



Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi 7 (1): 33-41, 2014
ISSN: 1308-0040, E-ISSN: 2146-0132, www.nobel.gen.tr

Polen Analizlerinin Temel Prensipleri ve Kuvaterner Ortam Koşullarının Yeniden Yapılandırılmasındaki Önemi

Çetin ŞENKUL

Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen-Edebiyat Fakültesi, Coğrafya Bölümü, Isparta

Sorumlu Yazar*

E-posta: cetinsenkul@gmail.com

Geliş Tarihi: 26 Ocak 2014

Kabul Tarihi: 02 Mart 2014

Özet

Kuvaterner ortam koşullarının yeniden yapılandırılmasına yönelik çalışmalarda kısa ve uzun dönemli ortamsal değişimlerin belirlenmesi için birbirinden farklı pek çok kaynağa ve yöntemlere başvurulmaktadır. Bunlar arasında yer alan polen analizleri bitki türlerinin, tür çeşitliliğinin, vejetasyon formasyonlarının tespiti ve değişiminin ortaya çıkarılmasında önemli bir dolaylı kaydı oluşturmaktadır. Polen analizleri ayrıca iklim döngülerinin zamanlaması, süresi ve etkilerinin belirlenmesinde, doğal ortam insan arasındaki ilişkilerin tespitinde, tarımsal faaliyetlerin ortaya çıkışı, dağılışı ve gelişiminin ortaya konulmasında önemli bir veri kaynağı olarak kullanılmaktadır. Bu nedenle bilim insanları paleocoğrafik çalışmaların içerisinde yer alan paleovejetasyon, paleoiklim ve biyoarkeoloji araştırmalarında polen kayıtlarından yoğun olarak yararlanmaktadır. Bu çalışmada bu denli kapsamlı ve önemli olan polen analizlerinin genel özellikleri ve Kuvaterner çalışmalarına olan katkıları ele alınmıştır.

Anahtar Kelimeler: Polen Analizi, Dolaylı Kayıt, Paleovejetasyon, Kuvaterner, İklim Değişimi.

Fundamental Principles of Pollen Analysis and the Importance of Restructuring Quaternary Environmental Conditions

Abstract

In the studies of restructuring quaternary environmental conditions many sources and methods are referenced for determination of short and long-term environmental changes. Pollen analysis, which is one of those methods, constitutes an important indirect registration to reveal the changes and detections of vegetation formations, plant species and species diversity. Pollen analysis are also used as important data sources for the determination of climatic cycles timing, duration and effects; for the determination of the relationship between natural environment and human; for the distribution, development, reveal of agricultural activities. Therefore, scientists benefit from the pollen records in the researches of paleo-vegetation, paleo-climate and bioarchaeology that partaking in paleogeographic studies. In this study, general characteristics of pollen analysis which are very important and comprehensive and its contributions to Quaternary studies are discussed.

Key Words: Pollen Analysis, Proxy Data, Quaternary, Paleovegetation, Climatic Change, Human Activity

GİRİŞ

Kuvaterner döneminde iklim salınımları sonucu gerçekleşen buzul ve buzul arası dönemler kuşkusuz ortamsal değişimlerin en önemli belirleyicisidir [1]. Bu dönemler bitki örtüsü değişimi, bitkilerin sığınma alanlarına çekilmesi ya da yayılmaya başlaması, deniz seviyesi değişimleri, buzulların ilerlemesi ve gerilemesi gibi pek çok ortamsal değişiklik ile karakterize olmaktadır [2]. Kuvaterner döneminin bir diğer önemli özelliğini Erken Pleistosen'den itibaren insanın doğal çevre ile olan ilişkilerinde yaşanan değişimler oluşturmaktadır [4].

Kuvaterner ortam koşullarındaki kısa ve uzun dönemli değişimlerin belirlenmesi için birbirinden farklı pek çok kaynağa ve yöntemlere başvurulmaktadır. Bunlar arasında yer alan önemli metotlardan biri polen analizidir [5]. Kuvaterner dönemi ortam koşullarının yeniden yapılandırılmasına yönelik çalışmalarda kullanılan polen kayıtları büyük oranda

göl, bataklık, kıyı alanları ve deniz tabanlarından temin edilmektedir. Bu kayıtlar ile bireysel bitki türlerinin ekolojisi, bitki örtüsü değişimi, orman ilerlemesi ve gerilemesi, vejetasyon formasyonlarının yapısı, iklim değişikliğinin ve iklim değişikliğine ait mekanizmaların belirlenmesi, doğal ortam üzerindeki insan etkisi, tarımın kökeni ve dağılımı ve paleoarazi kullanım biçiminin (paterni) tespiti mümkün olmaktadır.

Ayrıca polen kayıtlarında insan faaliyetlerine bağlı olarak meydana gelen kısa ve uzun periyotlu etkilerin izlerini de görebilmek mümkündür [6].

Günümüz bilim dünyası, polen kayıtlarının bu önemli özelliğinden yararlanarak ortamsal değişimlerin çeşitli zamansal ve mekânsal ölçekte meydana gelen paleocoğrafik evrimi üzerine ayrıntılı çalışmalarda bulunmaktadır [7]. Özellikle son 30 bin yıllık periyotta gerçekleşen ortamsal değişimlere dair çok sayıda dolaylı kaydın bulunması bu periyoda yönelik araştırmaların yoğunlaşmasına neden

olmuştur [8]. Dolayısıyla bu çalışmada, Kuvaterner dönemi ortam koşullarının yeniden yapılandırılmasına yönelik detaylı ve önemli bulguları olan polen analiz çalışmalarının temel özellikleri ve önemi ele alınmıştır.

Polen Analiz Çalışmalarının Tarihçesi

Bitkiler tarafından üretilen polen ve sporların tanımlanmasına yönelik araştırmalar 19. Yüzyıl'da başlamıştır. Polenlerin bozulmadan uzun süre korunabildiği bataklık ve göl alanlarındaki ilk fosil polen çalışması ise 20. Yüzyılın başında Lennart von Post tarafından gerçekleştirilmiştir [9]. Palinoloji terimini ilk defa kullanan Hyde ve Williams'ın (1944) [10] yaptığı çalışmalarla sayısı artmaya başlayan polen çalışmaları, 1950'li yıllarda radyokarbon tarihlenmesinin keşfi ve farklı lokasyonlara ait polen analiz sonuçlarının birbirleriyle korele edilmeleri ile yeni bir boyut kazanmıştır. Palinoloji çalışmalarında ulaşılan bu aşamada Kuvaterner dönemi içerisindeki bitki türlerinin, tür çeşitliliğinin, vejetasyon formasyonlarının tespiti ve değişimini ortaya çıkarmak mümkün olmuştur. Palinolojik çalışmalar bu dönemde ayrıca doğal ortam-insan arasındaki ilişkilerin belirlenmesinde, tarımsal faaliyetlerin ortaya çıkışı, dağılışı ve gelişiminin tespitinde en önemli veri kaynağı olarak kullanılmıştır [11-12]. 1980'li yıllara gelindiğinde ise bilim insanları, fosil polen kayıtlarının daha doğru değerlendirilmesinin için, güncel polenlerin iyi anlaşılması gerektiği fikrini benimsemiştir [13-14-15]. Bu yüzden 1990'lı yıllarda bitki türlerine ait güncel polen üretimi, polen dağılımı ve ortamsal modelleme konularında önemli gelişmeler kaydedilmiştir. Günümüz palinoloji çalışmalarında ise fosil ve güncel polen verileri birlikte ele alınmaktadır [16]. Ayrıca son yıllardaki polen çalışmaları diğer dolaylı kayıtların (oksijen izotop, diatom, speleotem vb..) eklenmesine ve değerlendirilmesine olanak tanıyan çoklu dolaylı kayıt sistemine entegre edilerek ortamsal değişimlerin daha doğru değerlendirilmesine ve kurgulanmasına imkan tanımaktadır.

Polen ve Sporlar

Yeryüzünde sayısı yaklaşık 300-315 bin civarında olan bitkiler en ilkelinden gelişmişine doğru; algler, likenler, kara yosunları, eğreltiler ve çiçekli (tohumlu) bitkiler şeklinde sıralanmaktadır [18]. Tohumlu bitkiler ise kendi arasında açık ve kapalı tohumlu olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Açık tohumlu bitkiler (*Gymnospermae*) günümüzde var olan bitki türlerinin yaklaşık % 22'sini oluştururken, geriye kalan bölümün büyük bir kısmını (% 60) kapalı tohumlu bitkiler (*Angiospermae*) oluşturmaktadır [18].

