

Haziran, 2026

BİYOLOJİ ALANINDA TEORİ VE UYGULAMALAR

EDİTÖR
PROF. DR. FUAT BOZOK

DOI:10.5281/zenodo.21080363

Biyoloji Alanında Teori ve Uygulamalar

Editör

Prof. Dr. Fuat Bozok

İmtiyaz Sahibi
Platanus Publishing®

Editör
Prof. Dr. Fuat Bozok

Kapak & Mizanpaj & Sosyal Medya
Platanus Yayın Grubu

Birinci Basım
Haziran, 2026

Yayımcı Sertifika No
45813

ISBN
978-625-6973-29-0

©copyright
Bu kitabın yayım hakkı Platanus Publishing'e aittir. Kaynak gösterilmeden alıntı yapılamaz, izin alınmadan hiçbir yolla çoğaltılamaz.

Adres: Natoyolu Cad. Fahri Korutürk Mah. 157/B, 06480, Mamak,
Ankara, Türkiye.

Telefon: +90 312 390 1 118
web: www.platanuspublishing.com
e-mail: platanuskita@gmail.com



Platanus Publishing®

İÇİNDEKİLER

BÖLÜM 1..... 5

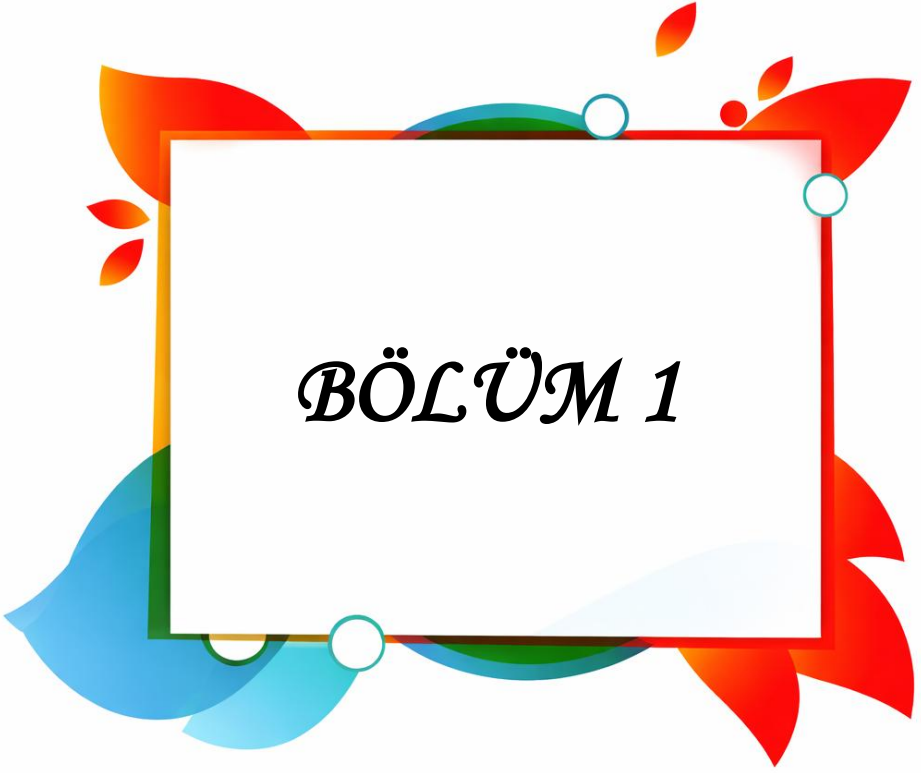
Adli Botanikte Bryofitler: Ekolojik ve Moleküler Temellerle Biyolojik Delil Olarak Değerlendirilmesi

Özlem Yayıntaş

BÖLÜM 2..... 43

The Medical and Veterinary Importance of *Culicoides* Species Worldwide and in Türkiye

Asım Özbek & Milad Afşar & Muhammed Yasul & Zeynep Taş Cengiz



BÖLÜM 1

Adli Botanikte Bryofitler: Ekolojik ve Moleküler Temellerle Biyolojik Delil Olarak Değerlendirilmesi

Özlem Yayıntaş¹

1. Giriş

Adli bilimler, suçun aydınlatılması ve adaletin sağlanması amacıyla doğa bilimleri, tıp, mühendislik ve sosyal bilimlerin yöntemlerini bir araya getiren çok disiplinli bir araştırma alanıdır. Özellikle son birkaç on yılda moleküler biyoloji ve genetikteki gelişmeler, biyolojik delillerin adli soruşturmalardaki önemini belirgin biçimde artırmıştır. Bununla birlikte biyolojik delil kavramı yalnızca insan kaynaklı materyallerle sınırlı değildir; hayvansal, mikrobiyal ve bitkisel kökenli materyaller de olay yeri, fail, mağdur ve çevre arasındaki ilişkinin ortaya konulmasında anlamlı bilgi sağlayabilmektedir. Bitkisel deliller bu çerçevede, adli biyolojinin görece daha az görünür fakat yüksek açıklayıcılık potansiyeline sahip bileşenlerinden birini oluşturmaktadır (Margiotta ve ark.,2015). Bitkisel delillerin bu potansiyeline rağmen, özellikle bryofitlerin adli bilimlerde uzun süre ihmal edildiği ve mevcut uygulamaların büyük ölçüde vasküler bitkiler ve polen temelli analizlerle sınırlı kaldığı son derlemelerde açıkça vurgulanmaktadır (Merkel ve ark., 2025).

Adli botanik, bitkilerin veya bitki kökenli kalıntıların hukuki soruşturmalarda delil olarak değerlendirilmesini konu alan uzmanlık alanıdır. Yaprak, tohum, odun, polen, spor, bitki dokusu ve mikroskobik bitkisel artıklar; olay yerinin karakterizasyonu, bir nesnenin ya da kişinin belirli bir çevre ile ilişkilendirilmesi, alibinin desteklenmesi ya da çürütülmesi ve bazı durumlarda olayın yeri veya zamanı hakkında çıkarım yapılması açısından önemli olabilir. Bitkisel materyalin geniş çevresel dağılımı ve belirli habitatlara özgü tür bileşimleri, adli botanigi olay yeri rekonstrüksiyonunda güçlü bir araç hâline getirmektedir (Margiotta ve ark., 2015). Adli botanigin en yerleşik alt alanlarından biri palinolojidir. Adli palinoloji, polen ve sporların delil niteliğiyle incelenmesine dayanır. Polen ve sporların mikroskobik boyutları, yüksek sayıda üretilmeleri, çevrede yaygın bulunmaları ve yapısal dayanıklılıkları, onları olay yeri ile kişi ya da nesne arasında bağlantı kurulmasında değerli biyolojik izler hâline getirir. Bu

¹ Prof. Dr., Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Tıp Fakültesi, Temel Tıp Bilimleri Bölümü, Tıbbi Biyoloji Anabilim Dalı, Çanakkale, Türkiye,
ORCID ID: 0000-0002-3554-1881

materyallerin giysi, ayakkabı, araç içi yüzeyler, kişisel eşyalar, toprak örnekleri veya insan vücudundan elde edilmesi; özellikle mekânsal eşleştirme ve olayın çevresel bağlamının belirlenmesinde önemli katkılar sunmaktadır (Alotaibi ve ark., 2020). Bununla birlikte geleneksel adli botanik uygulamaları her zaman yeterli ayırt ediciliği sağlayamayabilir. Yaygın bitki türlerinin geniş coğrafi dağılım göstermesi, mevsimsel değişkenlikler, örneklerin parçalanmış veya bozulmuş olması ve morfolojik tanımlamanın uzmanlık gerektirmesi, özellikle mikrohabitat düzeyinde hassas çevresel eşleştirmelerde sınırlılık yaratmaktadır. Bu nedenle son yıllarda, daha özgül habitat sinyali taşıyan ve parçalı materyalde dahi değerlendirilebilen yeni biyolojik belirteçlere ve moleküler temelli tanımlama yaklaşımlarına yönelim artmıştır (Letsiou ve ark., 2024). Bu noktada bryofitler, yani karayosunları, ciğerotları ve boynuzotları, adli botanik açısından dikkat çekici bir grup olarak öne çıkmaktadır. Bryofitler; damarsız yapıları, çevresel koşullara doğrudan maruz kalmaları, nem ve substrat özelliklerine duyarlı yaşam stratejileri ve çoğu zaman mikrohabitat düzeyinde seçici dağılım göstermeleri nedeniyle çevresel eşleştirme çalışmalarında yüksek potansiyel taşımaktadır (Şekil 1). Ayrıca bryofit parçalarının ayakkabı ve giysi yüzeylerine kolayca tutunabilmesi, bu materyalin olay yeri ile birey arasındaki ilişkiyi ortaya koyabilecek iz delil niteliği kazanmasına olanak sağlar. Nitekim bryofitlerin adli incelemelerde yararlı olabileceği ve özellikle ayakkabı gibi yüzeylerde olay yeri bağlantısını destekleyebileceği bildirilmiştir (Margiotta ve ark., 2015).



Şekil 1. Bryophytes (google, görseller).

Bryofitlerin adli değerini artıran temel unsurlardan biri de DNA temelli tanımlama olanaklarıdır. Morfolojik olarak eksik, parçalanmış veya steril örneklerde klasik teşhis çoğu zaman güçleşirken, DNA barkodlama ve diğer moleküler yaklaşımlar tür ya da yakın takson düzeyinde daha güvenilir tanımlama yapabilmektedir. Bitkilerde hayvanlardaki gibi tek bir evrensel barkod bölgesi bulunmamakla birlikte, **rbcL**, **matK** ve **ITS2** gibi bölgeler tanımlama çalışmalarında yaygın biçimde kullanılmaktadır. Bryofitlerde de barkod bölgelerinin ayırt edicilik gücünü değerlendiren çalışmalar mevcuttur; özellikle bazı ciğerotu gruplarında farklı lokusların birlikte kullanımının teşhis başarısını artırabildiği gösterilmiştir (Yodphaka ve ark., 2018; Letsiou ve ark., 2024).

Adli bilimlerde insan dışı biyolojik materyalin DNA analizi giderek daha fazla önem kazanmasına karşın, bitkisel deliller ve özellikle bryofitler hâlen sınırlı düzeyde kullanılmaktadır. Bunun başlıca nedenleri arasında uzman eksikliği, standart protokollerin azlığı, referans veri tabanlarının yetersizliği ve bitkisel delillerin olay yeri incelemelerinde çoğu zaman ikincil planda kalması sayılabilir. Buna rağmen mevcut literatür, bitkisel ve briyofit temelli kanıtların olay yeri rekonstrüksiyonu, tür teşhisi ve mekânsal ilişkilendirme açısından önemli katkılar sunabileceğini göstermektedir (Margiotta ve ark., 2015; Alotaibi ve ark., 2020).

Bu bölümün amacı, briyofitlerin adli botanikte biyolojik delil olarak kullanım potansiyelini güncel literatür ışığında tartışmak; özellikle briyofit temelli DNA analizlerinin adli eşleştirme süreçlerine sağlayabileceği katkıları ortaya koymak ve bu organizmaların olay yeri rekonstrüksiyonundaki yerini kavramsal ve uygulamalı boyutlarıyla değerlendirmektir (şekil 2).



şekil 2. Briyofit temelli kanıtlar

2. Briyofitlerin Temel Biyolojik ve Ekolojik Özellikleri

2.1. Taksonomik Konum ve Çeşitlilik

Bryofitler, kara bitkilerinin erken evrimsel kollarından birini temsil eden, damarsız ve embriyofit özellik taşıyan bitkilerdir. Güncel sınıflandırmada bu grup genel olarak üç ana soy altında ele alınmaktadır: Bryophyta (karayosunları), Marchantiophyta (ciğerotları) ve Anthocerotophyta (boynuzotları). Tür sayıları kullanılan taksonomik çerçeveye ve revizyonların güncelliğine göre değişebilmekle birlikte, bryofitlerin dünya genelinde yaklaşık 25.000 türle temsil edildiği; bunun içinde ciğerotları ve boynuzotları için küresel ölçekte 7.486 kabul edilmiş tür bildirildiği kabul edilmektedir (Söderström ve ark., 2016; Kpetikou ve ark., 2025).

Briyofitlerin dağılımı yalnızca geniş biyocoğrafik kuşaklarla açıklanamaz; bu grup çoğu durumda çok daha ince ölçekli çevresel filtrelerle yanıt verir. Nitekim güncel ekolojik çalışmalar, bryofit topluluklarının yalnızca iklim ve yükselti gibi makro ölçekteki değişkenlerden değil, yerel ölçekte ışık, nem, gölgeleme, yüzey pürüzlülüğü ve substrat kimyası gibi faktörlerden de güçlü biçimde etkilendiğini göstermektedir (Monteiro ve ark., 2023; Shao ve ark., 2023). Bu özellik, briyofitleri adli botanik bakımından sıradan bitkisel izlerden daha yüksek çözünürlüklü çevresel göstergeler hâline getirmektedir.

Türkiye, üç fitocoğrafik bölgenin kesişiminde yer alması, kısa mesafelerde belirgin topoğrafik ve iklimsel değişkenlik göstermesi ve çok sayıda farklı kayaç, orman ve nem rejimini bir arada barındırması nedeniyle bryofit çeşitliliği açısından dikkat çekici bir ülkedir. Yakın tarihli bir değerlendirmede Türkiye briyoflorasının 1244 taksondan oluştuğu; bunların 215'inin ciğerotu, 1025'inin karayosunu ve 4'ünün boynuzotu olduğu bildirilmiştir. Aynı çalışmada, Türkiye'de endemizm oranının görece düşük olmakla birlikte belirli taksonlar ve habitatlar bakımından ayırt edici floristik örüntüler sunduğu vurgulanmıştır (Abay ve ark., 2025). Ayrıca 2025 tarihli güncel kontrol listesi, yalnızca ciğerotları ve boynuzotları için 219 takson bildirmekte ve son yıllarda yeni tür ile kare kayıtlarının eklenmeye devam ettiğini göstermektedir (Yücel ve ark., 2025).

2.2. Yaşam Döngüsü ve Morfolojik Özellikler

Bryofitlerin yaşam döngüsü, gametofit evrenin baskın olduğu bir biyolojik organizasyona sahiptir. Sporofit yapı, gametofite bağımlı gelişir ve çoğu türde kısa ömürlüdür. Gerçek kök, ksilem ve floem gibi iletim dokularından yoksun olmaları nedeniyle suyu ve çözünmüş maddeleri büyük ölçüde tüm yüzeyleri boyunca absorbe ederler. Bu fizyolojik özellik, briyofitleri çevresel değişimlere karşı son derece duyarlı kılar; aynı zamanda bulundukları yüzeyin mikro-çevresel karakterini doğrudan yansıtmalarına neden olur (Shao ve ark., 2023; Su ve ark., 2025).

