Teşekkür**

Bu çalışma, İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Bilimsel Araştırma Projeleri (BAP) Birimi tarafından desteklenen 33806 numaralı Doktora Tez Projesi kapsamında gerçekleştirilmiştir.

### **Kaynaklar**

Acarca Bayam, N.N., Akkemik, Ü., Poole, I., Akarsu, F. (2018). Further contributions to the early Miocene forest vegetation of the Galatian Volcanic Province, Turkey. *Palaeontol. Electron.* 21.3.40A, 1–42.

Akartuna, M. (1968). Armutlu Yarımadasının Jeolojisi. İ.Ü. Fen Fak. Monografisi sayı: 120.

Akkemik, Ü., Kose, N., Poole, I. (2005). *Sequoioiodae* (Cupressaceae) woods from the upper Oligocene of European Turkey (Thrace). *Phytologia Balcanica*, 11: 119-131.

Akkemik, Ü., Türkoğlu, N., Poole, I., Çiçek, İ., Kose, N., Gürgen, G. (2009). Woods of a Miocene petrified forest near Ankara, Turkey. *Turk. J. Agric. For.* 33, 89–97.

Akkemik, Ü., Sakınç, M. (2013). *Sequoioxylon* petrified woods from the Mid to Late Oligocene of Thrace (Turkey). *IAWA Journal*, 34 (2):177-182.

Akkemik, Ü., Arslan, M., Poole I., Tosun S., Köse N., Karlıoğlu Kılıç N., Aydın A. (2016). Silicified woods from two previously undescribed early Miocene forest sites near Seben, Northwest Turkey. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 31-50.



- Akkemik, Ü., Acarca, N.N., Hatipoğlu, M. (2017). The first *Glyptostroboxylon* from the Miocene of Turkey. IAWA J. 38, 561–570.
- Akkemik, Ü., Atıcı, G., Poole, I., Çobankaya, M. (2018). Three new silicified woods from a newly discovered earliest Miocene forest site in the Haymana Basin (Ankara, Turkey). Rev. Palaeobot. Palynol. 254, 49–64.
- Akkemik, Ü. (2019). New fossil wood descriptions from Pliocene of central Anatolia and presence of *Taxodioxylon* in Turkey from Oligocene to Pliocene. Turkish Journal of Earth Science, 28: 398-409, DOI:10.3906/yer-1805-24.
- Akkemik, Ü., Acarca Bayam, N.N. (2019) The first *Glyptostroboxylon* and *Taxodioxylon* descriptions from the late Miocene of Turkey. Fossil Imprint, 75(2): 268-280.
- Akkemik, Ü., Yıldırım, D.K., Sakala, J., Akkılıç, H., Altınışık, A. (2019a). New petrified wood descriptions from west-central Anatolia: contribution to the composition of the Neogene forest of Turkey. N. Jb. Geol. Palaont. Abh. 292, 57–71.
- Akkemik, Ü., Akkılıç, H., Güngör, Y. (2019b). Fossil wood from the Neogene of the Kilyos coastal area in Istanbul, Turkey. Palaeontographica Abteilung B Palaeobotany– Palaeophytology. 299 (4-6): 133-185.
- Aras, A., Sakınç, M., Yaltrak, C. (2004). Petrified angiosperm woods in the Thrace Formation (Pliocene-E. Quaternary?) in eastern Thrace, NW Turkey. International Symposium On Wood Sciences Organised by IAWA-IAWS, Montpellier, France.
- Aysal, N., Yılmaz Şahin, S., Güngör, Y., Peytcheva, I., Öngen, S. (2018). Middle Permian–early Triassic magmatism in the Western Pontides, NW Turkey: Geodynamic significance for the evolution of the Paleo-Tethys. Journal of Asian Earth Sciences, 164, 83-103.
- Ballhaus, C., Gee, C.T., Bockrath, C., Greef, K., Mansfeldt, T., Rhede, D. (2012). The silicification of trees in volcanic ash - An experimental study. Geochimica et Cosmochimica Acta, 84, 62–74p.
- Batı, Z., Erk, S. and Akça, N. (1993). Trakya Havzası Tersiyer birimlerinin palinomorf, foraminifer ve nannoplankton biyostratigrafisi. TPAO Araştırma Dairesi Arşivi, teknik rapor, 1947, 92 p. (unpublished).
- Batı, Z. (1996). Palynostratigraphy and Coal Petrography of the Upper Oligocene Lignites of the Northern Thrace Basin, NW Turkey. PhD. Thesis. Middle East Technical University, p. 341.
- Batı, Z., Alişan, C., Ediger, V.Ş., Teymur, S., Akça, N., Sancay, H., Ertuğ, K., Kirici, S., Erenler, M., and Aköz, Ö. (2002). Kuzey Trakya Havzası'nın Palinomorf, Foraminifer ve Nannoplankton Biyostratigrafisi. Türkiye Stratigrafi Komitesi Çalıştayı (Trakya Bölgesi'nin Litostratigrafi Adlamaları) Özleri, p. 14.
- Burke, W.F., Uğurtaş, G. (1974). Seismic Interpretation of Thrace Basin. TPAO Internal Report, Ankara, Turkey.
- Çağlayan, M. A., Şengün, M. ve Yurtsever, A. (1988). Main fault systems shaping the Istranca Massif, Turkey. Metu Journal of Pure and Appl. Sci. Tokay Volume 1.3: 145 - 154.
- Denk, T., Güner, T. H., Kvaček, Z., Bouchal, M. J. (2017). The early Miocene flora of Güvem (Central Anatolia, Turkey): a window into early Neogene vegetation and environments in the Eastern Mediterranean. ActaPalaeobot. 57(2): 237-338.
- Denk, T., Güner, H.T., Bouchal, M.J. (2019). Early Miocene climate and biomes of Turkey: Evidence from leaf fossils, dispersed pollen, and petrified wood. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology 530: 236–248.
- Dietrich, D., Lampke, T., Rößler, R. (2013). A microstructure study on silicified wood from the Permian Petrified Forest of Chemitz. Paläontol. Z. (Sci. Contrib. Paleont.) 87:814-834.
- Dolezych, M., van der Burgh, J. (2004). Xylotomische Untersuchungen an inkohlten Hölzern aus dem Braunkohlentagebau Berzdorf (Oberlausitz, Deutschland). Feddes Repertorium, 115(5-6): 397–437.