Vejetasyon formasyonları içerisinde açık tohumlu bitkileri genellikle yapraklarını dökmeyen her mevsim yeşil kalabilen iğne yapraklı ağaç ve çalı türündeki bitkiler oluşturmaktadır. Kapalı tohumlu bitkiler ise vejetasyon formasyonları içerisinde en önemli topluluğu oluşturmaktadır olup ot, çalı ve ağaç formunda olabilen çiçekli bitkilerdir. Hem açık hem de kapalı tohumlu bitkiler polen üretebilmektedir. Çiçeksiz bitkilerin üremelerini sağlayan hücrelere ise spor denilmektedir. Bu nedenle palinoloji biliminin inceleme alanı içerisinde sadece polen üreten çiçekli bitkiler (açık ve kapalı tohumlu bitkiler) ile spor üreten çiçeksiz bitkiler bulunmaktadır.

Yapıları çok küçük olan polen tanelerinin boyutları 15-150 mikron (μm) (1 mm=1.000 mikron) arasında değişir [19]. Bu yüzden polenler ancak normal ışık mikroskobu veya elektron mikroskobu ile incelenebilirler (Foto 1). Kabuk yapıları (*structure*) ve kabuk üzerindeki süsler (*sculpture*) polenlerin morfolojik özellikleri açısından önemlidir. Bu özellikleri türden türe değişimle birlikte genellikle daire,

oval, üçgen, dörtgen, beşgen ve altıgen şekle sahiptir. Polen morfolojilerindeki bu özellik polenlerin ait oldukları bitkileri tespitine en önemli kriterdir.

Polenler, kabuklarında sporopolenin (ekzin) olarak isimlendirilen doğanın en dayanıklı maddelerinden birini barındırmaktadır. Genel olarak asitlere ve enzimlere karşı çok dirençli olan polenlerin kabuk yapıları yoğunlaştırılmış asit ve alkaliler içinde bozulmamakta ve yaklaşık 300 °C ısıya dayanabilmektedir [5]. Bu yüzden polenler; rüzgâr, sel, akarsu, deniz akıntıları ve hayvanlar ile ürettikleri alandan yüzlerce kilometre uzaklaştıkları halde yapılarında bir bozulma meydana gelmemektedir. Polenlerin sahip oldukları bu özellikler nedeniyle palinoloji biliminde genel olarak polenlerin dış yapıları (ekzin) incelenmektedir.

Polen Yayılımı-Taşınması Ve Sedimentasyonu

Bitkiler tarafından olgunlaştırıldıktan sonra serbest bırakılmayı bekleyen polenler her yıl düzenli olarak atmosfere yayılmaktadır. Polenlerin üretim miktarı bitkiden bitkiye ve yıldan yıla değişimle birlikte, bir hektarlık orman alanının polinizasyon mevsiminde ürettiği polen tanelerinin miktarı milyarlarla ifade edilmektedir. Özellikle çam (*Pinus*), kızılçam (*Alnus*), fındık (*Corylus*), huş (*Betula*), meşe (*Quercus*), ladin (*Picea*), kavak (*Populus*), ıhlamur (*Tilia*) ve kayın (*Fagus*) gibi ağaçlar polen üretiminde önemli bir orana sahiptir (Birks ve Birks 1980). Bir yıl içerisindeki polinizasyon mevsiminde tek bir çam ağacı (*Pinus*) ~12 milyar, kayın ağacı (*Fagus*) ~2 milyar, meşe ağacı (*Quercus*) ~1.5 milyar polen üretebilmektedir [20].

Bitkiden ayrılan polenler ise çok küçük boyutta olmaları nedeniyle, kısa bir süre sonra çok uzak mesafelere ve yüksekliklere dağılabilmektedir. Atmosfere karışan polenler özellikle rüzgarlar sayesinde geniş alanlara yayılmaktadır. Polen tanelerinin ürettikleri bitkiden taşınmaları ise temel olarak atmosferdeki türbülans hareketleri, rüzgâr hızı ve yönü, polen tanesinin şekli ve ağırlığına bağlıdır. Ayrıca havada uçar haldeki polenin düşme hızı, polen üreten bitkinin yüksekliği ve dayanıklılığı da taşınmada rol oynamaktadır [13]. Yapılan çalışmalarda polen tanelerinin büyük bir kısmının ortalama meteorolojik koşullar olduğu dönemde, ürettikleri bitkiden 600 ila 1200 m uzaklık içerisinde bir alana gidebildiği belirlenmiştir (Şekil 1 ve 2)[21]. Ancak ekstrem meteorolojik koşullar olduğu dönemde yüksek uçuculuk özelliği olan polen taneleri (*Pinus* vb..) bazen 300 km mesafeye kadar taşınabilmektedir [5].

Bitkiler tarafından atmosfere bırakılan polenler yeryüzüne yayıldıktan sonraki birkaç yıl içerisinde iç kısımlarında bulunan yumuşak doku zamanla çürümekte ve şekilsel özelliklerini kaybederek bozulmaktadır. Polen tanelerinin bozulmadan kalabilmeleri için özel ortam koşulları gerekmektedir. Bu tip alanlar genellikle oksijence fakir olan göl ve deniz tabanları, kıyı alanları, eski göl ve akarsu tabanları, bataklık ve lagün sahalarıdır. Bu alanlarda bulunan uygun depolanma koşulları sayesinde polenlerin dış yapıları şekillerini kaybetmeden ve kronolojik kesintiye uğramadan fosilleşebilmektedir. Bu nedenle polenlerin oluşturduğu bu mikro fosiller daha çok gölsel ve denizel sedimentler içerisinde, alüvyal ve kolüvyal depolarda ve mağaralarda bulunmaktadır [5].

Atmosfer içerisindeki polenlerin yayılımı ve bozulmadan korunabilecekleri ortamlarda sedimentasyon sürecine katılım mekanizmasının anlaşılabilmesi için 1980'li yıllardan itibaren model çalışmalar gerçekleştirilmiştir [22-23-24-25]. Bu çalışmalar ışığında polenlerin sedimentasyon sürecinin altı farklı aşamada değerlendirilebildiği görülmektedir (Şekil 3).