Adli açıdan bakıldığında, briyofitlerin küçük boyutlu, hafif ve çoğu zaman lifsi ya da yastıksı yapıda olmaları önemli bir avantaj sağlar. Bu organizmalar ayakkabı tabanlarına, giysi liflerine, araç lastiklerine, çanta yüzeylerine ve toprakla temas eden başka materyallere kolaylıkla tutunabilir. Üstelik birçok olguda bu tutunma yalnızca mekanik bir kontaminasyon değil, bulunduğu habitatın özgül çevresel imzasını da taşıyan biyolojik bir iz anlamına gelir. Güncel adli derlemeler, briyofitlerin adli bilimlerde hâlâ yeterince kullanılmadığını; buna karşın yaygınlıkları, dayanıklılıkları ve olay yeri bağlantısı kurma kapasiteleri nedeniyle önemli bir delil grubu oluşturabileceklerini belirtmektedir (Merkel ve ark., 2025).

Bryofitlerin delil değeri yalnızca fiziksel taşınabilirliklerinden ibaret değildir. Parçalanmış, steril ya da morfolojik olarak tanınması güç örneklerde bile genetik analiz yapılabilmesi, bu materyalin klasik adli botanikten moleküler adli botaniğe geçişte daha işlevsel hâle gelmesini sağlamaktadır. **Non-human forensic genetics** alanındaki güncel değerlendirmeler, özellikle parçalanmış, az miktardaki ya da bozunmuş bitkisel materyalde moleküler yöntemlerin morfolojik tanımlamaya göre belirgin üstünlük sağladığını vurgulamaktadır (Corradini et al., 2024). Bu bağlamda bryofitler, olay yeri ile kişi veya nesne arasındaki ilişkinin yalnızca “**bitkisel iz varlığı**” üzerinden değil, tür düzeyine yakın tanımlamalar yoluyla daha güçlü biçimde tartışılmasına imkân verebilir.

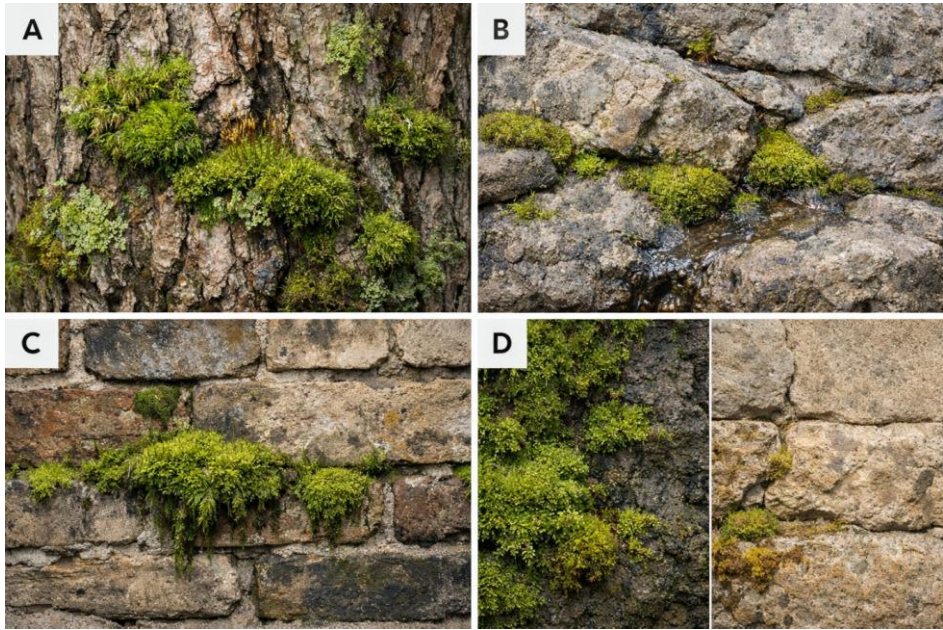
2.3. Ekolojik Nişler ve Habitat Spesifitesi

Bryofitlerin adli bilimler bakımından en güçlü yönlerinden biri, çoğu vasküler bitkiye kıyasla daha dar ekolojik tolerans aralıklarına sahip olmalarıdır. Kök sistemlerinin bulunmaması ve su-mineral alımının doğrudan yüzey üzerinden gerçekleşmesi nedeniyle, bryofitler makrohabitatı değil çoğu zaman doğrudan temas ettikleri mikrohabitatı yansıtır. Başka bir deyişle, bryofit kompozisyonu “orman”, “kayaç alan” ya da “nemli dere kenarı” gibi geniş çevresel kategorilerden çok, bunların içindeki daha dar nişlere karşılık gelebilir. Topluluk düzeyindeki güncel çalışmalar, bryofit düzenlenmesinin farklı ölçeklerde işlediğini; ancak yerel ve mikrohabitat ölçeğinde güçlü çevresel filtrelerin özellikle belirleyici olduğunu göstermektedir (Monteiro ve ark., 2023). Bu, adli eşleştirme açısından kritik bir avantajdır.

Bryofitler çoğu zaman üzerinde yaşadıkları substratın fiziksel ve kimyasal özelliklerine yüksek düzeyde bağımlıdır. Kayalar üzerinde gelişen **saksikol** türler için mineral bileşim, gözeneklilik, su tutma kapasitesi ve özellikle pH belirleyici olabilir. Benzer biçimde **epifitik** bryofitler için kabuk yüzeyinin pH’ı, çatlak derinliği, yüzey dokusu ve su tutma özelliği tür kompozisyonunu etkiler. 2023 tarihli ayrıntılı bir çalışmada, epifitik bryofit çeşitliliğinin kabuk pH’ı, kabuk yarık derinliği ve çeşitli kimyasal özelliklerle anlamlı biçimde ilişkili olduğu gösterilmiştir (Shao ve ark., 2023). Bu bulgu, adli soruşturmada bir ağaç kabuğundan, ahşap yüzeyden ya da belirli bir orman tipinden taşınan briyofit

fragmanlarının yalnızca “orman kökenli” değil, daha özgül habitat ilişkileri taşıyabileceğini düşündürmektedir. Ev sahibi ağaç türüne bağlı farklılaşma da aynı ölçüde önemlidir. Güncel saha verileri, epifitik briyofitlerin belirli ağaç türlerinde daha yüksek temsil edildiğini, bunun hem barkın kimyasal-fiziksel özellikleri hem de ışık ve nem rejimiyle ilişkili olduğunu göstermektedir (Tie ve ark., 2023; Wysocki ve ark., 2024). Dolayısıyla, bir giysi ya da ayakkabı üzerinde bulunan epifitik briyofit topluluğu, yalnızca “ağaç teması”nı değil, kimi zaman iğne yapraklı-geniş yapraklı ayrımı veya belirli orman kompozisyonları hakkında da yardımcı bilgi sunabilir.

Terrikol briyofitlerde ise toprağın tekstürü, organik madde düzeyi, nem rejimi, sıkışma derecesi ve insan etkisi belirleyici olabilir. Bu nedenle briyofitler, bozulmuş toprak yüzeyleri, yangın sonrası açık alanlar, yol kenarları, rutubetli duvar dipleri, su sızıntısı alanları veya gölgeli yapı yüzeyleri gibi küçük ama adli açıdan kritik nişleri ayırt etmeye yardımcı olabilir. Nitekim duvar gibi yapay yüzeylerde bile bryofit topluluklarının mikrohabitat özelliklerine göre anlamlı farklılaşma gösterebildiği bildirilmiştir; bu da doğal habitatların yanı sıra insan yapımı yüzeylerin de adli bryoloji açısından dikkate alınması gerektiğini göstermektedir (Duan ve ark., 2023) (Şekil 3).



Şekil 3. Bryofitlerde habitat spesifitesi ve mikrohabitat duyarlılığının adli botanik açısından önemi. (A) Ağaç kabuğu üzerinde gelişen epifitik briyofitler, kabuk pH’ı, yüzey dokusu, yarık derinliği ve su tutma özelliklerine bağlı habitat seçiciliğini yansıtır. (B) Kaya yüzeyi üzerinde gelişen saksikol briyofitler, substratın mineralojik bileşimi, gözenekliliği ve nem tutma kapasitesiyle ilişkili dağılım örüntülerini temsil eder. (C) Duvar, taş yapı ve nemli yapay yüzeylerde gelişen bryofit toplulukları, insan yapımı mikrohabitatların da adli açıdan ayırt edici çevresel bilgi taşıyabileceğini göstermektedir.

(D) Aynı alan içindeki gölgelenme, nemlilik, bakı ve yüzey maruziyeti farklılıklarına bağlı mikroklimsel değişimler, bryofitlerin santimetre–desimetre ölçeğinde dahi farklılaşabildiğini ortaya koymaktadır. Bu özellikler, bryofitleri olay yeri ile kişi, eşya veya araç arasındaki çevresel teması yüksek çözünürlükte değerlendirmeye imkân veren potansiyel botanik iz deliller hâline getirmektedir.

2.4. Mikrohabitat ve Mikroklim Duyarlılığı

Briyofit toplulukları yalnızca substratla değil, santimetre ve desimetre ölçeğinde değişebilen mikroklim koşullarıyla da şekillenir. Orman içi gölgeleme, kuzey-güney bakı farkı, hava sirkülasyonu, su buharı yoğunluğu ve kısa süreli kuruma döngüleri, aynı alan içinde bile farklı bryofit yerleşimlerine yol açabilir. Özellikle epifitik bryofitlerde küçük ölçekli ışık, sıcaklık ve nem farklarının dağılım desenlerini anlamlı biçimde etkilediği gösterilmiştir (Shao ve ark., 2023). Bu nedenle briyofitler, klasik bitkisel delillerden farklı olarak yalnızca bir “bölge”yi değil, o bölgenin içindeki gölgeli duvar yüzeyi, dereye bakan kaya yüzü, ağaç gövdesinin kuzey yanı ya da sürekli nemli yapı cephesi gibi çok daha dar alanları işaret etme potansiyeline sahiptir.

Bu nokta adli yorum için özel önem taşır. Polen verileri çoğu zaman daha geniş bir çevresel arka planı yansıtırken, bryofit fragmanları belirli bir olay yeri mikrohabitatıyla daha yüksek çözünürlüklü bir bağlantı sunabilir. Merkel ve arkadaşlarının 2025 tarihli değerlendirmesi, bryofitlerin özellikle olay yeri ile kişi, eşya ya da araç arasında bağ kurmada göz ardı edilmiş ama güçlü bir kaynak olduğunu vurgulamaktadır. Bu değerlendirme, bryofitlerin yalnızca yardımcı bir botanik unsur değil, belirli vakalarda primer çevresel iz delil olarak da düşünülebileceğini ortaya koymaktadır (Merkel ve ark.,2025). **Sonuç olarak;** briyofitlerin habitat spesifitesi, adli botanikte **"genel bir ormanlık alan"** tanımının ötesine geçerek, **"o ormandaki kireçtaşı kayalıklarının kuzey yamacı"** gibi nokta atışı lokasyon tanımlamalarını mümkün kılmaktadır.

3. Adli Botanikte Bitkisel Delillerin Kullanımı

3.1. Adli Botaniğin Tarihsel Gelişimi: Ahşap Anatomisinden Mikroskobik Delillere

Adli botanik, bitki ve bitki kökenli materyallerin hukuksal soruşturmalarda delil olarak değerlendirilmesini konu alan, ancak uygulamada hâlen görece sınırlı kullanılan bir adli bilim alt alanıdır. Bu alan; makroskobik bitki parçalarından polen ve sporlara, odun anatomisinden bitkisel DNA analizine kadar uzanan geniş bir yöntem repertuarını kapsar. Bitkisel deliller; olay yerinin birincil ya da ikincil olup olmadığının değerlendirilmesinde, şüpheli ile mağdur ya da nesne arasında bağlantı kurulmasında, ölüm zamanı ve ölüm koşullarına ilişkin çıkarımlarda ve gömü alanlarının saptanmasında önemli katkılar sağlayabilir (Coyle ve ark., 2005; Kasprzyk, 2023). Adli botaniğin düşünsel temeli, adli bilimlerin kurumsallaşmaya başladığı geç 19. yüzyıla kadar götürülebilir. Hans Gross'un 1893 tarihli kriminalistik el kitabı, suç soruşturmalarda maddi izlerin

sistematiik değerlendirilmesine ilişkin erken çerçevelerden birini sunmuş; sonraki dönemde Edmond Locard'ın değişim ilkesi, çevresel ve biyolojik izlerin kriminal incelemelerdeki onemini daha görünür hâle getirmiştir. Güncel tarihsel değerlendirmeler, bitkisel materyalin suç soruşturmalarında kullanılmasına ilişkin ilk uygulamaların 19. yüzyıl sonu ile 20. yüzyıl başında ortaya çıktığını, ancak bunların uzun süre dağınık ve vaka-temelli kaldığını göstermektedir (Kasprzyk, 2023).

Modern anlamda adli botaniğin görünürlük kazanması ise çoğunlukla yüksek profilli vakalarla ilişkilendirilmektedir. Bu bağlamda, Charles Lindbergh'in bebeğinin kaçırılması ve öldürülmesiyle ilişkili dava, alanın tarihindeki en sık anılan dönüm noktalarından biridir. Olay 1932'de gerçekleşmiş, soruşturma ve sonrasındaki 1935 tarihli dava sürecinde olay yerinde bulunan el yapımı ahşap merdiven ayrıntılı biçimde incelenmiştir. ABD Orman Servisi'nde görev yapan odun teknolojisi ve ahşap anatomisi uzmanı Arthur Koehler, merdivende kullanılan ahşap parçaların anatomik ve yapısal özelliklerini, yıllık halka örüntülerini ve işlenme izlerini karşılaştırarak bunlardan birinin şüpheli Bruno Hauptmann'ın evindeki döşeme tahtasıyla aynı kaynaktan geldiğini göstermiştir. Bu analiz, botanik kökenli materyalin yalnızca yardımcı bir gözlem unsuru değil, mahkemede güçlü bilimsel delil niteliği taşıyabileceğini ortaya koymuştur (Graham, 1997).

Lindbergh davasının önemi yalnızca teknik başarıdan ibaret değildir. Bu vaka, bitkisel materyalin mahkemede kabul edilebilir bilimsel kanıt statüsü kazanmasında sembolik bir eşik oluşturmuştur. Nitekim daha sonraki değerlendirmelerde Koehler'in tanıklığı, botanik delilin adli süreçte uzman görüşüyle temellendirilmesinin klasik örneklerinden biri olarak anılmaktadır (Lane, 1990; Graham, 1997). Bu nedenle adli botaniğin tarihsel gelişimi, yalnızca yeni tekniklerin ortaya çıkışıyla değil, aynı zamanda bu tekniklerin hukuk sistemi içinde meşriyet kazanmasıyla birlikte okunmalıdır.