- Dolezych, M. (2011). Taxodiaceous woods in Lusatia (Central Europe), including curiosities in their nomenclature and taxonomy, with a focus on Taxodioxyton. *Japanes Journal of Historical Botany*, 19 (1-2): 25-46.
- Eckenwalder, J.E. (2009). *Conifers of the World: The complete reference*. Timber Press, London.
- Ediger, V.Ş., Alişan, C. (1989). Tertiary fungal and algal palynomorph biostratigraphy of the northern Thrace basin, Turkey. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 58, 139-161.
- Erarslan, C., Örgün, Y., Bozkurtoğlu, E. (2014). Geochemistry of trace elements in the Keşan coal and its effect on the physicochemical features of ground- and surface waters in the coal fields, Edirne, Thrace Region, Turkey. *International Journal of Coal Geology*.
- Erarslan, C., Örgün, Y. (2017). Mineralogical and geochemical characteristics of coal ash from the Northwest Thrace region, Turkey: a case study. *Arabian Journal of Geosciences*, Vol. 10, No. 10, ISSN: 1866-7511.
- Erarslan, C. (2018). Saray (Tekirdağ) ve Pınarhisar (Kırklareli) Kömürlerinin Sülfür ve İz Element İçeriğinin Kökeni ve Kömürlerin Çevresel Etkisinin Hidrojeokimyasal Açısından Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, İstanbul.
- Ercan, T. (1992). Trakya'daki Senozoyik volkanizması ve bölgesel yayılımı. *Jeoloji Müh. Derg.*, 41, 37-50.
- Farjon, A. (2010). *A Handbook of the World's Conifers*. V.1-2, Brill Academic Publishers, Leiden-Boston.
- Folk, R.L., Andrews, P.B., Lewis, D.W. (1970). Detrital sedimentary rock classification and nomenclature for use in New Zealand. *New Zealand journal of Geology Geophysics* 13, 937-968.
- Gerhard, J.E., Alişan, C. (1987). Palynostratigraphy, Paleoecology, and visual organic geochemistry Turgutbey-2, Değirmencik-3 and Pancarköy-1, Thrace Basin, Turkey. TPAO Araştırma Merkezi Grubu Arşivi, Yayınlanmamış teknik rapor, 983, 33 s.
- Görür, N. (1988). Timing of Opening of The Black Sea Basin. *Tectonophysics*, 14, 247-262.
- Gregory, M., Poole, I., Wheeler, E. (2009). Fossil Dicot Wood Names: An Annotated List with Full Bibliography. *IAWA J. Suppl.*, 6: 1-220.
- Güçtekin, A. (2017). Hisarlıdağ (Enez-Trakya) Volkanizması Ortaç ve Asidik Kayaçlarının Jeokimyasal ve Petrolojik Özellikleri. *Hacettepe Üniversitesi Yerbilimleri Uygulama ve Araştırma Merkezi Bülteni, Yerbilimleri*, 2017, 38 (2), 141-160.
- Güner, H. T., Bouchal, J. M., Köse, N., Göktaş, F., Mayda, S., Denk, T. (2017). Landscape heterogeneity in the Yatağan Basin (southwestern Turkey) during the middle Miocene inferred from plant macrofossils. *Palaeontographica Abt. B*, 296 (1-6): 113-171.
- Güngör, Y., Akkemik, Ü., Kasapçı, C., Başaran, E. (2019). Geology and woods of a new fossil forest from the Early Miocene of Gökçeada (Turkey). *Forestist* 69, 22-34.
- Hassan, K. M. (2019). Stable Isotope Ratios of Carbonate and Organic Carbon from Silicified Tree Trunks, Petrified Forest, New Cairo, Egypt-Possible Interpretations of Palaeoenvironment. *Geochemistry International*, 2019, Vol. 57, No. 5, pp. 564-574.
- Hatipoğlu, M., Türk N. (2009). Combined polarizing microscope, XRD, SEM, and specific gravity study of the petrified woods of volcanic origin from the Çamlıdere-Çeltikçi-Güdül fossil forest, in Ankara, Turkey. *Journal of African Earth Sciences*, 141-157.
- IAWA Committe (1989). IAWA list of microscopic features for hardwood identification. In E.A. Wheeler, P. Baas, P.E. Gasson (Eds), *IAWA Bulletin*, 10, 219-332.
- IAWA Committe (2004). IAWA list of microscopic features for softwood identification. *IAWA Journal*, 25, 1-70.
- InsideWood (2004). Onwards. Published on the Internet. <https://insidewood.lib.ncsu.edu/search>