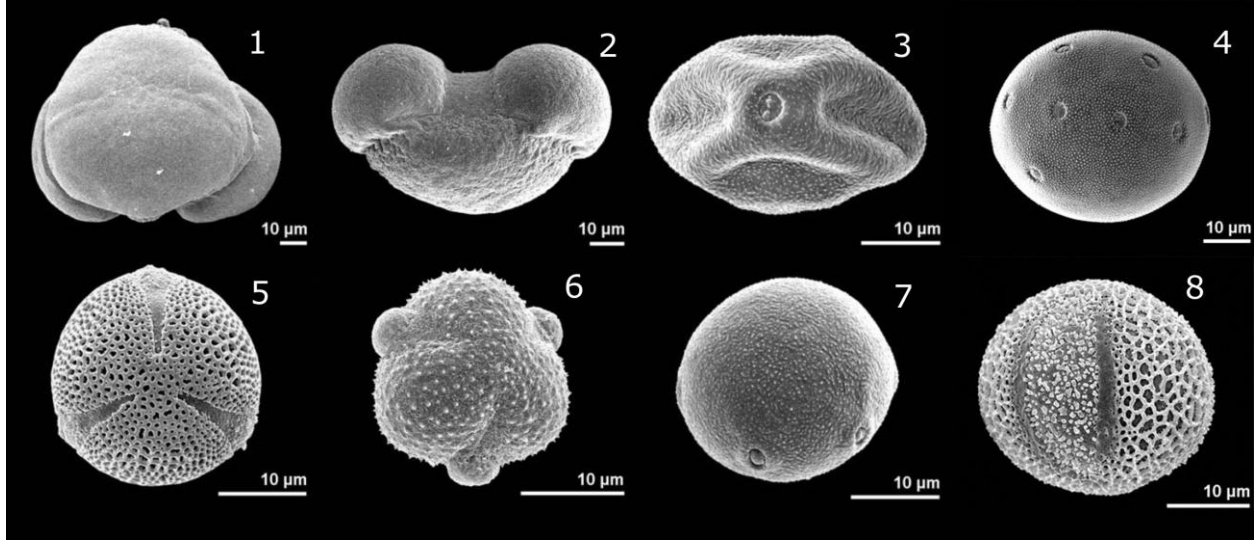
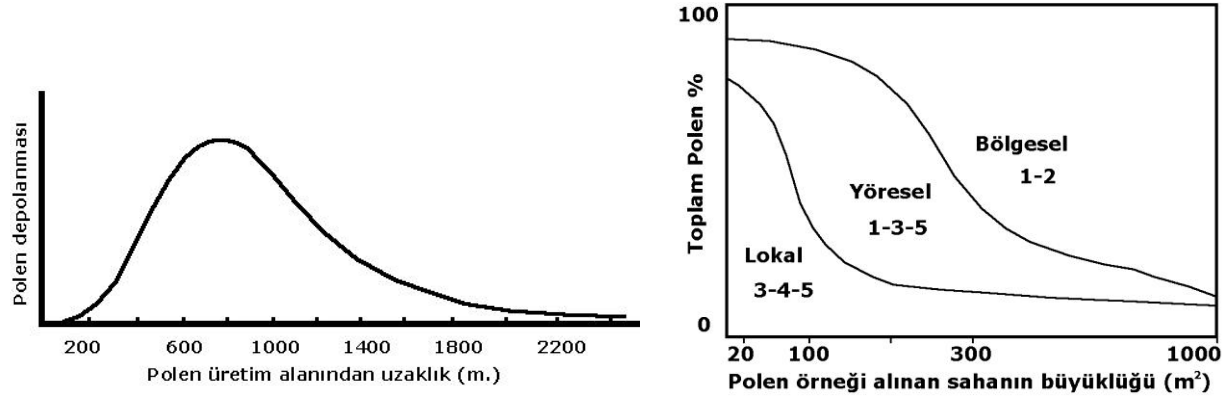
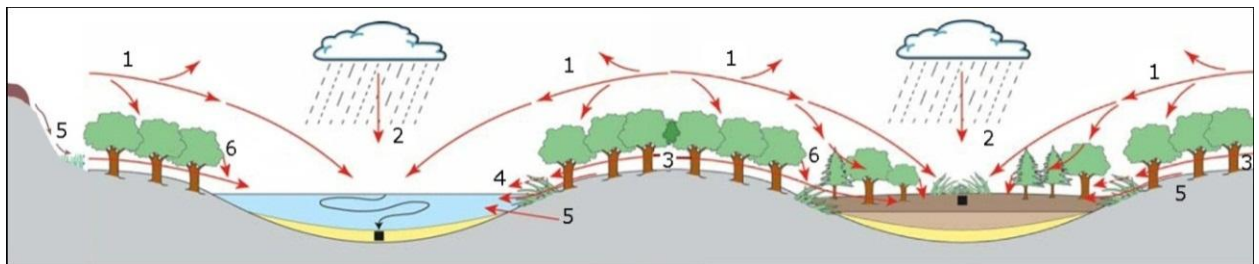


Foto 1. Farklı türlere ait polen tiplerinin taramalı elektron mikroskopundaki (SEM) üç boyutlu görüntüleri şekildeki sırasıyla; 1- Göknar (*Abies cephalonica*), 2- Çam (*Pinus strobus*), 3- Fındık (*Corylus avellana*), 4- Ceviz (*Juglans regia*), 5- Dişbudak (*Fraxinus ornus*), 6- Pelin otu (*Artemisia pontica*), 7- Kızılağaç (*Alnus viridis*), 8- Söğüt (*Salix alba*) görülmektedir (polenlerin alt kısımlarındaki bar 10 mikron' u (μm) göstermektedir) [19].



Şekil 1 ve 2. Teorik olarak ortalama meteorolojik koşullarda polen tanelerinin depolanması esnasında taşınma mesafesinin gösterimi [5-21].



Şekil 3. Bitkiler tarafından üretilen polenlerin sedimantasyon sürecine geçiş aşamasındaki mekanizmanın gösterimi (Bunting, 2008'den geliştirilerek çizilmiştir) [26]. 1. Havada asılı olarak bulunan polenler, 2. Yağış ile yeryüzüne inen polenler, 3. Alt hava hareketleri ile taşınan polenler, 4. Yerel polenler, 5. Su ile taşınan ikincil polenler, 6. Yerçekimi etkisiyle direk sedimantasyona karışan polenler.

1) Havada asılı olarak bulunan polenler: Bazı polenler (çam türleri gibi) havada asılı halde uzun süre kalarak buldukları alandan çok uzak mesafelere taşınabilmektedir.

2) Yağış ile yeryüzüne inen polenler: Polen taneleri nemli hava kütleleri içerisinde toz partiküllerinde olduğu gibi yağışın çekirdeği görevi görmektedir. Bu sayede atmosferde bulunan polen taneleri yeryüzüne inerek sedimantasyon sürecine katılmaktadır.

3) Alt hava hareketleri ile taşınan polenler: Vegetasyon formasyonları içerisinde bulunan ağaç, çalı ve otsu türlerin ürettiği polenler atmosfere karışmadan alt hava hareketleri ile taşınarak birikmesidir.

4) Yerel polenler: Göl ve bataklıklarda yaşayan sucul bitkilerin ürettikleri polenlerin doğrudan sedimantasyon sürecine katılmaları ile yerel polen bileşeni oluşturulmaktadır.

5) Su ile taşınan ikincil polenler: Özellikle su havzaları içerisinde akışa geçen yağış suları ile birlikte mevcut polenler taşınarak bataklık, göl ya da deniz tabanlarında birikmektedir.

6) Yercəkimi etkisiyle doğrudan sedimantasyona karışan polenler.

Polen Analizlerinde Saha ve Laboratuvar Çalışmaları

Güvenirliliği yüksek bir polen analiz çalışması için öncelikle polen bulunabilecek ya da temin edilecek alanın (göl ve deniz tabanları vb.) doğru belirlenmesi gereklidir. Bu aşamada sondaj çalışması yapılacak noktanın belirlenmesine yönelik bir dizi ön araştırmaya ihtiyaç vardır. Daha sonra belirlenen noktada çalışma amacına yönelik olarak el sondajı (Glew corer, Hiller, Russian, Livingstone vb.) veya motorlu sondaj (Cobra coring system vb.) ekipmanları kullanılarak karotlar alınmaktadır. İstenilen derinliğe ya da ulaşılmak istenilen tarihe göre alınan karotlar uygun muhafaza koşulları oluşturulduktan ve numaralandırıldıktan sonra analiz edilmek üzere laboratuvara ulaştırılır (Şekil 4).

Laboratuvar çalışmasında öncelikle alınan karotların boyutları belirlenir ve bu karotların içerisinde her 5 cm'de bir (istenilen çözünürlüğe göre örnek alma sıklığı değişebilmektedir) olmak üzere $\sim 2 \text{ cm}^3$ lük örnekler alınır. Bu örnekler içerisinde bulunabilecek küçük dal, tohum ve toprak parçaları temizlenir. Daha sonra bu örnekler içerisinde bulunabilecek karbonatlı, silisli ve organik unsurların asitlerle ayrılması gerekmektedir. Bu aşamada alınan karot örneğinin içeriğine göre takip edilecek birkaç farklı protokol çalışması bulunmaktadır. Ancak temel olarak uygulanan klasik yöntem sırasıyla şu şekildedir; Öncelikle karbonatlar hidroklorik asit ile eritilir, organik unsurlar önce potasyum klorat ve nitrik asit karışımı ile oksitlenir. Sonra potasyum veya sodyum hidroksitten geçirilir [27]. Son olarak ise kesit içerisinde elde edilen saf polen taneleri su içerisinde santrifüj ile yoğunlaştırılır ve mikroskopta analiz edilmek üzere hazırlanır.