Takip eden dönemde adli botanik, yalnızca ahşap anatomisi ile sınırlı kalmamış; yaprak, tohum, kabuk, lif, polen, spor, diyatom, alg ve bitkisel dokuların incelendiği daha geniş bir uygulama alanına dnşmştir. Özellikle palinoloji ve mikroskobik bitkisel kalıntı analizi, olay yerinin çevresel bağlamını belirlemede ve şüpheli-olay yeri ilişkisinin test edilmesinde önem kazanmıştır. Yakın dönem derlemeler, adli uzmanların pratikte çoğu zaman bütün bitkilerden ziyade parçalanmış bitki kalıntılarıyla çalıştığını; bu nedenle makroskobik morfoloji, mikroskopi ve moleküler analizlerin birlikte değerlendirilmesinin giderek daha önemli hâle geldiğini vurgulamaktadır (Kasprzyk, 2023; Oliveira ve ark., 2023).

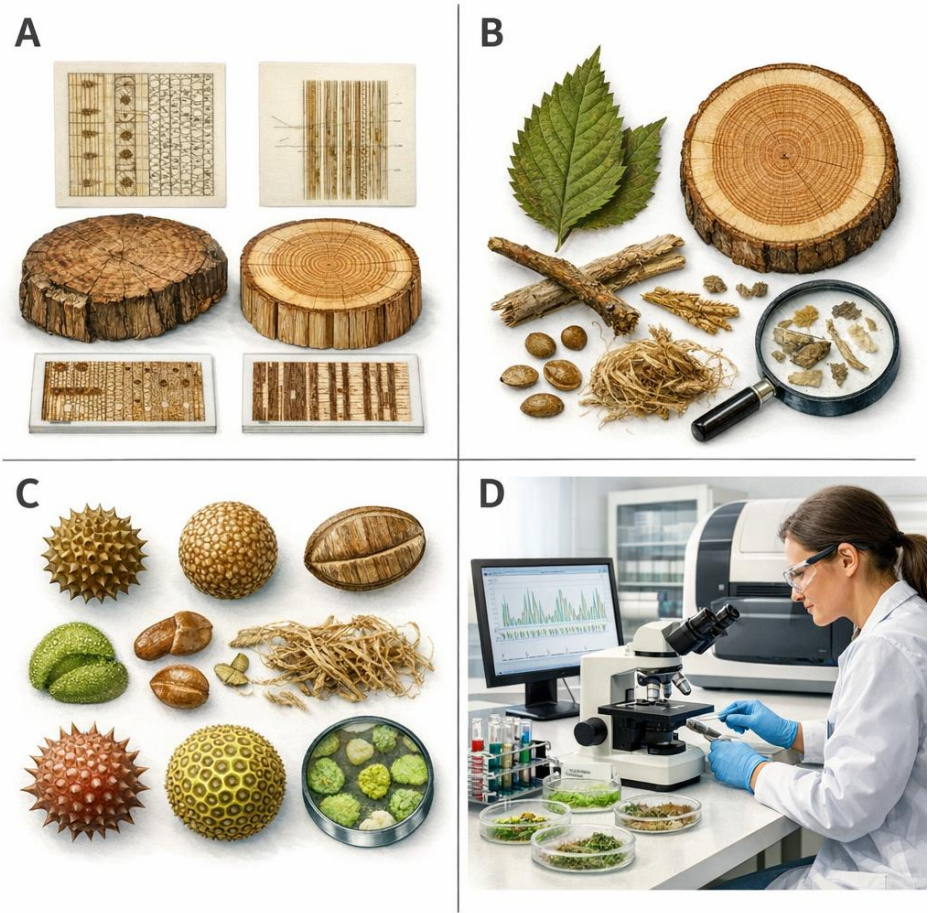
Bu tarihsel gelişim içinde Coyle ve arkadaşlarının çalışması, adli botaniğin modern uygulama alanlarını sistematiik biçimde özetleyen temel metinlerden biri olarak öne çıkmaktadır. Söz konusu derleme, bitkisel delillerin ölüm nedeninin

ve ölüm koşullarının değerlendirilmesi, olay yerinin birincil ya da ikincil niteliğinin tartışılması, gömü alanlarının saptanması ve mevsimsellik temelli yorumların yapılması gibi farklı soruşturma başlıklarında kullanılabileceğini göstermiştir. Aynı çalışma, bitkisel delillerin adli değerinin yalnızca laboratuvar analizine değil; olay yerinde **fark edilmesi, doğru belgelenmesi, uygun biçimde toplanması, referans örneklerle desteklenmesi ve zincirleme delil bütünlüğünün korunmasına** bağlı olduğunu açık biçimde vurgulamaktadır (Coyle ve ark., 2005).

Burada özellikle vurgulanması gereken husus, adli botaniğin tarihsel olarak “gözden kaçan delillerin bilimi” niteliği taşımasıdır. Bitkisel materyal çoğu zaman çevrenin sıradan bir parçası gibi algılandığından olay yeri incelemesinde ihmal edilebilmektedir. Oysa hem klasik hem de güncel literatür, bitkisel delillerin olay yeri ile şüpheli, mağdur ve nesneler arasında yüksek açıklayıcılık gücüne sahip bağlantılar kurabildiğini göstermektedir. Bu nedenle disiplinin tarihsel gelişimi, bir bakıma, botanik materyalin kriminal soruşturmalarda “arka plan gürültüsü” olmaktan çıkıp bilimsel iz delil statüsü kazanmasının tarihidir (Coyle ve ark., 2005; Kasprzyk, 2023).

3.2. Erken Dönem ve Ahşap Anatomisi

Adli botaniğin erken dönem uygulamalarında en görünür alt alanlardan biri odun anatomisi olmuştur. Bunun başlıca nedeni, ahşap materyalin dayanıklı olması, mikroskobik anatomik özellikler taşıması ve köken karşılaştırmasına elverişli yapısal izler sunmasıdır. Ahşap hücre dizilimi, damar yapısı, büyüme halkaları, işlenme izleri ve kesim özellikleri, belirli bir örneğin tür düzeyinde ya da belirli bir kaynağa bağlanmasında kullanılabilecek karakterler sunmaktadır. Bu yönüyle odun anatomisi, adli botaniğin daha sonra gelişecek diğer alt alanları için de “**karşılaştırmalı bitkisel delil**” yaklaşımının erken örneğini oluşturmuştur (Lane, 1990; Graham, 1997). Lindbergh davası bu yaklaşımın en bilinen örneğidir. Arthur Koehler’in yaptığı inceleme, yalnızca kullanılan ahşabın türünü tanımlamaya değil, belirli bir merdiven parçasının şüphelinin evindeki belirli bir tahtayla fiziksel ve anatomik süreklilik gösterdiğini ortaya koymaya yönelmiştir. Bu yönüyle vaka, adli botanikte “sınıf özelliği” ile “kaynak ilişkilendirmesi” arasındaki ayrımın erken ve güçlü bir örneğini sunmaktadır. Daha sonraki kaynaklarda bu dava, odun anatomisinin adli delil olarak kabul edilebilirliğini pekiştiren klasik vaka olarak değerlendirilmiştir (Graham, 1997). Ahşap anatomisine dayalı bu erken uygulamalar, sonraki yıllarda bitkisel delilin yalnızca görünür bitki parçalarıyla sınırlı olmadığını da göstermiştir. Zamanla yaprak fragmanları, lifler, tohum kabukları, polen ve diğer mikroskobik kalıntılar da aynı mantıkla adli yorumun parçası hâline gelmiştir. Böylece adli botanik, tek bir alt yöntemden oluşan dar bir alan olmaktan çıkarak, makroskobik ve mikroskobik bitkisel izlerin birlikte ele alındığı çok katmanlı bir disipline dönüşmüştür (Coyle ve ark., 2005; Kasprzyk, 2023) (Şekil 4).



Şekil 4. Adli botanikğin tarihsel gelişimini ve bitkisel delil tiplerinin genişleyen analiz ölçeği. (A) Erken dönem adli botanik uygulamalarında kullanılan ahşap anatomisi incelemeleri ve odun örneklerinin karşılaştırılması; **(B)** yaprak, dal, tohum, kök ve lif gibi makroskobik bitkisel deliller; **(C)** polen, spor ve diğer mikroskobik bitkisel delillerin morfolojik değerlendirilmesi; **(D)** mikroskobik inceleme, örnek hazırlama ve analitik cihaz destekli değerlendirmeleri içeren modern adli botanik laboratuvarı. Figür, adli botanikğin klasik morfolojik karşılaştırmalardan çok ölçekli ve laboratuvar destekli çağdaş analiz yaklaşımlarına uzanan metodolojik gelişimini özetlemektedir.

3.3. Palinolojinin (Polen Bilimi) Yükselişi

Adli botanikğin gelişiminde en belirgin kırılmalardan biri, makroskobik bitkisel kalıntıların incelenmesinden mikroskobik delillere yöneliş olmuştur. Bu dönüşümde palinoloji, yani polen ve sporların adli amaçlarla incelenmesi, özellikle 20. yüzyılın ikinci yarısından itibaren merkezi bir konum kazanmıştır. Polen ve sporların dış duvarında bulunan sporopollenin, bu yapıların çevresel bozulmaya karşı oldukça dirençli olmasını sağlar; bu nedenle söz konusu partiküller uzun süre korunabilir ve giysi, ayakkabı, araç, toprak, paketlenme

materyali ve insan vücudu gibi çok farklı yüzeylerden elde edilebilir. Bu özellikler, palinolojiyi adli iz delil analizinde güçlü bir araç hâline getirmiştir (Mildenhall ve ark., 2006).

Adli palinolojinin önem kazanmasının bir başka nedeni, polen ve sporların çevresel ve coğrafi bağlam hakkında bilgi taşımasıdır. Tür bileşimi, bolluk örüntüsü ve mevsimsel dağılım birlikte değerlendirildiğinde, bir nesnenin ya da kişinin belirli bir habitatla, bölgeyle veya dönemle ilişkili olup olmadığı konusunda çıkarım yapılabilmektedir. Nitekim Mildenhall ve arkadaşları, adli palinolojinin onlarca yıldır kolluk soruşturmalarında kullanılan bir yöntem olduğunu ve özellikle çevresel kaynak belirleme açısından önemli katkılar sunduğunu vurgulamaktadır (Mildenhall ve ark., 2006). Aynı nedenle palinoloji, adli botanik içinde en kurumsallaşmış ve literatürü en olgun alt alanlardan biri olarak kabul edilmektedir.

Bununla birlikte palinolojik delilin yorumlanması her zaman yüksek mekânsal çözünürlük sağlamaz. Polenlerin önemli bir kısmı rüzgâr, su, hayvan hareketi ya da insan etkinlikleriyle geniş alanlara taşınabilir. Bu nedenle polen verileri çoğu zaman belirli bir mikro-noktadan ziyade daha geniş bir çevresel arka planı yansıtmaya eğilimindedir. Başka bir deyişle, palinoloji olay yerinin çevresel niteliğini ve bölgesel bağlamını güçlü biçimde ortaya koyabilse de olay yeri ile şüpheli arasında doğrudan ve noktasal temasın gösterilmesinde bazı sınırlılıklar taşıyabilir. Güncel derlemeler de palinolojinin güçlü yönlerinin yanında örnekleme ve yorumlama açısından uzmanlık gerektirdiğini vurgulamaktadır (Mildenhall ve ark., 2006; Kasprzyk, 2023).

Bu nedenle adli botanikğin gelişim çizgisi yalnızca palinolojinin yükselişiyle açıklanamaz. Aksine, palinolojinin güçlü ama belirli sınırları olan bir yöntem olarak yerleşmesi, daha yüksek mekânsal özgüllük sunabilecek başka bitkisel delil gruplarına duyulan ilgiyi de artırmıştır. Bryofitler bu bağlamda, özellikle doğrudan temasın ve mikrohabitat ilişkisinin sorgulandığı vakalarda dikkat çeken bir grup olarak öne çıkmaya başlamıştır. Adli botanik, ahşap anatomisinden başlayarak palinolojik analizlere ve bryofit DNA temelli moleküler yaklaşımlara evrilmiş; bitkisel delillerin tür tayini, kaynak belirleme ve adli eşleştirme süreçlerinde kullanılmasını mümkün kılmıştır.

3.4. Bryofitlerin Keşfi ve "İhmal Dönemi"

Briyofitler, yani karayosunları, ciğerotları ve boynuzotları, adli botanik içinde uzun süre vasküler bitkiler, odunsu materyaller ve özellikle polen temelli çalışmaların gölgesinde kalmıştır. Bu görece ihmalin başlıca nedenleri arasında, briyofitlerin taksonomik teşhisinin ileri düzey uzmanlık gerektirmesi, birçok türün morfolojik olarak küçük ve birbirine benzer olması, referans koleksiyonlarının sınırlılığı ve olay yeri inceleme ekiplerinin bu gruba yeterince aşına olmaması yer almaktadır. Nitekim adli botanikğin genel gelişimini ele alan çalışmalar, bitkisel delillerin tarihsel olarak sıklıkla göz ardı edildiğini ve bunun

önemli ölçüde botanik bilgi eksikliğiyle ilişkili olduğunu vurgulamaktadır (Bock and Norris, 1997; Hall and Byrd, 2012).

Bununla birlikte briyofitler, sahip oldukları biyolojik ve ekolojik özellikler nedeniyle adli değerlendirme açısından sıradan bitkisel kalıntılardan ayrılan bir potansiyele sahiptir. Damarsız yapıları, gerçek kök ve gelişmiş iletim dokularından yoksun olmaları, bu organizmaları çevresel koşullarla doğrudan etkileşim hâline getirir. Nem, ışık, substrat özellikleri, pH ve mikroiklim koşullarına yüksek duyarlılık göstermeleri, briyofitlerin bulundukları ortamın ince ölçekli özelliklerini yansıtan biyolojik göstergeler olarak değerlendirilmesine olanak tanır. Bu nedenle briyofitler çoğu zaman geniş habitat kategorilerinden ziyade belirli mikrohabitatları temsil eder ve bu özellik, olay yeri ile kişi, araç veya nesne arasındaki ilişkinin daha dar mekânsal ölçekte değerlendirilmesine katkı sağlayabilir (Glime, 2017; Merkel ve ark., 2025).