- Jiang, Z., Wang, Y., Philippe, M., Zhang, W., Tian, N., Zheng, S. (2016). A Jurassic wood providing insights into the earliest step in Ginkgo woodevolution. *Sci. Rep.*6, 38191.
- Kasar, S., Bürkan, K., Siyako, M., Demir, O. (1983). Tekirdağ- Şarköy-Keşan-Enez bölgesinin jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. TPAO Arama Dairesi Arşivi, teknik rapor no: 1771, 71 p. (unpublished).
- Kayacık, H., Aytuğ, B., Yaltırık, F., Şanlı, İ., Efe, A., Akkemik, Ü., Inan, M. (1995). *Sequoiadendron giganteum* (Lindl) Buchh. trees living near Istanbul in Late Tertiary. *Review of Faculty of Forestry, University of İstanbul*, 45: 15-22.
- Kesgin, Y., Varol, B. (2003). Gökçeada ve Bozcaada'nın Tersiyer jeolojisi (Çanakkale). *Türkiye. Maden Tetkik ve Arama Dergis.* 126, 49-67.
- Keskin, C. (1974). Kuzey Trakya Havzası'nın Stratigrafisi. *Türkiye İkinci Petrol Kongresi Tebliğleri Kitabı*, s. 137 – 163.
- Kvaček, J., Falcon-Lang, H., Dašková, J. (2005). A new Late Cretaceous ginkgoalean reproductive structure *Nehvizdyella* gen. nov. from the Czech Republic and its whole-plant reconstruction. *American Journal of Botany* 92(12):1958-69.
- Läbe, S., Gee, C. T., Ballhaus, C., Nagel, T. (2012). Experimental silicification of the tree fern *Dicksonia antarctica* at high temperature with silica-enriched H<sub>2</sub>O vapor. *Palaios*, 27, 835-841.
- Lukens, W.E., Eze, P., Schubert, B.A. (2019). The effect of diagenesis on carbon isotope values of fossil wood. *The Geological Society of America*, 47 (10): 987–991.
- Mustoe, G. (2017). *Wood Petrification: A New View of Permineralization and Replacement*. Geosciences, MDPI, USA.
- Mustoe, G., Viney, M. (2017). *Mineralogy of Paleocene Petrified Wood from Cherokee Ranch Fossil Forest, Central Colorado, USA*. Geosciences, MDPI, USA.
- Mustoe, G., Viney, M., Mills J. (2019). *Mineralogy of Eocene Fossil Wood from the "Blue Forest" Locality, Southwestern Wyoming, United States*. Geosciences, MDPI, USA.
- Natal'in, B. A., Satır, M., Sunal, G., and Toraman, E. (2005a). Structural and metamorphic evolution of the Strandja massif. Project No: 101Y010: Ankara, Turkey, Unpubl. report, Scientific and Technical Research Council of Turkey.
- Natal'in, B., Sunal, G., and Toraman, E. (2005b). The Strandja arc Anatomy of collision after long-lived arc-parallel tectonic transport, in Sklyarov, E. V., ed., *Structural and tectonic correlation across the Central Asia orogenic collage: Northeastern Segment*. Guide-book and abstract volume of the Siberian Workshop IGCP-480: Irkutsk, Russia, Russian Academy of Sciences p.240–245.
- Okay, A.I., Satır, M., Tüysüz, O., Akyüz, S. & Chen, F. (2001). The tectonics of the Strandja Massif: Variscan and mid-Mesozoic deformation and metamorphism in the northern Aegean. *International Journal of Earth Sciences (Geologische Rundschau)*, 90, 217-233
- Okay, A.I., Simmons, M., Özcan, E., Starkie, S., Bidgood, M. & Kylander-Clark, A.R.C. (2020). Eocene-Oligocene succession at Kıyıköy (Midye) on the Black Sea coast in Thrace. *Turkish Journal of Earth Sciences*, 29, 139-153.
- Özgüven-Ertan, K. (1971). Sur un bois fossile de Taxodiaceae dans la flore Neogene d'Istanbul (Turquie d'Europe): *Sequoioxylon egemeni* n.sp. *Rev FacSci'Université d'Istanbul*, 36 (B): 89–114.
- Pe-Piper, G., Imperial, A., Piper, David J.W., Zouros, Nickolas C., Anastasakis, G. (2019). Mineral data (SEM, electron microprobe, Ramanspectroscopy) from epithermal hydrothermal alteration of the Miocene Sigrí Petrified Forest and host pyroclastic rocks, Western Lesbos, Greece. Published by Elsevier Inc., 24, 103987.