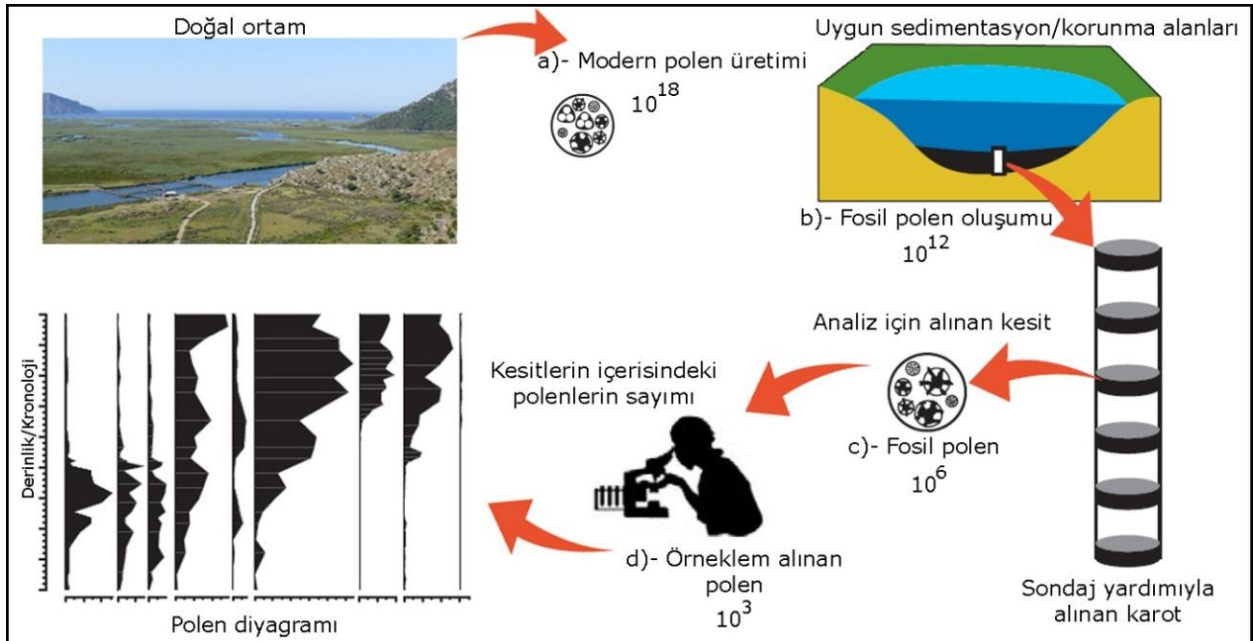
Polenleri ayırt etmek ve saymak üzere örnekler boyanır ve her bir örnek için sayımına yönelik bir liste yapılır. Polen sayımı otsu ve odunsu türler olarak iki ana bitki kategorisi

üzerinden yapılmaktadır. Mikroskop ile yapılan incelemede 100, 200 veya 1000 bireyin bağlı olduğu türler ve sayıları hesaplanır. Bu aşamada her bitki türüne ait polenin tanımlanması yapılmaktadır. Her düzeydeki sayıların yüzdesi bulunur ve bir polen diyagramı oluşturulur. Bu diyagram, belirli bir zaman diliminde bir bölge üzerindeki bitki türlerini, vejetasyon kompozisyonunu ve vejetasyon örtüsündeki değişimleri göstermektedir. Elde edilen polen diyagramları arazi çalışması ile başlayan polen analiz sürecinin son aşamasıdır. Daha sonraki çalışmalar bu diyagramların değerlendirilmesi için yapılır.

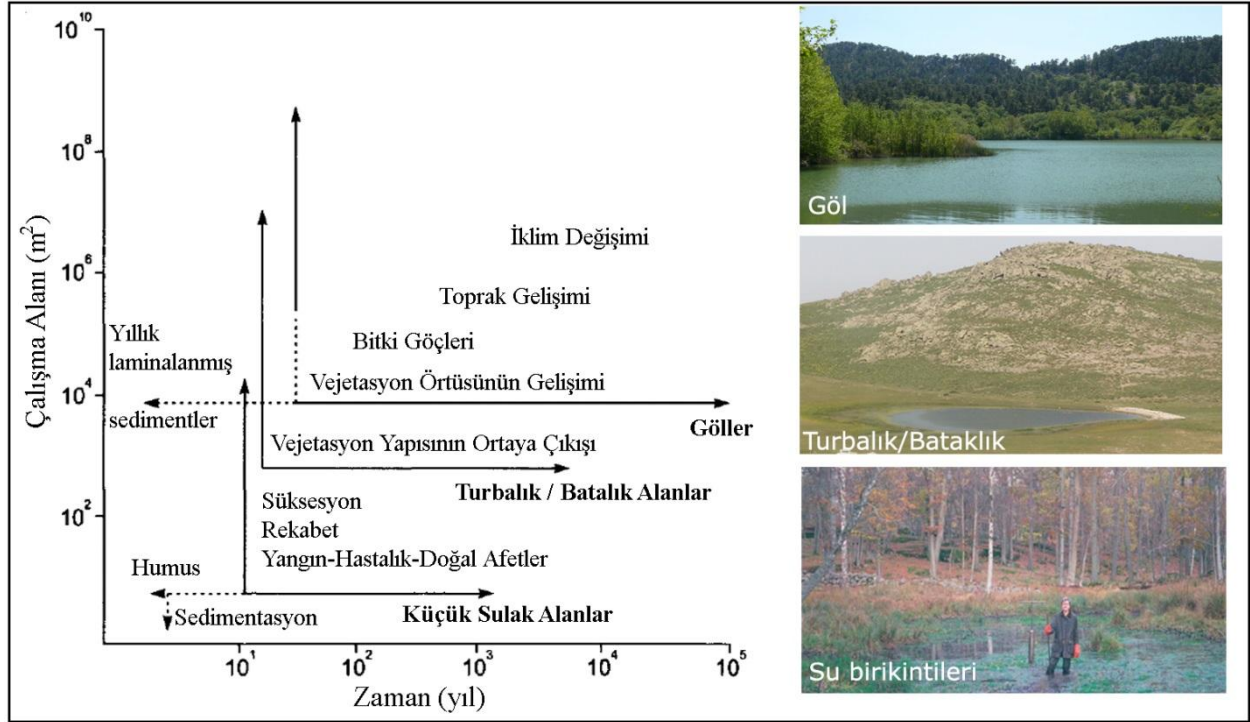
Polen Diyagramlarının Değerlendirilmesi

Polen analizlerinden yararlanılarak üretilen polen diyagramları ile çalışma yapılan alanda farklı zaman dilimlerinde hangi bitki türlerinin var olduğu, bu bitki türlerinin bulunma oranları ve değişim değerleri, ağaç ya da otsu bitkilerin vejetasyon örtüsünde ne kadar yer kapladığı bilgisine ulaşılabilmektedir. Polen analizlerinin paleovejetasyon çalışmalarında kullanılması amaç edinildiğinde ise, çalışma alanları kendi içerisinde farklı büyüklükteki lokasyonlardan oluşmakta olup bu alanlar yerel, bölgesel ve kıtasal-global ölçekte değişmektedir (Şekil 5).

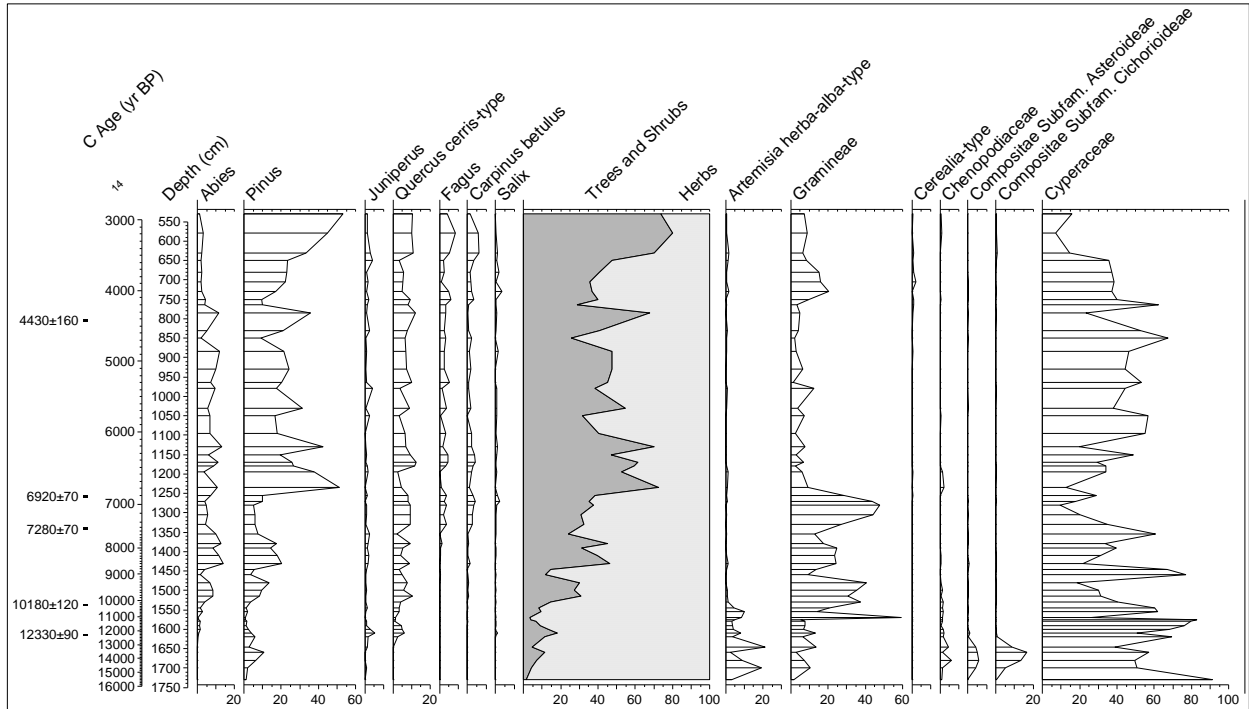
Palinolojik araştırmalar içerisinde yerel ölçekte yürütülen polen analiz çalışmaları su birikintisi niteliğindeki sığ sulak alanlarda yapılmaktadır. Bu tarz çalışmalar daha çok yerel polenlerin tespiti ve kısa dönemli zaman periyotlarını kapsayan bitki örtüsü özelliklerinin belirlenmesi hedeflendiğinde gerçekleştirilmektedir. Bölgesel özelliğe sahip araştırmalar ise geniş alan kaplayan göl ve sulak alanlarda sürdürülen çalışmalardır. Bu çalışma alanlarından elde edilen polen kayıtları, kapsamı itibarıyla yaklaşık 100-150 km^2 'lik bir sahanın polen özelliklerini karakterize edebilmektedir (Şekil 6). Bu sayede de sondaj çalışması yapılan alanın ve yakın çevresinin uzun dönemleri kapsayacak nitelikte bitki türlerinin tespiti, bitki örtüsü değişimi, orman ilerlemesi ve gerilemesi, vejetasyon formasyonlarının yapısının ortaya konulması mümkündür.