Adli açıdan bir diğer önemli özellik, briyofit materyalinin çoğunlukla pasif yayılımdan ziyade doğrudan temas ve kısa mesafeli mekanik transfer yoluyla taşınmasıdır. Her ne kadar sporlar geniş alanlara yayılabilse de, adli değerlendirmede esas önem taşıyan, yüzeylere tutunabilen ve genellikle bitki parçası veya doku kalıntısı şeklinde taşınan briyofit fragmentleridir. Bu fragmentler ayakkabı tabanlarında, giysi liflerinde, araç iç yüzeylerinde veya toprakla temas etmiş nesnelerde bulunabilir ve olay yeri ile temasın daha doğrudan bir göstergesi olarak yorumlanabilir. Deneysel çalışmalar, briyofit materyalinin bu yüzeylere tutunabildiğini ve belirli süreler boyunca DNA analizine uygun kalabildiğini göstermektedir (Virtanen ve ark., 2007).

Briyofitlerin adli değeri yalnızca taşınabilirlikleriyle sınırlı değildir. Çevreyle doğrudan temas eden yüzey yapıları sayesinde çeşitli partikülleri ve elementleri absorbe edebilmekte veya yüzeylerinde tutabilmektedirler. Bu durum, briyofitlerin yalnızca taksonomik kimlikleri üzerinden değil, aynı zamanda çevresel ve kimyasal imzaları üzerinden de değerlendirilmesine imkân tanır. Her ne kadar bu yaklaşım henüz tam anlamıyla standardize edilmemiş olsa da, briyofitlerin çevresel izlerin biyolojik taşıyıcısı olarak potansiyeli güncel literatürde giderek daha fazla vurgulanmaktadır (Hall and Byrd, 2012; Merkel ve ark., 2025).

Son yıllarda moleküler yöntemlerin gelişmesi, briyofitlerin adli botanikteki konumunu daha görünür hâle getirmiştir. Morfolojik olarak eksik, parçalanmış veya steril örneklerde klasik teşhis çoğu zaman sınırlı kalırken, DNA temelli analizler daha güvenilir tanımlama imkânı sunmaktadır. Bu bağlamda, briyofit DNA'sının çevresel koşullara rağmen analiz edilebilirliğini koruyabildiği ve adli incelemelerde kullanılabileceği gösterilmiştir (Virtanen ve ark., 2007; Merkel ve ark., 2025).

Bu teorik ve deneysel bulgular, briyofitlerin yalnızca potansiyel bir delil grubu olmadığını, aynı zamanda pratik uygulamalarda da değerlendirilebildiğini ortaya

koymaktadır. Nitekim literatürde bildirilen vakalar, briyofitlerin özellikle postmortem interval (PMI) tahmini, olay yeri–şüpheli ilişkilendirmesi ve olay rekonstrüksiyonu gibi alanlarda kullanılabildiğini göstermektedir. Briyofitlerin büyüme paternleri ve kolonizasyon süreleri, cesedin bulunduğu ortamda ne kadar süredir yer aldığının tahmin edilmesine katkı sağlarken; yüzeyler arası transfer izleri bireyin hareketleri ve temas noktaları hakkında dolaylı bilgi sunabilmektedir (Merkel ve ark., 2025).

Sonuç olarak, briyofitlerin adli botanikte uzun süre ikincil planda kalması, bu organizmaların önemsizliğinden ziyade yöntemsel ve uzmanlık temelli sınırlılıklarla ilişkilidir. Günümüzde adli botanik, morfolojik teşhis, ekolojik bağlam ve moleküler analizlerin birlikte değerlendirildiği bütünlük bir yapıya evrilmektedir. Bu dönüşüm içinde briyofitler, yüksek mikrohabitat duyarlılıkları ve temas temelli taşınma özellikleri sayesinde daha işlevsel ve ayırt edici bir delil grubu olarak öne çıkmaktadır (Kasprzyk, 2023; Merkel ve ark., 2025).



Şekil 5. Adli botanik bağlamında briyofit (karayosunu) materyalinin olay yeri–laboratuvar sürecindeki temsili örnekleri. (A) Doğal mikrohabitatta briyofitlerin yerinde incelenmesi ve habitat özelliklerinin değerlendirilmesi, (B) ayakkabı tabanına tutunmuş briyofit parçacıkları ile temas temelli taşınma örneği, (C) tekstil yüzeylerinden (giysi vb.) briyofit materyalinin toplanması, (D) laboratuvar ortamında briyofit örneklerinin hazırlanması ve analize uygun hâle getirilmesi. Bu görseller, briyofitlerin adli incelemelerde mikrohabitat özgüllüğü, yüzeylere tutunma kapasitesi ve moleküler analiz potansiyeli açısından taşıdığı değeri şematik olarak ortaya koymaktadır.

3.5. Bitkisel Delillerin Adli Soruşturmalara Katkısı ve Sağladığı Bilgi Türleri

Bitkisel deliller, adli soruşturmalarda yalnızca zehirlenme olgularıyla ilişkili materyaller olarak değil, aynı zamanda olay yeri ile kişi, nesne ve çevre arasındaki ilişkiyi ortaya koyan biyolojik izler olarak önem taşır. Adli botanik; yaprak, tohum, odun, polen, spor, lif, kök, reçine, bitkisel doku parçaları ve kimyasal bileşenler gibi çok farklı materyaller üzerinden değerlendirme yapabilen geniş bir uygulama alanına sahiptir. Son yıllarda yapılan derlemeler, bitkisel delillerin ölüm araştırmaları, olay yeri rekonstrüksiyonu, kaçakçılık, zehirlenme, çevresel suçlar ve gömü alanlarının belirlenmesi gibi farklı bağlamlarda kullanılabildiğini göstermektedir (Coyle et al., 2005; Oliveira et al., 2023).

Toksik bitkiler bu çerçevenin yalnızca bir bölümünü oluşturur. *Conium maculatum* L. (baldıran), *Aconitum orientale* Mill. (kurtboğan), *Atropa belladonna* L. (ölümcül itüzümü) ve *Digitalis* türleri gibi bitkiler, içeriklerindeki güçlü alkaloidler veya kardiyoaaktif glikozitler nedeniyle kaza, intihar ya da cinayet soruşturmalarında toksikolojik açıdan önem kazanabilir (Şekil 6). Bununla birlikte adli botanikte asıl değer, bu türlerin yalnızca toksik özelliklerinden değil, olay yeriyle ilişkilendirilebilir bitkisel materyal üretmelerinden de kaynaklanır. Bitki kökenli toksinler ve bitkisel örneklerin adli değeri üzerine güncel değerlendirmeler, toksik bitkilerin hem biyolojik hem de kimyasal delil olarak incelenmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Alotaibi ve ark., 2021; Oliveira ve ark., 2023).



Şekil 6. Şekil 6 . Adli toksikoloji ve zehirli bitkiler bağlamında önem taşıyan bazı türler *Conium maculatum* L., *Aconitum orientale* Mill., *Digitalis purpurea* L. ve *Atropa belladonna* L.

Adli botanik incelemeleri soruşturmalara esas olarak dört tür bilgi sağlayabilir. Bunlardan ilki mekânsal ilişkilendirmedir. Locard'ın değişim ilkesi uyarınca, şüpheli, mağdur, araç ya da suç aleti üzerinde bulunan bitki kalıntıları bu unsurların belirli bir çevreyle temas ettiğini gösterebilir. Özellikle nadir, bölgesel dağılım gösteren ya da belirli habitatlarla güçlü biçimde ilişkili türlerin saptanması, bitkisel delilin olay yeriyle kurduğu ilişkilendirici değeri artırır. Bir olgu sunumu ve literatür değerlendirmesi olan Aquila ve arkadaşlarının çalışması, bitkisel materyalin olay yeri ile mağdur arasındaki ilişkinin yorumlanmasında anlamlı destekleyici delil sağlayabildiğini göstermiştir (Aquila et al., 2014).

İkinci olarak bitkisel deliller, birincil ve ikincil olay yerinin ayrımında kullanılabilir. Ceset üzerinde, giysilerde, araçta ya da taşınmış nesnelerde, cesedin bulunduğu son konumdaki flora ile uyumsuz bitkisel kalıntıların bulunması, bedenın ya da delilin başka bir yerden taşındığını düşündürebilir. Coyle ve arkadaşları, bitkisel delilin olay yerinin primer mi sekonder mi olduğunun değerlendirilmesinde yararlı olabileceğini açık biçimde belirtmektedir. Bu tür yorumlar, özellikle farklı habitatlara ait yaprak, tohum, yosun, alg veya polen bileşimlerinin karşılaştırılmasıyla güç kazanır (Coyle ve ark., 2005) (Şekil 7).



Şekil 7. Adli botanikte bitkisel delillerin başlıca bilgi türleri. Bitkisel deliller; mekânsal ilişkilendirme (A), birincil ve ikincil olay yerinin ayrımı (B), postmortem sürece ilişkin yardımcı yorumlar (C) ve gizli mezar ya da bozulan toprağın saptanması (D) gibi temel soruşturma alanlarında kullanılabilir.

Üçüncü olarak bitkisel materyal, postmortem intervalin ya da en azından cesedin bulunduğu alana bırakılmasından sonra geçen sürenin tahmininde yardımcı olabilir. Bu katkı doğrudan bir “kesin zaman tayini” sağlamaktan çok, botanik gelişim evreleri ve çevresel değişimlerin yorumlanmasına dayanır. Kök gelişimi, bitki kolonizasyonu, doku değişimleri ve kemiklerle ilişkili bitkisel oluşumlar bu tür yorumlarda dikkate alınabilir. Quatrehomme ve arkadaşları, mikroskobik bitki anatomisinin kemiklerle ilişkili bitkisel yapıların yaşını değerlendirmede kullanılabileceğini ve bunun postmortem zamanlama açısından yardımcı veri sağlayabileceğini göstermiştir; ancak yöntemin sınırları da açıkça vurgulanmıştır (Quatrehomme et al., 1997).

Dördüncü olarak bitkisel deliller gizli mezarların ya da bozulan toprağın saptanmasında önem taşır. Toprağın kazılması ve yeniden doldurulması, vejetasyon yapısını, tür bileşimini, köklenme düzenini ve yüzey nemini değiştirebilir. Bu nedenle mezar üstü vejetasyon, çevredeki doğal bitki örtüsünden farklı bir görünüm sergileyebilir. Adli botanik derlemeleri, bitki süksesyonu ve vejetasyon anomalilerinin özellikle arama-tarama çalışmalarında dikkate alınması gerektiğini belirtmektedir (Coyle ve ark., 2005; Oliveira ve ark., 2023).

Özetle bitkisel deliller, adli soruşturmalarda “yardımcı arka plan bilgisi” sunan ikincil unsurlar olmaktan çok, uygun şekilde toplanıp yorumlandığında olay örgüsündeki boşlukları doldurabilen sessiz tanıklardır. Ancak bu değer ortaya çıkabilmesi, bitki materyalinin olay yerinde fark edilmesine, doğru paketlenmesine, referans örneklerle desteklenmesine ve zincirleme delil bütünlüğünün korunmasına bağlıdır (Coyle ve ark., 2005; Oliveira ve ark., 2023).

3.6. Geleneksel Botanik Delillerin Kısıtlılıkları ve Metodolojik Zorluklar

Adli botanikte makroskobik bitki kalıntıları ile palinolojik analizler uzun süredir temel yaklaşım alanlarını oluşturmaktadır. Yaprak, tohum, odun, meyve parçaları ve polen gibi materyaller birçok vakada yüksek açıklayıcılık sağlayabilse de her olayda aynı düzeyde ayırt edici sonuç vermeyebilir. Güncel değerlendirmeler, adli botanikğin gücünün büyük ölçüde örnek türüne, korunma durumuna, çevresel bağlama ve karşılaştırma materyalinin niteliğine bağlı olduğunu vurgulamaktadır (Kasprzyk, 2023; Oliveira ve ark., 2023). Bu nedenle geleneksel botanik delillerin değeri kadar sınırlılıklarının da açık biçimde tanımlanması gerekir.

Bu sınırlılıkların başında mekânsal çözünürlük sorunu gelir. Özellikle anemofil bitkilerin polenleri rüzgârla geniş alanlara taşınabildiğinden, bir örnekte saptanan polen profili her zaman dar ve özgül bir olay yerini temsil etmeyebilir. Polen verisi çoğu zaman belirli bir mikro-noktadan çok, daha geniş bir çevresel arka planı yansıtır. Mildenhall ve arkadaşları, adli palinolojinin son derece değerli olmasına karşın, örnekleme ve yorumun çevresel bağlam dikkate alınmadan yapılmasının yanıltıcı sonuçlara yol açabileceğini açıkça belirtmektedir

(Mildenhall ve ark., 2006). Bu nedenle polen analizi güçlü bir yöntemdir, ancak her vakada yüksek mekânsal hassasiyet sağlayan tek başına yeterli bir araç olarak görülmemelidir.

İkinci önemli sınırlılık fenolojik bağımlılıktır. Birçok vasküler bitki yılın yalnızca belirli dönemlerinde çiçek, meyve veya ayırt edici makroskobik yapılar oluşturur. Bu nedenle suçun işlendiği mevsim, elde edilebilecek bitkisel delilin niteliğini doğrudan etkiler. Özellikle dormansi dönemlerinde ya da vejetatif safhada bulunan örneklerde tür teşhisi zorlaşabilir. Bu durum, mevsimsel görünürlüğe yüksek derecede bağımlı klasik morfolojik incelemelerin bazı vakalarda düşük bilgi verimine sahip olmasına yol açar (Oliveira ve ark., 2023).

Üçüncü güçlük, delilin çürüme ve bozunmaya yatkın olmasıdır. Yaprak, taç yaprak ya da yumuşak doku içeren bitkisel parçalar, özellikle sıcaklık ve nem uygun olduğunda kısa sürede morfolojik bütünlüğünü kaybedebilir. Olay yerinde geç fark edilen veya uygun koşullarda muhafaza edilmeyen bitkisel materyal laboratuvara ulaştığında tanımlayıcı karakterlerini yitirmiş olabilir. *Forensic Botany: A Practical Guide* bu nedenle toplama, kurutma, paketleme ve kontaminasyon kontrolünün bitkisel deliller için kritik olduğunu vurgular (Hall and Byrd, 2012).

Dördüncü olarak, kozmopolit ve ruderal türlerin yaygınlığı ayırt ediciliği azaltır. Yol kenarlarında, boş arazilerde ve insan etkisine açık çok sayıda ortamda görülen yaygın türler, olay yerini özgül biçimde işaret etmekte sınırlı kalabilir. Böyle durumlarda bitkisel delilin değeri tek bir türün varlığından değil, tür kombinasyonlarından, eşlik eden çevresel materyallerden veya moleküler ve kimyasal tamamlayıcı analizlerden kaynaklanır. Nitekim güncel derlemeler, klasik botanik teşhisin giderek daha sık DNA analizi, kimyasal profil çıkarımı ve mikroskobik incelemeyle desteklendiğini belirtmektedir (Oliveira ve ark., 2023).