- Perinçek, D. (1987). Trakya Havzası Renç Fay Zonunun Sismik Özellikleri. Türkiye 7. Petrol Kongresi Bildirileri, 11-20.
- Perinçek, D., Atas, N., Karatut, Ş., Erensoy, E. (2015). Geological factors controlling potential of lignite beds within the Danişmen Formation in the Thrace Basin. Maden Tetkik ve Arama Dergisi, 150, 77 – 108.
- Polat, S., Güney, Y., Ege, İ., Akkemik, Ü. (2019). Banaz’da (Uşak) Yeni Bulunan Petrifiye Alanı ile İlgili İlk Bulgular. Coğrafi Bilimler Dergisi, 17(2), 384-402, doi:10.33688/ aucbd.532176.
- Royer, D.L., Hickey, L.J., Wing, S.L. (2003). Ecological conservatism in the “living fossil” Ginkgo. Paleobiology, 29 (1): 84-104.
- Sakınç, M., Aras, A., Yalıtırak, C., Batı, Z., Çağatay, N. (2007). Trakya Karasal Tersiyerinde Silişleşmiş Ağaçlar, Paleoflora, Paleoklimatoloji, Paleocoğrafya. TÜBİTAK Proje No: 103Y137.
- Saner, S. (1985). Saros Körfezi dolayının çökeltme istifleri ve tektonik yerleşimi, Kuzeydoğu Ege Denizi, Türkiye. Türkiye Jeoloji Kurumu Bülteni, 28, 1-10.
- Scott, R.A., Barghoorn, E.S., Prakash, U. (1962). Wood of Ginkgo in the Tertiary of western North America. American Journal of Botany, 49, 1095-1101, <https://doi.org/10.1002/j.1537-2197.1962.tb15052.x>.
- Siyako, M., Bürkan, K., Okay, A.I. (1989). Biga ve Gelibolu Yarımadalarının Tersiyer jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. Türkiye Petrol Jeologları Derneği Bülteni, 1/3, 183-199.
- Siyako, M. (2005). Trakya ve yakın çevresinin Tersiyer stratigrafisi. TPAO Arama Dairesi Arşivi, teknik rapor no: 4608, 104 p, (unpublished).
- Siyako, M. (2006). Lignitic Sandstones of the Trakya Basin. Mineral Res. Exp., Bull., 132, 63-72.
- Sunal, G., Natal’in, B. A., Satir, M., Toraman, E. (2006). Paleozoic magmatic events in the Strandja Massif, NW Turkey. Geodinamica Acta 19, 283–300.
- Sunal, G. Satır, M, Natal’in, B., Topuz, G. ve Vonderschmidt, O. (2011). Metamorphism and diachronous cooling in a contractional orogen: the Strandja Massif, NW Turkey. Geological Magazine, DOI: 10.1017/S0016756810001020, 1-17.
- Sümengen, M., Terlemez, İ., Şentürk, K., Karaköse, C., Erkan, E.N., Ünay, E., Gürbüz, M., Atalay, Z. (1987). Gelibolu Yarımadası ve güneybatı Trakya Tersiyer havzasının stratigrafisi, sedimantolojisi ve tektoniği. Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, teknik rapor, 8218. (unpublished).
- Süss, H. (2003). Zwei neue fossile Hölzer der Morphogattung *Ginkgoxylon* Saporta emend. Süss aus tertiären Schichten der Insel Lesbos, Griechenland, mit einer Übersicht über Fossilien mit ginkgoaler Holzstruktur. Feddes Repertorium 114 (5-6): 301–319.
- Şanlı, İ. (1982). Trakya’nın Tersiyer florası üzerinde ksilolojik araştırmalar (Linyit analizleriyle). İ. Ü. Orman Fakültesi Dergisi A 1: 84-138.
- Şengüler, İ. (2013). Ergene (Trakya) Havzası’nın jeolojisi ve kömür potansiyeli. Maden Tetkik Arama Genel Müdürlüğü Doğal Kaynaklar ve Ekonomi Bülteni Sayı 16, 109-114.
- Teodoridis, V., Sakala, J. (2008). Early Miocene conifer macrofossils from the Most Basin (Czech Republic). Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie- Abhandlungen, 250: 287–312.
- Turgut, S., Siyako, M., Dilki, A. (1983). Trakya havzasının jeolojisi ve hidrokarbon olanakları. Tür. Jeoloji Kong. Bülteni 4:35 - 46.
- Turgut, S., Türkaslan, M., Perinçek, D. (1991). Evolution of the Thrace sedimentary basin and its hydrocarbon prospectivity. Spencer AM (ed) Generation, accumulation, and production of Europe's hydrocarbons. Special Publication of European Association of Petroleum Geoscientists, 1, 415-437.