Şekil 4. Paleovejetasyon örtüsünün yeniden kurgulanmasında kullanılan polen analizlerinin gerçekleşmesindeki aşamaların şematik özeti ve polen tanelerinin bu süreçte bulunma değerleri (Odgaard, 2007 [34]; Brewer vd., 2007 [35]'den yararlanılarak geliştirilmiştir). **a-** Orta büyüklükteki bir göl alanının çevresinde bulunan vejetasyon örtüsü tarafından üretilen yıllık polen miktarı; **b-** Göl sedimentleri arasında bulunan fosil polen miktarı; **c-** Analiz için alınan kesitteki polen miktarı; **d-** Analiz sırasında sayılan polen miktarı.



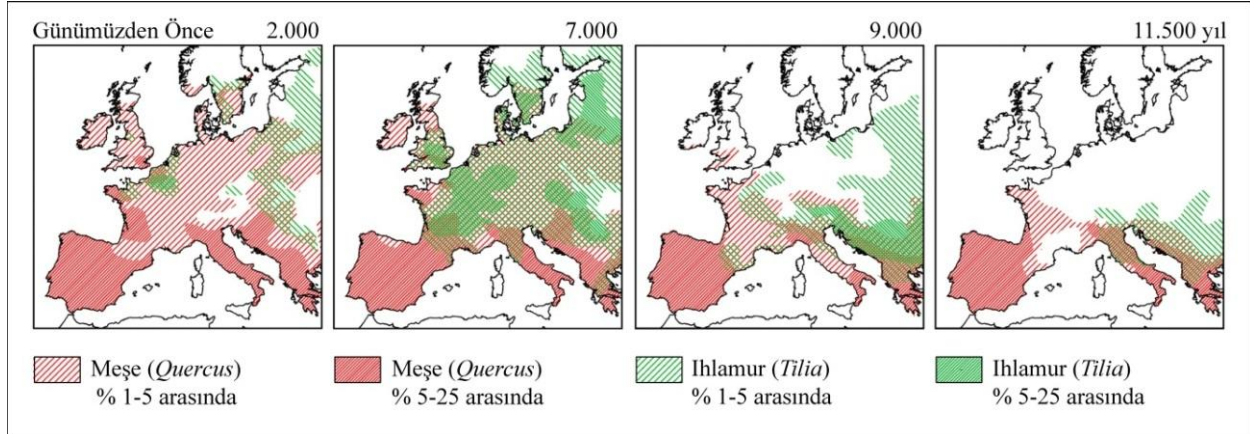
Şekil 5. Çalışma alanlarının ölçeği ve polen analizlerinden elde edilecek bilginin niteliğini gösteren şematik çizim. Uzun dönemli periyotlarda ve geniş alan kaplayan mekânsal ölçekteki bitki örtüsü, iklim çalışmalarında polen analizlerinin yapılabileceği sahalar göller ve sulak alanlar olabilirken, su birikintisi niteliğindeki daha küçük ölçekteki alanlar sınırlı palinolojik bilgileri içermektedir (Bradshaw, 1994 [36]'ten yararlanılarak geliştirilmiştir).



Şekil 6. Batı Karadeniz bölümünde bulunan Yeniçağa Gölü'ne ait özet polen diyagramı, AP (Arboreal pollen; odunsu bitki; ağaç türleri) / NAP (non-arboreal pollen; otsu bitkiler) oranları ve radyokarbon yaşları verilmiştir (Bottema vd., 1993-1994 [37]'ten değiştirilerek yeniden çizilmiştir).

Kıtasa ölçeğe yürütülen çalışmalar ise farklı alanlardan alınan çok sayıda polen kaydının birleştirilmesi ile elde edilen, kıta genelini veya tüm dünya genelini karakterize edebilecek çıkarımsamalara dayanan araştırmalardır. Bu çalışmalar, güvenilir şekilde tarihlendirilmiş ve yoğun bir polen kaydına sahip iseler paleovejetasyon bilgilerini ortaya çıkarmada oldukça başarılı sonuçlar sağlamaktadır (Şekil 7).

Bu çalışmalarda belirli bir zaman aralığı boyunca izopolen eğrileri oluşturulabildiği gibi, bitki örtüsü değişimi, otsu türler, orman varlığı, vejetasyon formasyonları ve paleovejetasyon haritaları da üretilebilmektedir. Nitekim bu tarzda özellikle sahip Geç Glasyal ve Holosen periyotları için Avrupa sınırlarını kapsayacak ölçekte yapılmış pek çok çalışma bulunmaktadır [28-29-30-31].



Şekil 7. Avrupa'da farklı alanlarda yapılmış pek çok palinolojik çalışmanın esas alındığı veri tabanı denetiminde hazırlanmış meşe (*Quercus*) ve ihlamur (*Tilia*) ağaçlarının son 11.500 yıllık dönemde bulunuşu, dağılışı ve değişimi (Giesecke, 2007 [50]'den değiştirilerek tekrar çizilmiştir).

Polen Analizlerinden Elde Edilen Paleoklim Çıkarımları

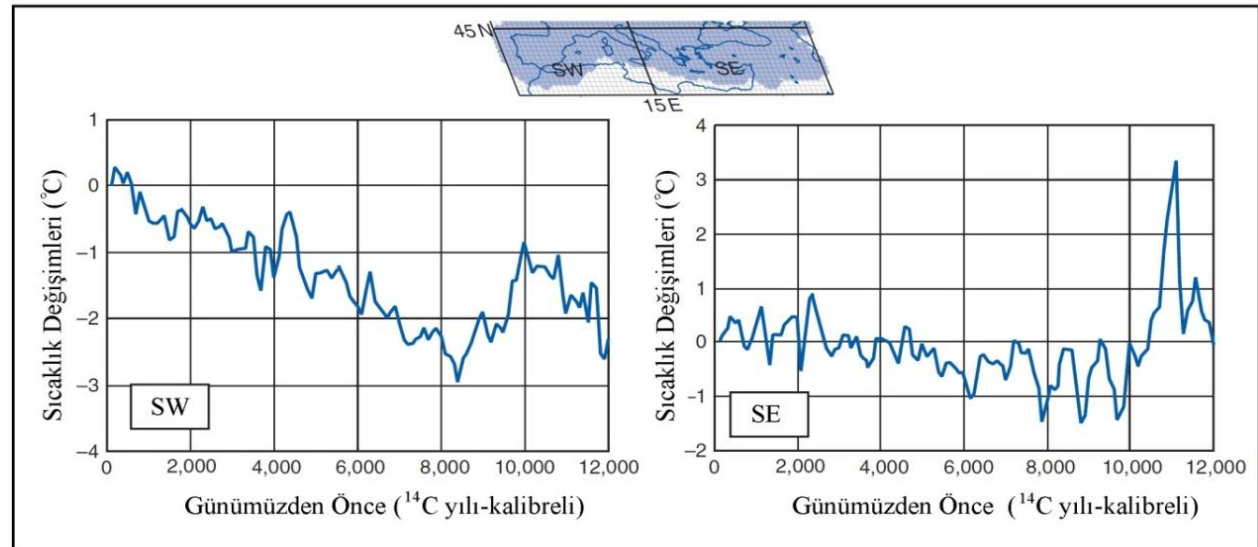
İklim koşulları bitki türlerinin dağılımı ve vejetasyon formasyonlarının oluşumu üzerinde güçlü bir etkiye sahiptir. Bu etkide özellikle yağış miktarı, nemlilik koşulları ve sıcaklık değerlerinin önemli bir payı bulunmaktadır. Kuvaterner'de yaşanan iklimsel değişiklikler bitki örtüsü yapısını ve vejetasyon formasyonlarının dağılımını doğrudan etkilemiştir. Dolayısıyla büyük oranda iklim koşulları altında şekillenen bitki örtüsü yeryüzünde iklimin bir karşılığı olarak yerini almaktadır. Bu nedenle palinolojik çalışmalar ile elde edilen geçmiş dönemlere ait polen verisi ve bu veriden oluşturulan vejetasyon rekonstrüksiyonu iklim değişikliklerinin belirlenmesinde önemli bir kayıt görevi görmektedir.