Bir diğer metodolojik sorun da uzmanlık bağımlılığıdır. Bitkisel delilin doğru yorumlanması, yalnızca taksonomik bilgi değil, aynı zamanda anatomi, palinoloji, ekoloji ve örnekleme metodolojisi bilgisi gerektirir. Yanlış tanımlama, çevresel kontaminasyonun göz ardı edilmesi veya uygun referans örneklerin alınmaması, delilin yorum değerini ciddi biçimde zayıflatabilir. Bu nedenle adli botanik uygulamalarında multidisipliner yaklaşım, standardize toplama protokolleri ve gerektiğinde uzman botanikçi desteği temel gereklilikler arasında yer almaktadır (Coyle ve ark., 2005; Kasprzyk, 2023).

Sonuç olarak, geleneksel botanik deliller adli soruşturmalar için güçlü bir bilgi kaynağı olsa da bunların sınırlılıkları göz önünde bulundurulmadan yapılan yorumlar aşırı çıkarıma yol açabilir. Bu nedenle çağdaş yaklaşım, klasik morfolojik ve palinolojik değerlendirmelerin tümüyle terk edilmesi değil; bunların moleküler, kimyasal ve ekolojik verilerle desteklenerek daha sağlam bir yorum çerçevesine oturtulmasıdır. Adli botanikğin gelişim yönü de açık biçimde

bu bütünleşik modele doğru ilerlemektedir (Oliveira ve ark., 2023; Kasprzyk, 2023).

4. Bryofitlerin Adli Delil Olarak Potansiyeli

Bryofitlerin adli değeri, tek bir özelliğe değil, taşınabilirlik, habitat duyarlılığı ve çok katmanlı analiz edilebilirlik gibi birbirini tamamlayan özelliklerin birleşimine dayanır. Bu nedenle bryofitlerin adli botanik içinde yalnızca **“bir bitkisel iz”** olarak değil, olay yeri ile şüpheli, nesne ya da ceset arasında mekânsal ve çevresel bağ kurabilen özel bir delil grubu olarak değerlendirmek gerekir. Deneysel ve derleme düzeyindeki çalışmalar, briyofit parçalarının ayakkabı ve giysi gibi yüzeylere tutunabildiğini, belli süreler boyunca taşınabildiğini ve DNA analizine elverişli kalabildiğini göstermektedir. Bu yaklaşım, literatürde bildirilen çok sayıda vaka ile desteklenmekte olup, briyofitlerin yalnızca teorik değil pratik adli araçlar olarak da kullanılabileceğini göstermektedir (Virtanen ve ark., 2007; Merkel ve ark., 2025).

4.1. Taşınabilirlik, yüzeye tutunma ve adli iz niteliği

Bryofitlerin küçük boyutlu, hafif ve çoğu zaman parçalanmış hâlde taşınabilir olmaları, onları klasik iz delil mantığı açısından önemli kılar. Özellikle klonal gelişim gösteren birçok briyofit türünde küçük sürgün parçaları ya da gametofit fragmanları ayakkabı tabanına, tekstil liflerine ya da araç yüzeylerine tutunabilir. Virtanen ve arkadaşlarının deneysel çalışması, briyofit parçalarının ayakkabılara kolaylıkla tutunduğunu ve bir süre sonra dahi tür teşhisi ile DNA profillemesi için kullanılabildiğini ortaya koymuştur. Bu bulgu, briyofit delilinin kuramsal değil, doğrudan adli uygulanabilirliği olan bir materyal olduğunu göstermesi bakımından önemlidir (Virtanen ve ark., 2007).

Bu aşamada dikkat edilmesi gereken nokta, briyofitlerin her zaman **“yüksek kanıt değeri”** taşıdığı varsayımı değil, uygun bağlamda anlamlı hâle geldiğidir. Adli değeri artıran unsur yalnızca örneğin varlığı değil; bulunduğu yüzey, taşıyıcı materyal, eşlik eden diğer çevresel izler ve örneğin habitat bilgisidir. Bu nedenle briyofit delili en güçlü biçimde, olay yeri rekonstrüksiyonuna entegre edildiğinde yorumlanır (Kasprzyk, 2023; Hall and Byrd, 2012).

4.2. Habitat özgüllüğü, ekolojik uyumsuzluk ve mekânsal köken tayini

Briyofitlerin adli açıdan asıl özgün yanı, birçok vasküler bitkiye ve polen verisine kıyasla daha ince ölçekli çevresel bilgi taşıyabilmeleridir. Bu organizmalar nem, ışık, substrat tipi, pH ve mikroiklim koşullarına yüksek duyarlılık gösterdiği için, bulundukları mikrohabitatın karakterini daha dar çözünürlükte yansıtabilir. Güncel briyofit-odaklı adli derleme, bu grubu özellikle **“mikrohabitatla güçlü ilişki kurabilen”** potansiyel bir delil sınıfı olarak değerlendirmektedir (Merkel ve ark., 2025).

Bu bağlamda adli yorumda en işlevsel kavramlardan biri ekolojik uyumsuzluktur. Örneğin, nemli orman gövdesi veya sürekli ıslak kaya yüzeyi ile ilişkili briyofit materyalinin, kurak ve açık bir ortama ait olduğu bilinen bir nesne üzerinde bulunması, dış kaynaklı taşınma olasılığını güçlendirebilir. Ancak burada aşırı yoruma kaçmamak gerekir; tek bir tür üzerinden kesin köken tayini yapmak çoğu durumda mümkün değildir. Daha sağlam yaklaşım, briyofit materyalini tür ya da cins düzeyindeki teşhis, eşlik eden topluluk bileşimi ve olay yerinin çevresel özellikleri ile birlikte değerlendirmektir (Kasprzyk, 2023; Merkel ve ark., 2025).

4.3. Türkiye bağlamında bölgesel briyofit imzası

Türkiye’de briyofitlerin adli coğrafi eşleştirme bağlamında öne çıkmasının temel nedeni, ülkenin belirgin topoğrafik çeşitliliği ile birlikte görülen iklimsel değişkenliğin yüksek düzeyde olmasıdır. Yükselti, bakı, nem rejimi ve substrat özelliklerinin kısa mesafelerde değişebilmesi, briyofit topluluklarının dağılımında ince ölçekli farklılaşmaların ortaya çıkmasına neden olur. Bu durum, briyofitlerin yalnızca geniş coğrafi alanları değil, aynı alan içerisindeki mikroçevresel farklılıkları da yansıtan biyolojik göstergeler olarak değerlendirilmesine olanak tanır.

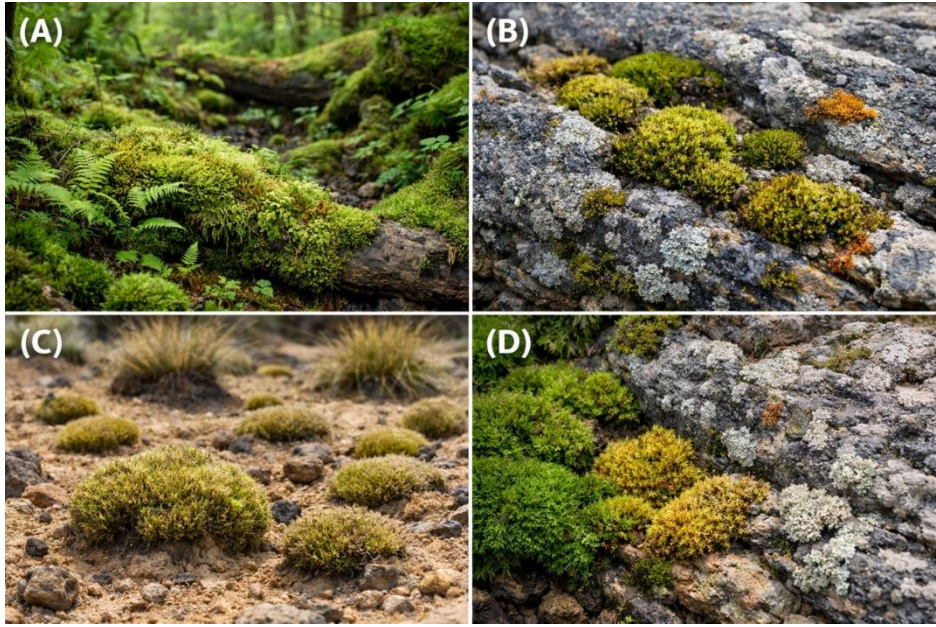
Türkiye briyoflorasına yönelik hazırlanan kontrol listeleri ve kapsamlı derlemeler, bu çeşitliliğin sistematik biçimde kayıt altına alındığını göstermektedir. Kürschner ve Erdağ (2005) tarafından sunulan referans listesi ile başlayan ve Erdağ ve Kürschner (2017) tarafından güncellenen çalışmalar, Türkiye’de briyofit araştırmalarının giderek genişleyen ve dinamik bir veri tabanı oluşturduğunu ortaya koymaktadır. Bu birikim, yalnızca tür zenginliğini ortaya koymakla kalmayıp, aynı zamanda dağılım örüntülerinin daha ayrıntılı biçimde anlaşılmasına da katkı sağlamaktadır. Ayrıca, Kürschner ve Frey (2011) tarafından Güneybatı Asya ölçeğinde gerçekleştirilen değerlendirmeler, Türkiye’nin briyofit çeşitliliğini daha geniş bir biyocoğrafik çerçeve içinde ele alarak karşılaştırmalı analizler için önemli bir temel sunmaktadır.

Bu kapsamlı floristik ve ekolojik veri birikimi, adli botanik açısından değerlendirildiğinde önemli bir metodolojik avantaj sağlar. Farklı ekosistemlerde gelişen briyofit topluluklarının bileşimi, olay yeri ile kişi ya da nesne arasındaki ilişkinin değerlendirilmesinde karşılaştırmalı bir referans oluşturabilir. Bununla birlikte, bu potansiyelin güvenilir biçimde kullanılabilmesi, tür listelerine dayalı doğrudan çıkarımlar yerine, habitat özellikleri ve topluluk düzeyindeki örüntülerin dikkate alınmasını gerektirir.

Bu noktada floristik veri ile adli yorum arasındaki farkın açık biçimde ortaya konması gerekir. Floristik çalışmalar çoğunlukla tür ve cins düzeyinde listeler sunarken, adli değerlendirmede bu bilgilerin doğrudan coğrafi belirteç olarak kullanılması sınırlıdır. Bunun temel nedeni, birçok briyofit taksonunun geniş ekolojik toleranslara sahip olması ve farklı bölgelerde benzer türlerin

bulunabilmesidir. Bu nedenle, belirli bir taksonun tek başına belirli bir coğrafi alanı temsil ettiği yönündeki kesin ifadeler, adli bağlamda hatalı yorumlara yol açabilir. Daha güvenilir yaklaşım, briyofit materyalini habitat tipi, mikrohabitat özellikleri ve eşlik eden tür bileşimi ile birlikte olasılıksal bir çerçevede değerlendirmektir (Kasprzyk, 2023; Merkel ve ark., 2025).

Bu bağlamda, Türkiye’de briyofitlerin adli coğrafi eşleştirmedeki değeri, tekil tür dağılımlarından ziyade, belirli çevresel koşulları yansıtan topluluk yapılarından kaynaklanmaktadır. Bu yaklaşım, olay yerinin yalnızca geniş ölçekli konumunun değil, aynı zamanda daha dar çevresel nişlerinin de belirlenmesine katkı sağlar. Bu nedenle Türkiye’ye ilişkin değerlendirmelerde, floristik heterojenlik ve mevcut veri tabanlarının sunduğu altyapı korunmalı; ancak adli yorumlar, tür listelerine dayalı kesin sonuçlar yerine, habitat temelli ve karşılaştırmalı analizler üzerinden yapılandırılmalıdır.



Şekil 8. (A) Nemli orman ekosistemlerinde gelişen briyofit toplulukları, yüksek nem ve gölgeleme koşullarına bağlı tür kompozisyonunu temsil eder. (B) Kaya yüzeylerinde gelişen saksikol briyofitler, substratın mineralojik yapısı ve su tutma kapasitesine bağlı dağılım görüntülerini yansıtır. (C) Yarı kurak ve açık alanlarda gelişen briyofitler, düşük nem ve yüksek ışık koşullarına adaptasyonu gösterir. (D) Aynı habitat içerisinde mikroklimsel farklılıklara (gölgeleme, nem, yüzey özellikleri) bağlı olarak briyofitlerin santimetre–desimetre ölçeğinde dahi farklılaşabildiğini ortaya koyar.

Bu farklılaşmalar, briyofitlerin olay yeri ile kişi, araç veya nesneler arasındaki çevresel teması yüksek çözünürlükte değerlendirmeye imkân veren potansiyel biyolojik iz deliller olduğunu göstermektedir.

4.4. Kimyasal ve elementel profil: tamamlayıcı çevresel imza

Bryofitlerin adli potansiyeli yalnızca morfoloji ve DNA ile sınırlı değildir. Kök ve gelişmiş iletim sistemi taşımamaları nedeniyle atmosferik çökeltme ve yüzey teması yoluyla element biriktirmeleri, özellikle karayosunu türlerini çevresel kirleticilerin biyomonitörleri hâline getirmiştir. Avrupa'daki uzun süreli “**moss survey**” çalışmaları, ağır metal ve azot birikiminin bölgesel örüntüler gösterebildiğini ve moss analizlerinin çevresel maruziyetin izlenmesinde kullanılabildiğini ortaya koymuştur (Harmens ve ark., 2010; 2015).

Adli bağlamda bu yaklaşım, tek başına kimyasal profil ile köken tayini yapmak anlamına gelmez. Daha doğru ifade, kimyasal ve elementel verinin morfolojik ve genetik değerlendirmeyi destekleyen ikincil bir katman sunduğudur. Böylece aynı ya da benzer taksonomik profile sahip briyofit örnekleri, farklı çevresel maruziyet geçmişleri bakımından ayırt edilebilir (Harmens ve ark., 2010; Fernández ve ark., 2015).

5. 1. Briyofit–DNA Temelli Adli Eşleştirme Yaklaşımları

Bitkisel DNA analizlerinin adli botanikteki uygulanabilirliği, son yıllarda deneysel çalışmalarla daha somut biçimde ortaya konmuştur. Nitekim tarafından yürütülen bir çalışmada, farklı egzotik bitki türleri üzerinde kloroplast kökenli **rbcL geni** kullanılarak PCR ve restriksiyon enzimlerine dayalı CAPS (PCR-RFLP) analizi gerçekleştirilmiş ve türler arasında ayırt edici DNA bant profilleri elde edilmiştir. Bu bulgular, parçalanmış veya morfolojik olarak tanımlanması güç bitkisel materyallerde dahi moleküler düzeyde güvenilir tür teşhisinin mümkün olduğunu göstermektedir. Aynı çalışma, bitkisel DNA verisinin yalnızca tür tanımlama ile sınırlı kalmayıp, olay yeri ile şüpheli veya nesneler arasında ilişki kurulmasında da kullanılabileceğini vurgulamaktadır. Özellikle lif, tohum ve mikroskobik bitkisel kalıntılar üzerinden yapılan genetik eşleştirmeler, adli soruşturmalarda destekleyici hatta bazı durumlarda güçlü delil niteliği taşıyabilmektedir. Bu yönüyle bitkisel DNA analizleri, adli botanikte klasik morfolojik yaklaşımları tamamlayan yüksek çözünürlüklü bir araç olarak değerlendirilmektedir (Akkan ve ark., 2024).