Ünal, O. T. (1967). Trakya jeolojisi ve petrol imkânları. TPAO Arama Grubu Arşivi, yayınlanmamış teknik rapor, 391, 80 s.

Viney, M., Hickey, R. D., Mustoe, G. E. (2019). A Silicified Carboniferous Lycopsid Forest in the Colorado Rocky Mountains, USA. Geosciences, MDPI, Switzerland.

Voudouris, P., Velitzelos, D., Velitzelos, E., Thewald U. (2007). Petrified wood occurrences in western Thrace and Limnos Island: mineralogy, geochemistry and depositional environment. Bulletin of the Geological Society of Greece vol.40 No.1.

Yılmaz Şahin, S., Aysal, N. Güngör, Y., Peytcheva, I., Neubauer, F. (2014). Geochemistry and U–Pb zircon geochronology of metagranites in Istranca (Strandja) Zone, NW Pontides, Turkey: Implications for the geodynamic evolution of Cadomian orogeny. Gondwana Research, DOI: 10.1016/j.gr.2013.07.011

Yurtseven, N. (2018). Osmanlı (Manisa) köyünde taşlaşmış ormanlar üzerine coğrafi inceleme. TÜCAUM 30. Yıl Uluslararası Coğrafya Sempozyumu, 3-6 Ekim 2018, 875-892, Ankara.

Başvuru tarihi: 27.10.2020 Yayına Kabul edildiği tarih: 20.12.2020