Son yıllarda Kuvaterner dönemine ait iklim değişimlerinin süresini, mekanizmasını ve etkilerini belirlemek için polen analizlerinden büyük oranda yararlanılmaktadır. Nitekim palinolojik çalışmalarda polen diyagramlarındaki bitki türlerine ait verinin iklimsel değerler olarak karşılığının oluşturulması için farklı yaklaşımlar ve metotlar, 1940'lı yıllardan beri geliştirilmektedir [32]. Bu çalışmalar sonucu belirlenen ortak hedef, günümüz bitki türlerinin iklim isteklerinin neler olduğunun belirlenmesi ve

bu bilgilerin fosil polen kayıtlarına aktarımının yapılmasıdır. Bu açıdan dünyanın farklı bölgelerini kapsayan ve birbiri ile benzer metotları olan çok sayıda çalışma bulunmaktadır [1-8-21-33].

Bunlar arasında Avrupa ve Ortadoğu ölçeğinde gerçekleştirilen ve Türkiye'nin de içerisinde yer aldığı birkaç çalışmada [29-38-39-40-41-42]) bazı önemli bitki taksonları (*Pinus*, *Quercus*, *Fagus* vb.) ön plana çıkmaktadır. Yapılan bu çalışmalarda polen kayıtları kullanılarak sıcaklık, yağış, nemlilik ve güneşlenme gibi iklimsel çıkarımların üretilmesi mümkün olmuştur. Nitekim şekil 8'e bakıldığında bahsi geçen bitki taksonlarının yardımıyla 12.000 yıl öncesinden günümüze kadar olan dönemde sıcaklık koşullarında yaşanan anomaliler belirlenmiştir.

Bu grafik Türkiye'nin de yer aldığı Avrupa sınırları içerisinde Akdeniz kıyısı boyunca çok sayıda polen analizinin bir araya getirilmesi ve bu veri içerisinde iklimsel karşılığı belirlenmiş olan türlerin bulunma oranlarının tespiti sonucunda elde edilmiştir. Ayrıca Kuvaterner dönemi içerisinde özellikle son 30 bin yıllık dönemi kapsayan periyotta meydana gelen sıcaklık, yağış ve nemlilik değişikliklerine ilişkin çok sayıda çalışma yapılmıştır [17-39-43-44-45-46-47-48-49].



Şekil 8. Polen kayıtlarına göre Holosen dönemi boyunca Avrupa'nın Akdeniz'e kıyısı olan bölgelerindeki yıllık sıcaklık anomalilerinin değişimi [35].

Polen Analizlerinin Biyo-Arkeoloji ve Paleo-Arazi Kullanımı Çalışmalarında Kullanımı

Polen analizlerine ait veriler yalnızca bitki örtüsü ve iklim değişiklikleri ile sınırlı olmayıp aynı zamanda insanlığın doğal ortam üzerindeki faaliyetleri hakkında da önemli bilgiler içermektedir. Özellikle son 10 bin yıllık dönemde bitki örtüsü üzerinde insan etkisinin hangi boyutta olduğu, tarımsal faaliyetlerin kaydı ve paleo-arazi kullanım biçimi gibi konularda polen kayıtları önemli bir veri kaynağıdır. Bu konuda tahılların kültüre alındığını belirten ve doğal ortam üzerindeki insan etkisini dünyada ilk kez tanımlayan polen çalışması Iversen'e (1941) [51] aittir. Daha sonraki yıllarda, toplayıcılığı yapılan bitkiler, kültüre alınan türler ve alanlar, insan etkisiyle değişen vejetasyon paterni ve insan aktivitelerinin nelerden oluştuğunu konu alan çalışmaların sayısı giderek artmıştır [6-8-12].

Palinolojik çalışmalar ile her ne kadar son 10 bin yıllık dönemde toplayıcılığı ve tarımı yapılan bitki türlerini tespit etmek mümkün olsa da bu dönemde gerçekleşen tarımsal faaliyetlerin delillerini ayırt etmek oldukça zordur. Çünkü Holosen dönemi başlarında vejetasyon formasyonlarının henüz stabilleşmemesi ve bu dönemin ilk Neolitik yerleşmelerle aynı zaman dilimini kapsamaması tarımsal faaliyetlerin izlerini ortadan büyük oranda kaldırmıştır. Bununla birlikte günümüzden yaklaşık 3500 yıl öncesinde özellikle Akdeniz Havzası'nda görülen dünyadaki ilk yoğun tarımsal faaliyetler ve arazi kullanımına dair bilgiler İspanya [52], Fransa [53], İtalya [54], Yunanistan ve Türkiye [55-56] gibi ülkelerde yapılan polen analiz çalışmaları ile büyük oranda aydınlatılmaktadır. Bu dönemde; ormanlık alanların açılması, bataklık alanların drene edilmesi ve benzer şekillerdeki tahrip büyük oranda polen kayıtları ile tespit edilebilmektedir. Son 500 yıllık dönemde ise kompleks tarımsal toplumların sayılarının artması ve insanın doğal alanlar üzerinde önemli izler bırakması, palinolojik çalışmalar ile bu izlerin daha net ortaya çıkartılmasına imkan tanımıştır.

Polen Analizlerinin Güçlü ve Zayıf Yanları

Bitki örtüsü değişimleri, iklim değişiklikleri ve bu değişikliklerin sonucu olarak yaşanan büyük ortamsal değişimlerin belirlendiği polen kayıtlarına dair literatür değerlendirildiğinde polen analizlerinin bazı avantaj ve dezavantajlara sahip olduğu görülmektedir.

Polen kayıtlarının avantajları

- Polen analizleri sondaj örneğinin temin edildiği alanın ve yakın çevresinin bitki örtüsü ve vejetasyon formasyonunun tespitine imkan verir.

- Polen analizleri ile entegreli gerçekleştirilen yaşlandırma çalışmaları ile bitki örtüsünün tür düzeyinde zamansal ve mekânsal değişiminin belirlenmesine olanak sağlar.

- Polen analizlerinin yapılabilmesi için karot örneklerinden küçük miktarlarda sediment örneğinin temin edilmesi yeterli olmaktadır.

- Polen analizleri ile çok uzun bir zaman dilimini kapsayacak nitelikte veri kaydı oluşturulabildiği için, iklim değişiklikleri ve bu değişikliklerin sonucu olarak yaşanan büyük ortamsal değişimler tespit edilmektedir.

- Polenler doğal ortam üzerindeki insan etkisi (arazi kullanımı), bu etkiye bağlı değişiklikler ve değişikliğe ait mekanizmaların belirlenmesinde en önemli veri kaynağıdır.

- Dünyanın hemen her bölgesinde polen analizlerinin yapılabileceği pek çok sulak alan göl, ve denizin bulunması bu tarz çalışmaların farklı bölgelerde ve ortamsal koşullarda yapılabilmesine imkan sağlamaktadır.

- Polen analizlerinin gerçekleştirilmesine yönelik oluşturulmuş güçlü ve zengin bir literatür birikimi mevcuttur.

- Polen kayıtlarının ortak bir veri tabanının olması bu çalışmaların alansal, bölgesel, kıtasal ve küresel ölçekte birbirleriyle kıyaslanmasına ve birlikte değerlendirilmesine olanak tanımaktadır.