Briyofit materyalinin adli açıdan önemli yönlerinden biri, küçük parçalar hâlinde taşınsa bile DNA analizine elverişli kalabilmesidir. Virtanen ve arkadaşlarının çalışması, ayrılmış briyofit materyalinden uzun süre sonra dahi DNA profillemesi yapılabildiğini göstermiştir. Bu, özellikle yüzeye tutunmuş küçük bitki parçalarının yalnızca morfolojik değil, moleküler delil olarak da değerlendirilebileceğini ortaya koyar (Virtanen ve ark., 2007).

Bununla birlikte briyofit materyalinin çevresel örneklerden gelmesi, kontaminasyon riskini de beraberinde getirir. İnsan dışı DNA'nın adli analizine ilişkin güncel rehber niteliğindeki çalışma, bitki materyalinde örnekleme, negatif kontroller, bağımsız tekrarlar ve referans veri tabanı kalitesinin kritik olduğunu

vurgulamaktadır (Corradini ve ark., 2024). Dolayısıyla briyofit DNA'sının adli uygunluğu, yalnızca biyolojik olarak mümkün olmasına değil, laboratuvar sürecinin kontrol edilebilir olmasına da bağlıdır (Şekil 9).

5.2. DNA barkodlama ve tür düzeyinde tanımlama

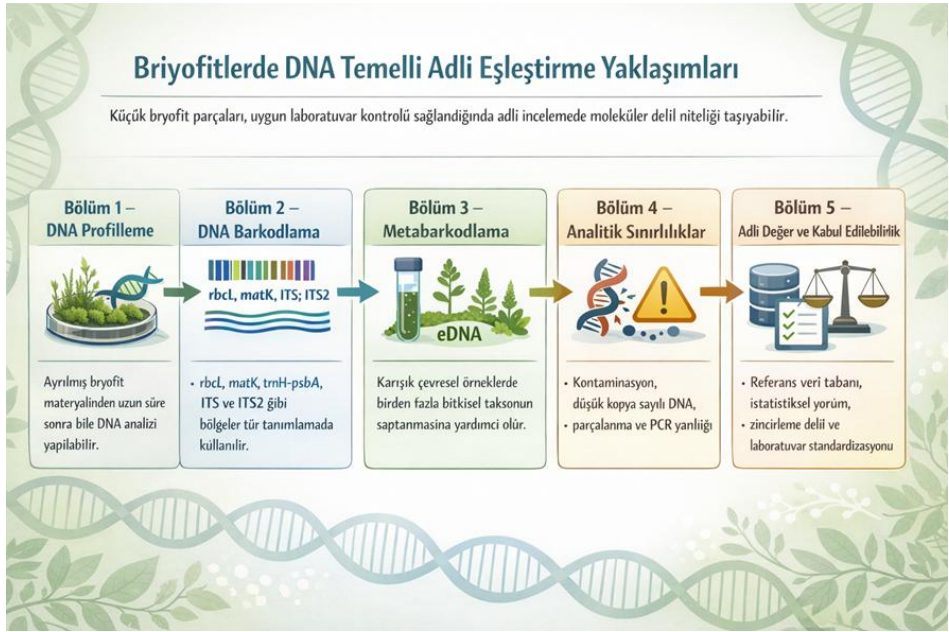
Briyofit temelli adli eşleştirmenin ilk ve en erişilebilir moleküler basamağı DNA barkodlamadır. Bitkilerde hayvanlardaki COI benzeri tek bir evrensel barkod bölgesi bulunmadığı için, barkodlama genellikle **rbcL**, **matK**, **trnH-psbA**, **ITS** ve **ITS2** gibi bölgelerin tek tek ya da birlikte kullanımına dayanır. Bitki barkodlamasına ilişkin güncel derleme, kısa ve standartlaştırılabilir barkod bölgelerinin taksonomik tanımlama için güçlü araçlar sunduğunu; ancak başarı oranının grup ve lokus seçimine bağlı olduğunu vurgulamaktadır (Letsiou ve ark., 2024). Briyofitler söz konusu olduğunda, barkodlama daha dikkatli ele alınmalıdır. Hassel ve arkadaşları, kara bitkileri için önerilen genel barkod belirteçlerinin birbirine yakın briyofit türlerini ayırmada her zaman yeterli olmadığını göstermiştir. Bu bulgu, briyofitlerde tek lokuslu tanımlamanın sınırlı kalabileceğini ve çoklu lokus yaklaşımının daha güvenilir olduğunu düşündürmektedir (Hassel ve ark., 2013).

5.3. Metabarkodlama ve karma örneklerin analizi

Ayakkabı tabanı, toprak, lif, araç iç yüzeyi veya karışık çevresel örnekler çoğu zaman tek bir bitki taksonu içermez. Bu tür örneklerde meta barkodlama, aynı örnekte birden fazla bitkisel taksonun varlığını saptamaya imkân tanıdığı için adli açıdan çekicidir. Ancak bu başlık mevcut taslakta biraz fazla iddialı yazılmıştı. Daha dengeli yaklaşım, meta barkodlamanın olay yeri ile ilişkili bitkisel kompozisyonu yakalamada umut verici bir araç olduğunu, fakat halen güçlü referans veri tabanları, primer seçimi ve biyoinformatik standartlar gerektirdiğini belirtmektir (Corradini ve ark., 2024; Letsiou ve ark., 2024).

5.4. eDNA, düşük kopya sayılı DNA ve analitik sınırlılıklar

Mevcut taslakta eDNA başlığı ile düşük kopya sayılı DNA başlığı ayrı verilmişti; hakem gözüyle bunların birleştirilmesi daha uygun olur. Çünkü her iki başlık da doğrudan örnek kalitesi, karışık sinyal ve analitik belirsizlik sorununa bağlanmaktadır. Çevresel DNA, doğrudan briyofit dokusu bulunmadığı durumlarda tamamlayıcı veri sağlayabilir; ancak bu yaklaşım özellikle kontaminasyon, uzamsal karışma ve sinyalin kaynağını ayırt etme sorunları nedeniyle klasik dokusal örnek kadar doğrudan yorumlanamaz. Aynı şekilde düşük kopya sayılı ve parçalanmış DNA, stokastik PCR etkileri ile tür temsilde yanlılık yaratabilir. Bu nedenle bu iki başlığın ayrı ayrı değil, ortak “analitik sınırlılıklar” çerçevesinde verilmesi metni toparlar (Corradini ve ark., 2024).



Şekil 9. Briyofitlerde DNA temelli adli eşleştirme yaklaşımlarının özeti: DNA profilleme, barkodlama (rbcl, matK, trnH-psbA, ITS/ITS2), metabarkodlama ve analitik sınırlılıklar ile adli değerlendirme ölçütleri (referans veri tabanı, istatistiksel yorum, zincirleme delil ve laboratuvar standardizasyonu).

5.5. İstatistiksel yorum, referans veri tabanı ve adli kabul edilebilirlik

Briyofit-DNA eşleştirmesinin mahkeme açısından değeri, yalnızca “aynı tür bulundu” demekle kurulmaz. Elde edilen bulgunun ne ölçüde ayırt edici olduğu, alternatif açıklamalar altında ne kadar olası olduğu ve referans veri tabanının ne derece temsil gücü bulunduğu önemlidir. İnsan dışı DNA analizine ilişkin güncel rehberler, örnek kimliği kadar yorum çerçevesinin de standardize edilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Corradini ve ark., 2024). Bu nedenle olasılık oranı yaklaşımı, frekans temelli bölgesel veri kümeleri ve doğrulanmış referans barkod kütüphaneleri olmadan, briyofit-DNA bulgularının aşırı yorumlanması gerekir.

Zincirleme delil, saklama koşulları, laboratuvar içi kontaminasyon önlemleri ve raporlama standardı da aynı derecede önemlidir. Hall ve Byrd’ın kitabı ile Coyle ve arkadaşlarının derlemesi, botanik materyalin olay yerinde fark edilmesi, doğru toplanması ve uygun şekilde saklanması delilin değerini belirleyen ilk basamak olduğunu açık biçimde vurgular. **Briyofit-DNA** temelli yaklaşım bu genel ilkenin istisnası değildir; tersine, küçük ve çevresel olarak açık bir materyalle çalışıldığı için standardizasyon ihtiyacı daha da yüksektir (Hall and Byrd, 2012; Coyle ve ark., 2005).

6. Olay Yeri Rekonstrüksiyonunda Bryofit Temelli Yaklaşımlar

Olay yeri rekonstrüksiyonu, suçun nerede, hangi çevresel bağlamda ve hangi süreçler sonucunda gerçekleştiğini bilimsel verilerle yeniden kurmayı amaçlayan adli değerlendirmenin temel aşamalarından biridir. Bitkisel deliller bu süreçte uzun süredir kullanılmaktadır; ancak bryofitler, mikrohabitat duyarlılıkları, yüzeylere kolayca tutunabilmeleri ve parçalanmış materyalden dahi tanımlanabilmeleri nedeniyle klasik bitkisel deliller içinde ayrı bir konuma sahiptir. Güncel değerlendirmeler, bryofitlerin adli bilimlerde hâlen yeterince kullanılmayan, ancak olay yeri–kişi–nesne ilişkisini açıklamada dikkate değer potansiyele sahip bir delil grubu olduğunu göstermektedir (Coyle ve ark., 2005; Merkel ve ark., 2025).

Bryofit temelli yaklaşımın değeri, tek başına “türü teşhis etmekten” ibaret değildir. Asıl önem, bu materyalin taşıdığı ekolojik bilginin olay yeri bağlamına yerleştirilebilmesidir. Bryofitler nem, ışık, substrat tipi ve mikroiklim koşullarına yüksek duyarlılık gösterdiklerinden, bulundukları çevrenin ince ölçekli özelliklerini yansıtabilir. Bu nedenle bryofit bulguları, adli soruşturmada çoğu zaman doğrudan kesin sonuç veren değil, fakat mekânsal ve çevresel ilişkileri anlamlı biçimde güçlendiren biyolojik göstergeler olarak değerlendirilmelidir (Kasprzyk, 2023; Merkel ve ark., 2025).

6.1. Olay yeri–şüpheli ilişkisinin değerlendirilmesinde bryofitler

Bryofitlerin olay yeri rekonstrüksiyonundaki en doğrudan kullanımı, belirli bir kişi ya da nesnenin belirli bir çevreyle temas edip etmediğinin araştırılmasıdır. Ayakkabı tabanları, giysi yüzeyleri, araç paspasları, çantalar veya toprakla temas etmiş diğer nesneler üzerinde bulunan bryofit parçaları, temasın yönü ve niteliği hakkında anlamlı veri sağlayabilir. Deneysel olarak, bryofit fragmanlarının ayakkabılara tutunabildiği ve kuru zeminde saatlerce yüründükten sonra dahi bir kısmının korunabildiği; ayrıca bu materyalden DNA analizinin yapılabildiği gösterilmiştir (Virtanen ve ark., 2007). Bu çalışma, bryofitlerin yalnızca teorik değil, pratik olarak da iz delil niteliği taşıyabildiğini ortaya koymaktadır.

Bununla birlikte, olay yeri–şüpheli eşleştirmesinde bryofit bulgusunun değeri her zaman bağlama bağlıdır. Bir örneğin adli gücü, yalnızca üzerinde bryofit bulunmasına değil, bulunan materyalin olay yerinin florası ve mikrohabitat özellikleriyle ne ölçüde uyumlu olduğuna bağlıdır. Bu nedenle morfolojik teşhis, gerekirse DNA barkodlama ve olay yerinden alınan referans örneklerle karşılaştırma birlikte yürütülmelidir. Bryofit materyalinin olay yeri ile ilişki kurmada yararlı olduğu hem deneysel hem de olgu düzeyindeki yayınlarda vurgulanmıştır; ancak yorumun güçlü olabilmesi için eşleşmenin yalnızca taksonomik değil, ekolojik olarak da anlamlı olması gerekir (Virtanen ve ark., 2007; Margiotto ve ark., 2015; Merkel ve ark., 2025).

6.2. Cesedin taşınmış olabileceğine ilişkin ekolojik uyumsuzluklar

Bryofitler, cesedin primer olay yerinde mi bulunduğu yoksa başka bir alana taşındıktan sonra mı bırakıldığı sorusuna dolaylı katkı sunabilir. Ceset üzerinde, saçta, giyside veya cesetle ilişkili nesnelerde bulunan briyofit materyalinin, cesedin bulunduğu son çevrenin florasıyla uyumsuz olması, önceki bir temas alanına işaret edebilir. Ancak bu tür bir yorumun geçerli olabilmesi için, söz konusu briyofitlerin gerçekten çevresel bağlam açısından ayırt edici nitelik taşıması ve olay yeri florasıyla sistematik biçimde karşılaştırılması gerekir. Coyle ve arkadaşları, bitkisel delilin primer ve sekonder olay yeri ayırımında yardımcı olabileceğini belirtmektedir; güncel briyofit derlemesi de briyofitlerin bu tür çevresel ilişkilendirmelerde değerli olabileceğini vurgulamaktadır (Coyle ve ark., 2005; Merkel ve ark., 2025).

6.3. Mikrohabitat çözünürlüğü ve adli coğrafi daraltma

Bryofitlerin adli açıdan en özgün katkılarından biri, geniş bir bölgeden çok daha dar çevresel nişleri yansıtabilmeleridir. Polen çoğu durumda daha geniş bir çevresel arka planı temsil ederken, briyofit materyali belirli kaya yüzeyleri, ağaç gövdeleri, duvar dipleri, nemli toprak cepleri veya sürekli gölgeli alanlar gibi daha sınırlı mikrohabitatlarla ilişkilendirilebilir. Bu özellik, olay yerinin yalnızca genel çevresinin değil, aynı alan içindeki daha spesifik bölümlerinin değerlendirilmesine katkı sağlayabilir (Merkel ve ark., 2025). Mevcut literatür briyofitlerin bu tür eşleştirme için umut verici olduğunu göstermektedir; ancak henüz rutin, standardize edilmiş ve geniş veri tabanlarına dayanan bir coğrafi konumlandırma yöntemi ortaya çıkmış değildir (Kasprzyk, 2023; Corradini ve ark., 2024).