Polen kayıtlarının dezavantajları;

- Bitki türlerinin polen üretim miktarları, dağılımı ve sedimantasyonu arasında büyük farklar bulunmaktadır. Bir çam ağacına (*Pinus sylvestris*) ait tek bir erkek kozalakta ~5 milyon, erkek kozalakta yer alan her bir mikrosporofil'de ise ~158 bin polen üretilmektedir [20]. Bu rakam huş (*Betula verrucosa*) ağacına ait bir çiçek kümesinde ~20 bin, kayında (*Fagus sylvatica*) ~12 bin, meşede (*Quercus robur*) ~41 bin, ıhlamurda (*Tilia cordata*) ise ~44 bindir [20]. Polen üretimindeki bu farklılık polen diyagramlarının yorumlanmasında önemli karışıklıklara ve hatalara neden olabilmektedir.

- Polen analizleri sırasında polen türlerinin sadece cins ayırımı yapılmaktadır. Örnek olarak şimdiye kadar Türkiye'de gerçekleştirilen polen analiz çalışmalarında Anadolu'da doğal olarak yetişen 19 farklı meşe türünden sadece birkaçının polen kayıtlarında tür düzeyinde tespiti yapılabilmektedir. Bu yüzden özellikle iklimsel rekonstrüksiyon çalışmalarında bir kısıtlılığa neden olmaktadır.

- Polen analizlerinde genel olarak polen konsantrasyonlarının sayılmamaları polen diyagramlarının yorumlanmasında hatalara yol açabilmektedir. Özellikle çam türlerine ait polenlerin yüksek uçuculuk kabiliyetleri orman varlığı açısından zayıf olan bir bölgenin ormanlık olarak değerlendirilmesine neden olabilmektedir.

- Uzun dönemleri (5 bin yıldan daha fazla) kapsayan çalışmalarda polen diyagramlarındaki çözünürlüğün azalması iklimsel döngüler arasındaki geçişlerin daha net belirlenmesini engellemektedir.

- Polenlerin üretildiği bitki türlerinin günümüz doğal ortam koşullarına bağlı olarak sahip oldukları iklimsel koşulların tam olarak belirlenememesi, fosil polenler yardımıyla oluşturulan iklimsel rekonstrüksiyonlarda elde edilen bilgilerin nicel olmasına yol açmaktadır.

Polen Çalışmalarında Yeni Gelişmeler

Günümüz bilim dünyasındaki palinolojik araştırmalarda, vejetasyon örtüsü ile iklim koşulları arasındaki ilişkilerin tespiti ve bu ilişkinin geçmişten günümüze kadar olan süreçte nasıl şekillendiğine dair açıklamalar için birçok model geliştirilmiştir. Biyomizasyon metodu olarak adlandırılan bu çalışmalarda oldukça yaygın olarak kullanılan veri, temel olarak polen kayıtlarına dayanmaktadır. Bu çalışmalarda bitkiler geniş bir sınıflamada; yapı (ağaç/çalı), yaprak şekli (geniş-iğne yapraklı) fenolojik durum (her daim yeşil/yapraklarını döken) ve iklim adaptasyonlarına göre sınıflandırılmaktadır. Bu modelleme çalışmalarında özellikle doğal ortamı yansıtması açısından ana iklimik faktörlerden; kış dönemi ortalama düşük sıcaklığı, vejetasyon dönemi sıcaklık isteği ve kuraklık toleransı belirlenmektedir. Böylelikle doğal ortamda meydana gelen iklim parametrelerindeki değişimler polen kayıtlarıyla tespit edilmektedir.

Polen analizlerinde önemli ve yeni sayılabilecek bir diğer konu ise, günümüz bitki örtüsüne ait orman ve step formasyonlarının güncel polen üretimi, yayılması ve sedimantasyon süreçlerinin tespitine yönelik çalışmalardır. Bu çalışmalardaki temel hedef ise, fosil polen kayıtlarının daha doğru değerlendirilmesidir. Böylelikle yakın zamanda güncel polenlere ait ortamsal modelleme oluşturulması,

biyomizasyon metoduyla yapılacak rekonstrüksiyonlar, polen karotlarının doğru ve detaylı tarihlendirilmesi, sediment ardalanmalarına uyumu ve Kuvaterner global iklim döngüleriyle ilişkilendirilmesi paleocoğrafik değişimlerin tespiti açısından önemli gelişmeler olarak kaydedilecektir.

Sonuç olarak; palinolojik çalışmalarda paleocoğrafik değişimlerin daha doğru belirlenebilmesi için daha fazla sayıda ve farklı alanlara ait polen analizlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yapılacak olan yeni çalışmalar, polen kayıtlarına dair mekânsal çözünürlüğün artırılması ve ortamsal değişikliklerin daha sağlıklı gerçekleştirilmesi açısından önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

[1] R.S. Bradley, Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary. *Academic Press*, San Diego, (1999), 610 pp.

[2] J.J. Love, M.J.C. Walker, Reconstructing Quaternary Environments, (1997), *Prentice Hall*, England.

[3] N. Roberts, The Holocene: an environmental history, (2002), *Blackwell*, Oxford. 2nd edition.

[4] W.J. Burroughs, Climate Change in Prehistory The End of the Reign of Chaos, Cambridge: *Cambridge University Press*, (2005).

[5] P. D. Moore, J. A. Webb, M. E. Collinson, Pollen Analysis, (1991) *Blackwell*, Oxford.

[6] M.J. Gaillard, Archaeological Applications, *Encyclopedia of Quaternary Science*, Elsevier, (2007), 2570-2595.

[7] H. Seppä, Pollen Analysis Principles, *Encyclopedia of Quaternary Science*, Elsevier, (2007), 2486-2497.

[8] S.A. Elias, *Encyclopedia of Quaternary Science*. Elsevier, (2007), pp 2597-2605.

[9] K. Fægri, J. Iversen, (1975). Textbook of Pollen Analysis, 3rd ed., *New York*, Hafner.

[10] H.A. Hyde, D.W. Williams, Right word, Pollen Analysis Circular, (1944), 8. 6.

[11] B. E. Berglund, Vegetation and human influence in South Scandinavia during Prehistoric time. In Impact of Man on the Scandinavian Landscape During the Last Post-Glacial (B. E. Berglund, Ed.) (Oikos Supplement 12) (1969), pp. 9–28.

[12] L. Dumayne-Peaty, Human Impact on Vegetation, In: Brothwell, D.R. and Pollard A.M., (Eds) Handbook of Archaeological Sciences, *John Willey & Sons, Ltd*, (2001), pp. 379.

[13] H. Tauber, Differential pollen dispersion and the interpretation of pollen diagrams. *Danm Geol Unders IIR* (1965), 89:1–69.

[14] H. Tauber, A static non-overload pollen collector. *New Phytologist* (1974), 73, 359–369.

[15] H. Tauber, Investigations of aerial pollen transport in a forested area. *Dansk Botanisk Arkiv* (1977), 32, 1–121.

[16] I.C. Prentice, W. Cramer, S.P. Harrison, R. Leemans, R.A. Monserud, A.M. Solomon, A global biome model based on plant physiology and dominance, soil properties and climate, *Journal of Biogeography* (1992), 19, 117–134.

[17] S.A. Robinson, S. Black, B.W. Sellwood, P.J. Valdes, A review of palaeoclimates and palaeoenvironments in the Levant and Eastern Mediterranean from 25,000 to 5000 years BP: setting the environmental background for the evolution of human civilization, *Quaternary Science Reviews* (2006), 25, 1517-1541.

[18] A.S.L. Rodrigues, J.D. Pilgrim, J.L. Lamoreaux, M. Hoffmann, T.M. Brooks, The value of the IUCN Red List for conservation. *Trends in Ecology & Evolution* 21(2): (2006), 71-76. Version 2010.1 (updated 11 March 2010).

[19] M. Hesse, H. Halbritter, R. Zetter, M. Weber, R. Buchner, A. Frosch-Radivo, S. Ulrich, Pollen Terminology. An Illustrated Handbook, *Springer-Verlag/Wien*, Austria, (2009).

[20] A. Traverse, Paleopalynology, second edition, *Springer*, Pennsylvania, USA, (2007).

[21] J.H.B. Birks, H.H. Birks, *Quaternary palaeoecology*, Edward Arnold London, (1980).

[22] G. Jacobson, R. H. W. Bradshaw, The selection of sites for paleovegetational studies. *Quaternary Research* (1981), 16,80–96.

[23] I.C. Prentice, Records of vegetation in time and space: The principles of pollen analysis. In *Vegetation History* (B. Huntley and T. Webb, III, Eds.), (1988), pp. 17–42. Kluwer, Dordrecht.

[24] S. Sugita, A model of pollen source area for an entire lake surface. *Quaternary Research*, (1993), 39, 239–244.

[25] S. Sugita, Pollen representation of vegetation in Quaternary sediments: Theory and method in patchy vegetation. *Journal of Ecology*, (1994), 82, 881–897.

[26] M. J. Bunting, (2008). Pollen in wetlands: using simulations of pollen dispersal and deposition to better interpret the pollen signal A PolLandCal contribution, *Biodivers Conserv*, 17:2079–2096.

[27] K. Fægri, J. Iversen, Textbook of Pollen Analysis. *Wiley*, Chichester, (1991).

[28] B. Huntley, H. J. B. Birks, An Atlas of Past and Present Pollen Maps for Europe 0–13,000 Years Ago. *Cambridge University Press*, Cambridge, (1983).

[29] S. Brewer, R. Cheddadi, J.L. Beaulieu, M. Reille, Data contributors, The spread of deciduous *Quercus* throughout Europe since the last glacial period. *Forest Ecology and Management*, (2002), 156 : 27-48.

[30] W. Tinner, A.F. Lotter, Holocene expansions of *Fagus sylvatica* and *Abies alba* in Central Europe: Where are we after eight decades of debate? *Quaternary Science Reviews*, (2006), 25, 526–549.

[31] P. Tzedakis, Pollen Records, Last Interglacial of Europe, In: Elias SA (ed) *Encyclopedia of Quaternary Science*. Elsevier, (2007), pp 2597-2605.

[32] J. Iversen, *Viscum*, *Hedera* and *Ilex* as climatic indicators. *Geologiska Föreningen Förhandlingar*, (1944), 66, 463–483.

[33] T. Webb III, Is vegetation in equilibrium with climate? How to interpret late-Quaternary pollen data, *Vegetatio*, (1986), 67: 75-91.

[34] B.V. Odgaard, Reconstructing past biodiversity development. In: Elias SA (ed) *Encyclopedia of Quaternary Science*. Elsevier, (2007), pp 2508–2514.

[35] S. Brewer, J. Guiot, D. Barboni, Use of Pollen as Climate Proxies, In: Elias SA (ed) *Encyclopedia of Quaternary Science*. Elsevier, (2007), pp 2497-2508.

[36] R.H.W. Bradshaw, Quaternary terrestrial sediments and spatial scale: the limits to interpretation. In: *Sedimentation of Organic Particles* (A. Traverse, ed.). Cambridge: Cambridge University Press, (1994), 239-252.

[37] S. Bottema, H. Woldring, B. Aytug, 1993-1994 Late Quaternary vegetation history of northern Turkey. *Palaeohistoria*, (1995), 35–36 pp. 13–72.

- [38] COHMAP Members, Climatic Changes of the Last 18,000 Years: Observations and Model Simulations. *Science*, (1988), 241: 1043-1052.
- [39] B.A.S. Davis, S. Brewer, A.C. Stevenson, J. Guiot, Data Contributors, The temperature of Europe during the Holocene reconstructed from pollen data, *Quaternary Science Reviews*, 22, (2003), 1701–1716.
- [40] P. Krebs, M. Conedera, M. Pradella, D. Torriani, M. Felber, W. Tiner, Quaternary refugia of the sweet chestnut (*Castanea sativa* Mill.): an extended palynological approach, *Veget Hist Archaeobot*, (2004), 13:145–160.
- [41] R. Cheddadi G.G. Vendramin, T. Litt, L. François, M. Kageyama, S. Lorentz, J.M. Laurent, J.L. Beaulieu, L. Sadori, A. Jost, D. Lunt, Imprints of glacial refugia in the modern genetic diversity of *Pinus sylvestris*. *Global Ecology and Biogeography*, (2006), 15 : 271-282.
- [42] T. Giesecke, T. Hickler, T. Kunkel, M.T. Sykes, R.H.W. Bradshaw, Towards an understanding of the Holocene distribution of *Fagus sylvatica* L., *Journal of Biogeography* (*J. Biogeogr.*), (2007), 34, 118–131.
- [43] I.C. Prentice, J. Guiot, B. Huntley, D. Jolly, R. Cheddadi, Reconstructing biomes from palaeoecological data: a general method and its application to European pollen data at 0 and 6 ka. *Climate Dynamics*, (1996), 12, 185-194.
- [44] D. Jolly, I.C. Prentice, R. Bonnefille, A. Ballouche, M. Bengo, P. Brenac, G. Buchet, D. Bureny, J.P. Cazet, R. Cheddadi, T. Ector, H. Elenga, S. Elmoutaki, J. Guiot, F. Laarif, H. Lamb, A.M. Lezine, J. Maley, M. Mbenza, O. Peyron, Reille, M. Reynaud-I. Farrera, G. Riollet, J.C. Ritche, E Roche L. Scott, I. Semmanda, H. Straka, M. Umer, E.V. Campo, S. Vilimumbalo, A. Vincens, M. Waller, Biome reconstruction from pollen and plant macrofossil data for Africa and Arabian peninsula at 0 and 6000 years. *Journal of Biogeography*, (1998), 25, 1007-1027.
- [45] H. Elenga, O. Peyron, R. Bonnefille, I.C. Prentice, D. Jolly, R. Cheddadi, J. Guiot, V. Andrieu, S. Bottema, G. Buchet, de J.L. Beaulieu, A.C. Hamilton, J. Maley, R. Marchant, R. Perez-Obiol, M. Reille, G. Riollet, L. Scott, H. Straka, D. Taylor, E. Van Campo, A. Vincens, F. Laarif, H. Jonson, Pollen-based biome reconstruction for Europe and Africa 18 000 years ago. *Journal of Biogeography* (2000), 27, 621–634.
- [46] P.E. Tarasov, V.S. Volkova, T. Webb III, J. Guiot, A.A. Andreev, L.G. Bezusko, T.V. Bezusko, G.V., Bykova, N.I. Dorofeyuk, E.V. Kvavadze, I.M. Osipova, N.K., Panova, D.V., Sevastyanov, Last glacial maximum biomes reconstructed from pollen and plant macrofossil data from northern Eurasia. *Journal of Biogeography*, (2000), 27, 609–620.
- [47] Gachet, S., Brewer, S., Cheddadi, R., Davis, B., Gritti, E., Guiot, J., A probabilistic approach to the use of pollen indicators for plant attributes and biomes: an application to European vegetation at 0 and 6 ka. *Global Ecology and Biogeography*, (2003), 12, 103-118.
- [48] C. Bonfils, N. Noblet-Ducoudre, J. Guiot, P. Bartlein, Some mechanisms of mid-Holocene climate change in Europe, inferred from comparing PMIP models to data, *Climate Dynamics*, (2004), 23: 79–98.
- [49] H. Wu, J. Guiot, S. Brewer, Z. Guo, Climatic changes in Eurasia and Africa at the last glacial maximum and mid-Holocene: reconstruction from pollen data using inverse vegetation modeling. *Climate Dynamics* (2007), 29, 211-229.
- [50] T. Giesecke Changing Plant Distributions, In: Elias SA (ed). *Encyclopedia of Quaternary Science*. Elsevier, (2007), pp 2544-2551.
- [51] J. Iversen, Landnam in Danmarks Stenalder (land Occupation in Denmark's Stone Age). Danmarks Geologiske Undersøgelse II, (1941), 66, 7–68.
- [52] F. Múgica, M. Garcia Anton, H. Sainz Ollero, Vegetation dynamics and human impact in the Sierra de Guadarrama, Central System, Spain, *The Holocene*, (1998), 8, 1pp. 69–82.
- [53] K.E. Behre, The role of man in European vegetation history. *Vegetation History* (eds. B. Huntley & T. Webb III), (1988), pp. 633-672. *Kluwer Academic Publisher*, Dordrecht.
- [54] R. Drescher-Schneider, J.L. Beaulieu, M. Magny, A.V. Walter-Simonnet, G. Bossuet, L. Millet, E. Brugiapaglia, A. Drescher, Vegetation history, climate and human impact over the last 15,000 years at Lago dell'Accesa (Tuscany, Central Italy), *Veget Hist Archaeobot*, (2007), 16:279–299.
- [55] S. Bottema, H. Woldring, Anthropogenic indicators in the pollen record of the Eastern Mediterranean. In: Bottema, S., Entjes-Nieborg, G., van Zeist, W. (Eds.), *Man's Role in the Shaping of the Eastern Mediterranean Landscape*. Balkema, Rotterdam, (1990), pp. 231-264.
- [56] W.V. van Zeist, S. Bottema, Late Quaternary vegetation of the Near East. *Beihefte zum Tübinger Atlas Des Vorderen Orients Reihe A (Naturwissenschaften) Nr. 18*, Dr. Ludwig Reichert Verlag, Wiesbaden, (1991).