6.4. Zaman boyutu: postmortem süreye olası fakat sınırlı katkı

Bu alt başlık, mevcut metinde en çok dikkat gerektiren bölümdür. Bryofitler genel anlamda rutin PMI tayin aracı değildir. Bununla birlikte, ileri derecede iskeletleşmiş olgularda briyofit büyümesi, kök gelişimi ve bitkisel kolonizasyon üzerinden minimum postmortem interval hakkında yardımcı çıkarımlar yapılabildiğini gösteren yayınlar vardır. Cardoso ve arkadaşları, ileri derecede iskeletleşmiş insan kalıntılarında briyofit ve kök büyüme hızlarını kullanarak minimum PMI tahminine ulaşmışlardır; Quatrehomme ve arkadaşları da bitkisel yapıların mikroskobik anatomisinin kemiklerle ilişkili zamanlamada yardımcı olabileceğini göstermiştir. Ancak her iki çalışma da yöntemin vaka-özgü olduğunu ve geniş genellemelere dikkatle yaklaşılması gerektiğini göstermektedir (Quatrehomme ve ark., 1997; Cardoso ve ark., 2010).

Bu nedenle bu alt başlıkta en güvenli ve bilimsel ifade, briyofitlerin “PMI tayininde kullanılan standart bir yöntem” olmadığı; ancak belirli koşullarda, özellikle uzun süreli çevresel maruziyet ve iskeletleşme vakalarında, zaman boyutuna ilişkin yardımcı alt sınır bilgisi sağlayabildiğidir. Daha güçlü bir iddia,

mevcut literatürle tam desteklenmez ve hakem tarafından haklı olarak eleştirilebilir. Güncel adli botanik derlemeleri de bitkisel verinin zamanlama açısından katkısının çoğu zaman diğer adli ve tafonomik bulgularla birlikte değerlendirilmesi gerektiğini vurgulamaktadır (Coyle ve ark., 2005; Oliveira ve ark., 2023).

6.5. Çoklu delil modeli içinde briyofitlerin yeri

Briyofit verisinin en yüksek adli değere ulaştığı durumlar, bu bulguların tek başına değil, diğer çevresel ve biyolojik verilerle birlikte yorumlandığı olgulardır. Polen, toprak jeokimyası, entomolojik veriler, genel botanik profil ve gerektiğinde DNA barkodlama ile birlikte değerlendirilen briyofit materyali, olay yeri rekonstrüksiyonuna daha tutarlı bir çerçeve sağlar. Adli botanikte güncel yaklaşım, tek bir delil türünden kesin sonuç çıkarmaktan çok, bağımsız veri katmanlarını bir araya getirerek daha sağlam yorum üretmeye yönelmiştir (Kasprzyk, 2023; Corradini ve ark., 2024; Oliveira ve ark., 2023).

Bu çerçevede briyofitler, “tek başına belirleyici kanıt” olarak değil, olay yeri bağlamını güçlendiren ve bazen de başka türlü fark edilmeyecek çevresel ilişkileri görünür kılan özel bir delil sınıfı olarak değerlendirilmelidir. Mevcut literatürün izin verdiği en güçlü sonuç da budur: bryofitler adli soruşturmalarda henüz standartlaşmış bir araç değildir; fakat doğru örnekleme, uygun taksonomik/moleküler doğrulama ve dikkatli bağlamsal yorumla olay yeri rekonstrüksiyonuna özgün katkı sunabilirler (Virtanen ve ark., 2007; Merkel ve ark., 2025) (Şekil 10).



Şekil 10. Bitkisel delillerin adli soruşturmalarla sağladığı bilgi türleri ve uygulama bağlamı: kavramsal çerçeve ve temsili olay yeri görselleştirmesi.

7. Metodolojik Sınırlılıklar, Standardizasyon ve Hukuki Kabul Edilebilirlik

Bryofit-DNA temelli adli analizler, olay yeri ile kişi, nesne veya çevre arasındaki ilişkinin aydınlatılmasında umut verici bir yaklaşım sunmaktadır. Bununla birlikte, bu yöntem henüz insan kaynaklı adli DNA analizleri kadar yüksek derecede standardize edilmiş, laboratuvarlar arasında yaygın biçimde uyumlaştırılmış ve mahkeme pratiğinde yerleşik hale gelmiş bir uygulama alanına dönüşmüş değildir. Bu durum, yaklaşımın bilimsel değerinin düşük olduğunu değil; örnekleme, referans veri tabanı, marker seçimi, karışık çevresel örneklerin yorumu, validasyon ve raporlama standartları bakımından gelişmekte olan bir alanla karşı karşıya olduğumuzu göstermektedir. Nitekim non-human forensic genetics alanına ilişkin güncel değerlendirmeler, moleküler yöntemlerin

özellikle parçalanmış, az miktarlı veya morfolojik olarak tanımlanması güç bitkisel materyallerde önemli avantajlar sunduğunu; ancak bu avantajların ancak güçlü validasyon, uygun referans altyapısı ve standardize iş akışları ile güvenilir adli çıktıya dönüştürülebileceğini vurgulamaktadır (Corradini ve ark., 2024). Merkel ve arkadaşları da bryofitlerin adli potansiyelini desteklemekle birlikte, yayımlanmış uygulamaların halen sınırlı olduğunu ve yöntemin daha fazla standartlaştırmaya ihtiyaç duyduğunu belirtmektedir (Merkel ve ark., 2025).

7.1. Metodolojik sınırlılık kavramı ve alanın mevcut olgunluk düzeyi

Adli bilimlerde bir yöntemin değeri, yalnızca analitik olarak çalışmasına değil, hangi koşullarda güvenilir sonuç verdiğinin açık biçimde tanımlanmış olmasına bağlıdır. Briyofit-DNA analizlerinde temel sorun, yöntemin teorik potansiyelinden çok, bu potansiyelin farklı örnek tiplerinde, farklı belirteçler ve farklı laboratuvar koşulları altında ne ölçüde tekrarlanabilir ve karşılaştırılabilir olduğunun henüz yeterince standardize edilmemiş olmasıdır. Bu nedenle briyofit-DNA yaklaşımı, bugünkü aşamada yerleşik bir rutin yöntemden ziyade, güçlü araştırma ve uygulama değeri taşıyan, ancak kurumsallaşma gereksinimi süren bir adli araç olarak değerlendirilmelidir. Alanın mevcut olgunluk düzeyi dikkate alındığında, yorumun kapsamı da yöntemin performans sınırları ile uyumlu tutulmalıdır; başka bir deyişle, teknik potansiyelin varlığı tek başına sınırsız adli yorum hakkı doğurmaz.

7.2. Pre-analitik evre: örnekleme, koruma ve kontaminasyon sorunları

Briyofit örnekleri çoğu zaman ayakkabı tabanı, giysi lifi, araç iç yüzeyi, toprak parçacıkları veya nemli substrat kalıntılarıyla birlikte, az miktarda ve çevresel olarak açık materyal halinde elde edilmektedir. Bu durum, daha laboratuvar aşamasına geçmeden önce örnekleme ve taşıma süreçlerini kritik hale getirir. Temel riskler arasında çapraz kontaminasyon, yetersiz örnek miktarı, referans örneklerin uygun seçilmemesi ve örneğin olay yeri bağlamından kopuk biçimde alınması yer alır. Ayrıca bryofit dokularında bulunabilen polisakkaritler, fenolik bileşikler ve çeşitli sekonder metabolitler DNA ekstraksiyonu ve PCR verimini olumsuz etkileyebilir. Dolayısıyla zincirleme delil ilkesinin korunması, negatif kontrollerin ve blank örneklerin kullanılması, çapraz bulaşın önlenmesi ve olay yeri personelinin uygun örnekleme konusunda eğitilmesi, yalnızca prosedürel değil, doğrudan analitik güvenilirliğe ilişkin gerekliliklerdir.

Farklı laboratuvarlarda ortak örnekleme ve kabul kriterlerinin bulunmaması da sonuçların karşılaştırılabilirliğini zayıflatan önemli bir sorundur. Sorun yalnızca 'protokol yokluğu' değil, örnekleme öncesi karar noktalarının standardize edilmemesidir. Hangi yüzeyden ne kadar materyal alınacağı, referans örneklerin nasıl seçileceği, çevresel blank örneklerin gerekip gerekmediği, örneklerin hangi sıcaklık ve saklama koşullarında taşınacağı ve hangi materyalin analiz dışı bırakılacağı gibi kararlar sonuçların güvenilirliğini doğrudan etkiler.

7.3. Analitik evre: marker seçimi, düşük DNA miktarı ve biyoinformatik yanlışlık

Briyofit-DNA temelli adli analizlerde kullanılan barkod bölgeleri veya hedef diziler her taksonda aynı ayırt edicilik gücünü sağlamaz. Bitkilerde tek bir evrensel barkod bölgesi bulunmadığından, *rbcL*, *trnL*, ITS veya ITS2 gibi belirteçlerin seçimi doğrudan soruşturma amacına, örnek kalitesine ve mevcut referans veri tabanının kapsamına bağlıdır. Yakın akraba taksonların ayrımı, özellikle bryofitlerde bazı durumlarda güçleşebilir; bu nedenle tek lokuslu tanımlamalar dikkatle yorumlanmalıdır. Buna ek olarak düşük miktarlı veya bozunmuş DNA, stokastik amplifikasyon kaybı, tercihli amplifikasyon ve karışık örneklerde baskın takson lehine yanlışlık gibi sorunlar yaratabilir. Metabarkodlama yaklaşımlarında ise primer seçimi, kütüphane hazırlama, okuma derinliği eşikleri ve biyoinformatik filtreleme kararları sonucu doğrudan etkiler. Bu nedenle analitik iş akışının yalnızca laboratuvar protokolüyle değil, veri işleme kararlarıyla birlikte validasyon kapsamına alınması gerekir (Corradini ve ark., 2024; Merkel ve ark., 2025).

Briyofit-DNA temelli adli analizlerin uygulanabilirliği, yalnızca moleküler tekniğin başarısına değil; örnekleme, veri üretimi, yorumlama ve raporlama süreçlerinin ne ölçüde kontrol altına alınabildiğine de bağlıdır. Bu nedenle yöntemin bilimsel güvenilirliğini değerlendirmek için başlıca metodolojik risklerin açık biçimde tanımlanması ve validasyon sırasında hangi performans parametrelerinin ölçülmesi gerektiğinin önceden belirlenmesi gerekir. Bu çerçeve hem laboratuvar içi kalite güvencesi hem de adli kabul edilebilirlik açısından temel önemdedir.

Tablo 1. Briyofit-DNA temelli adli analizlerde başlıca metodolojik riskler ve olası etkileri

Metodolojik risk	Kısa açıklama	Olası etkisi
Yetersiz veya uygunsuz örnekleme	Olay yerinden, taşıyıcı yüzeyden veya ya da referans alandan yeterli temsil edici materyal toplanmaması	Tür tanısının zayıflaması, karşılaştırmanın gücünün düşmesi, yanlış negatif sonuç riski
Çapraz kontaminasyon	Toplama, taşıma, saklama veya laboratuvar aşamasında başka bitkisel materyalin örneğe karışması	Yanlış pozitif bulgu, olay yeri ile ilgisiz taksonların saptanması
Düşük DNA miktarı ve bozunmuş materyal	Örnekte yeterli nükleik asit bulunmaması	Amplifikasyon başarısının düşmesi, kısmi profil, stokastik yanlışlık
Uygun olmayan belirteç seçimi	Kullanılan barkod bölgesinin briyofit grubunda yeterli ayırt edicilik sağlamaması	Tür/cins düzeyinde belirsiz tanımlama, aşırı yorum riski
Referans veri tabanının yetersizliği	Yerel flora veya ilgili taksonlar için doğrulanmış dizilerin eksik olması	Yanlış eşleşme, düşük çözümünürlük, yorum güvenliliğinin azalması

Metodolojik risk	Kısa açıklama	Olası etkisi
Karışık örnekler	çevresel Aynı örnekte birden fazla bitki taksonunun bulunması	Baskın takson lehine yanlılık, düşük bolluktaki taksonların gözden kaçması
Biyoinformatik filtreleme yanlılığı	Eşik değerleri, kalite filtreleri ve veri işleme adımlarının sonucu etkilemesi	Laboratuvarlar arası uyumsuzluk, tekrar üretilebilirliğin azalması
Ekolojik bağlamın yetersiz değerlendirilmesi	Takson saptansa bile habitat, substrat ve mikroçevre bilgisinin yeterince dikkate alınmaması	Bulguların adli anlamının zayıflaması, köken yorumunda aşırı genelleme
Zincirleme sorunları	Örneğin kimden, ne zaman, nasıl alındığı ve saklandığının yeterince belgelenmemesi	Hukuki kabul edilebilirliğin zayıflaması
Aşırı yorum	Bulguların destekleyici delil niteliği yerine kesin eşleştirme gibi sunulması	Bilimsel ve hukuki itirazlara açıklık, rapor güvenilirliğinin zedelenmesi

Tablo 2. Briyofit–DNA validasyonunda ölçülmesi gereken başlıca performans parametreleri

Performans parametresi	Ne ölçülür?	Neden önemlidir?
Analitik duyarlılık	Saptanabilir en düşük DNA miktarı	Az miktartlı veya bozunmuş örneklerde yöntemin çalışabilirliğini gösterir
Analitik özgüllük	Hedef briyofit taksonlarını diğer bitkisel materyalden ayırma gücü	Yanlış eşleşme ve çapraz amplifikasyon riskini değerlendirir
Ayırt edicilik gücü	Seçilen belirtcin tür/cins düzeyinde ayırım kapasitesi	Adli yorumun taksonomik çözünürlüğünü belirler
Tekrarlanabilirlik	Aynı laboratuvar, aynı koşullarda benzer sonuç üretme başarısı	Yöntemin iç tutarlılığını gösterir
Yeniden üretilebilirlik	Farklı günlerde, farklı operatörlerle veya farklı laboratuvarlarda benzer sonuç verme başarısı	Yöntemin dış güvenilirliğini ortaya koyar
Karışık örnek performansı	Birden fazla takson içeren örneklerde saptama başarısı	Gerçek olay yeri örneklerinin çoğu karma yapıda olduğu için kritik önemdedir
Bozunmuş örnek toleransı	Parçalanmış veya çevresel olarak zarar görmüş DNA’da başarı oranı	Adli örneklerin gerçek koşullarına uygunluğu gösterir
Kontaminasyon dayanıklılığı	Negatif kontroller ve blank örneklerde yalancı sinyal oluşup oluşmadığı	Laboratuvar güvenirliliği ve yorum güveni açısından gereklidir
Referans veri tabanı uyumu	Elde edilen dizilerin doğrulanmış referanslarla eşleşme başarısı	Takson tayininin güvenirliliğini doğrudan etkiler
Biyoinformatik kararlılık	Farklı analiz eşikleri ve yazılım adımlarında sonucun ne değiştiği	Sonucun veri işleme tercihlerine aşırı bağımlı olup olmadığını gösterir

Performans parametresi	Ne ölçülür?	Neden önemlidir?
Raporlanabilirlik	Sonucun belirsizlikleriyle birlikte açık ve standardize sunulabilmesi	birlikte Mahkeme ve uzman biçimde değerlendirmesi açısından zorunludur

7.4. Yorumlama ve hukuki kabul edilebilirlik

Bir yöntemin mahkemede kabul edilebilirliği, yalnızca laboratuvarlarda teknik olarak çalışıyor olmasına dayanmaz. Daubert çerçevesi altında yöntemin test edilebilir olup olmadığı, hakemli yayınlarda yer alıp almadığı, bilinen veya potansiyel hata oranı, standardize iş akışlarının bulunup bulunmadığı ve ilgili bilim topluluğunda kabul düzeyi gibi unsurlar önem kazanır. Briyofit-DNA temelli adli analizler için temel güçlük, yöntemin araştırma düzeyinde umut verici olmasına karşın hata oranı, laboratuvarlar arası tekrarlanabilirlik ve yorum standardizasyonunun henüz insan adli genetiğindeki kadar kurumsallaşmamış olmasıdır. Bu nedenle briyofit-DNA bulgularının en savunulabilir sunum biçimi, bugün için çoğu durumda destekleyici ve bağlamsal delil olarak raporlanmalarıdır; tek başına kesin kimliklendirme veya tekil köken tayini dili aşırı yorum riski taşır. Raporlama dili, kullanılan markerın çözünürlüğü, referans veri tabanının kapsamı, örneğin karışık yapısı ve analitik belirsizlikler ile uyumlu biçimde kurulmalıdır.

7.5. Standardizasyon: ISO/IEC 17025, SWGDAM ve alana özgü rehber ihtiyacı

Briyofit-DNA temelli analizlerde standardizasyon, yalnızca kurumsal çerçevelerin anılmasıyla sınırlı bir mesele değildir. Temel sorun, yöntem performansının hangi parametrelerle tanımlanacağı ve bu performansın laboratuvarlar arasında nasıl karşılaştırılabilir hâle getirileceğidir.

SWGDAM'ın 2025 tarihli *Quality Assurance Standards for Forensic DNA Testing Laboratories* dokümanı ve buna bağlı rehberler, adli DNA kalite güvencesi açısından hâlen temel referanslar arasında yer almaktadır. Ancak bu belgeler esas olarak insan adli DNA uygulamalarına yöneliktir; bu nedenle briyofit-DNA gibi insan dışı biyolojik materyaller için doğrudan bir protokol değil, ilkesel bir çerçeve olarak değerlendirilmelidir.

Benzer şekilde ISO/IEC 17025, teknik yeterlilik, tarafsızlık ve tutarlı laboratuvar işletimi açısından genel bir akreditasyon zemini sunar. Bununla birlikte briyofit-DNA uygulamalarında asıl gereksinim, bu genel çerçevenin alana özgü validasyon ölçütleriyle somutlaştırılmasıdır.

ENFSI'nin 2024 tarihli doğrulama rehberi, iç validasyonun belirli bir yöntem için, hedeflenen kullanım bağlamında uygunluğun gösterilmesini zorunlu kıldığını açık biçimde ortaya koymaktadır. Bu yaklaşım briyofit-DNA analizleri için de doğrudan yol göstericidir.

Dolayısıyla alanın temel ihtiyacı, kurumsal referansların sıralanması değil; duyarlılık, özgüllük, karışık örnek performansı, bozunmuş materyale tolerans, biyoinformatik süreçlerin sürüm kontrolü ve referans veri tabanı kapsamı gibi parametreleri içeren, alana özgü validasyon ve kalite güvencesi rehberlerinin geliştirilmesidir.

7.6. İç ve dış validasyon gereksinimi

Validasyon bu alan için teknik bir ayrıntı değil, kurucu meseledir. İç validasyon, belirli bir laboratuvarın kendi yöntem akışında, kendi ekipmanı ve personeliyle yöntemin amaçlanan kullanım için güvenilir olduğunu göstermelidir. Dış validasyon ise farklı laboratuvarlarda benzer örnek tipleri üzerinde sonuçların ne ölçüde karşılaştırılabilir olduğunu test eder. Bryofit-DNA analizleri açısından iç ve dış validasyonun en az şu başlıkları kapsamı gerekir: minimum kullanılabilir DNA miktarı, taksonomik ayırt edicilik, karışık örnek performansı, bozulmuş materyalde başarı oranı, operatörler arası tutarlılık, negatif kontrol performansı, laboratuvar içi ve laboratuvarlar arası tekrarlanabilirlik ile referans veri tabanı bağımlılığı. Özellikle coğrafi köken tahmini gibi ileri yorumların bugünkü aşamada daha çok araştırma hedefi olarak görülmesi; rutin adli kapasite gibi sunulmaması daha uygun olacaktır.

7.7. Gelecek yönelimi: standartlaşma kadar eğitim ve referans altyapısı

Briyofit-DNA temelli adli analizlerin yaygınlaşabilmesi için yalnızca teknik protokoller değil, eğitim ve referans altyapısı da geliştirilmelidir. Olay yeri personeli briyofit materyalini fark etmezse analitik kapasite anlamını yitirir; voucher temelli referans koleksiyonları ve güvenilir sekans altyapısı kurulmazsa laboratuvar yorumu zayıf kalır; şeffaf ve ölçülü raporlama geliştirilmezse mahkeme bağlamında güvenilirlik oluşturmak güçleşir. Bu nedenle gelecekteki standartlaşma gündemi, örnekleme eğitimi, referans kütüphaneleri, disiplinler arası iş birliği ve kalite güvencesi kültürünün birlikte geliştirilmesini içermelidir.

Sonuç

Bununla birlikte, briyofit temelli adli değerlendirmelerin güvenilirliği; morfolojik gözlem, ekolojik bağlam, dikkatli örnekleme ve uygun durumlarda moleküler doğrulamanın birlikte ele alınmasına bağlıdır. Bu nedenle briyofitler tek başına kesin hüküm veren bir kanıt değil; diğer bulgularla birlikte anlam kazanan güçlü bir tamamlayıcı delil kaynağı olarak görülmelidir. Son yıllarda yapılan kapsamlı derlemeler, briyofitlerin adli bilimlerde henüz yeterince kullanılmadığını ancak PMI tahmini, mekânsal ilişkilendirme ve olay

rekonstrüksiyonu gibi kritik alanlarda önemli bir potansiyele sahip olduğunu açıkça ortaya koymaktadır.

Sonuç olarak, briyofitler adli bilimler için henüz tam olarak kullanılmamış, ancak önemli bir potansiyel taşıyan biyolojik materyallerdir. Gelecekte standart yöntemlerin, referans veri tabanlarının ve disiplinler arası çalışmaların gelişmesiyle birlikte, bu grubun adli botanik içindeki yeri daha da güçlenecektir.

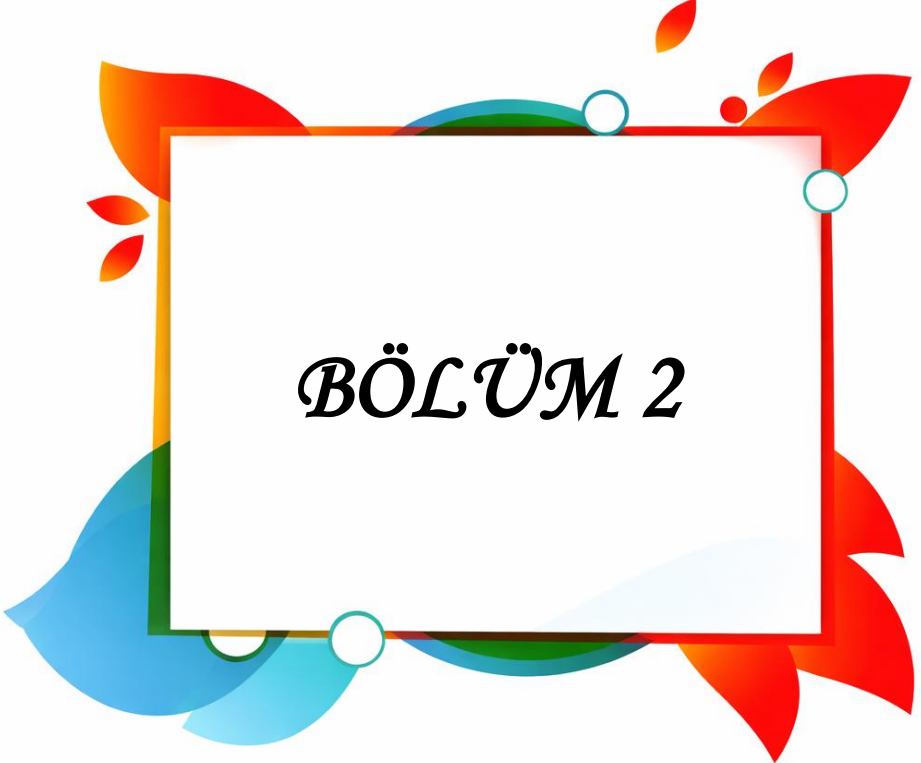
Not: Kitap içerisinde yer alan görseller yapay zekâ tarafından oluşturulmuştur.

Kaynakça

- Abay G & Gül S (2025) Modeling the distribution of the endemic Turkish moss species *Cinclidotus bistratosus* Kürschner & Lüb.-Nestle (Pottiaceae) under various climate change scenarios. *Front. Plant Sci.* 16:1659115. doi: 10.3389/fpls.2025.1659115
- Akkan O, Yildirim B, Hurkan K, Mustafayeva (2024). The importance of plant DNA examination in forensic botany. *Med Science.* 13(2):346-55.
- Alotaibi, S. S., Sayed, S. M., Alosaimi, M., Alharthi, R., Banjar, A., Abdulqader, N., & Alhamed, R. (2020). Pollen molecular biology: Applications in forensic palynology and future prospects: A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 27(5), 1185–1190. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2020.02.019>
- American National Accreditation Board (ANAB). (2026). *ISO/IEC 17025 forensic testing laboratory accreditation*.
- Cardoso, H. F. V., Santos, A., Dias, R., Garcia, C., Pinto, M., Sérgio, C., & Magalhães, T. (2010). Establishing a minimum postmortem interval using bryophyte growth. *International Journal of Legal Medicine*, 124(5), 451–456. <https://doi.org/10.1007/s00414-010-0445-1>
- Cornell Law School, Legal Information Institute. (n.d.). *Daubert standard*. https://www.law.cornell.edu/wex/daubert_standard
- Corradini, B., Ferrari, F., Ferri, G., Gianfreda, D., Borciani, I. L., Santunione, A. L., & Cecchi, R. (2024). Forensic species identification: Practical guide for animal and plant DNA analysis. *International Journal of Legal Medicine*, 138(6), 2271–2280. <https://doi.org/10.1007/s00414-024-031xx-x>
- Coyle, H. M., Lee, C.-L., Lin, W.-Y., Lee, H. C., & Palmbach, T. M. (2005). Forensic botany: Using plant evidence to aid in forensic death investigation. *Croatian Medical Journal*, 46(4), 606–612.
- Duan, L., & Wang, X. (2024). Species diversity and microhabitat characteristics of bryophytes on different types of walls in a karst city, Guiyang (SW China). *Urban Ecosystems*, 27(3), 869–882. <https://doi.org/10.1007/s11252-023-013xx-x>
- Erdağ, A., & Kürschner, H. (2017). A reference list of Turkish bryophytes (1829–2017). *Anatolian Bryology*, 3(2), 81–102.
- European Network of Forensic Science Institutes (ENFSI). (2024). *Guideline for internal validation/verification of DNA profiling methods and interpretation models used in forensic DNA analysis*.
- Graham, S. A. (1997). Anatomy of the Lindbergh kidnapping. *Journal of Forensic Sciences*, 42(3), 368–378.

- Hassel, K., Segreto, R., & Ekrem, T. (2013). Restricted variation in plant barcoding markers limits identification in closely related bryophyte species. *Molecular Ecology Resources*, 13(6), 1047–1057. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12138>
- Kasprzyk, I. (2023). Forensic botany: Who?, how?, where?, when? *Science & Justice*, 63(2), 258–275. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2023.01.003>
- Kpetikou, C. G., et al. (2025). Current knowledge and research perspectives on bryophytes in West Africa. *Diversity*, 17(12), 807. <https://doi.org/10.3390/d17120807>
- Kürschner, H., & Erdağ, A. (2005). Bryophytes of Turkey: An annotated reference list of the species with synonyms from the recent literature and an annotated list of Turkish bryological literature. *Turkish Journal of Botany*, 29, 95–154.
- Kürschner, H., & Frey, W. (2011). *Liverworts, mosses and hornworts of Southwest Asia*. Stuttgart: Borntraeger.
- Lane, M. A. (1990). Forensic botany. *BioScience*, 40(1), 34–39.
- Letsiou, S., Pappi, P., Lazari, D., De Vos, P., & Golemis, A. (2024). DNA barcoding as a plant identification method. *Applied Sciences*, 14(4), 1415. <https://doi.org/10.3390/app14041415>
- Margiotta, G., Di Bari, F., Buccianti, A., & Vanin, S. (2015). Forensic botany as a useful tool in the crime scene: Report of a case. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 34, 24–28. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2015.06.001>
- Merkel, J., von Konrat, M., Stark, L. R., Laurence, A., Briscoe, L., Collings, B., Carrington, P., Kreider, D., Larraín, J., Lichamer, A., Merrill, G., Reznicek, A., Stevenson, R. J., Telewski, F. W., & Wells, J. B. (2025). Green clues: Unveiling the role of bryophytes in forensic science. *Forensic Sciences Research*, 10(3), owaf026. <https://doi.org/10.1093/fsr/owaf026>
- Mildenhall, D. C., Wiltshire, P. E. J., & Bryant, V. M. (2006). Forensic palynology. In *Forensic science* (ilgili kitap bölümü).
- Monteiro, J., et al. (2023). Bryophyte assembly rules across scales. *Journal of Ecology*. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.xxxxx>
- Oliveira, M., Magalhães, T., & Dinis-Oliveira, R. J. (2023). Using plants in forensics: State-of-the-art and prospects. *Forensic Science International*, 353, 111874. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111874>
- Shao, Y., et al. (2023). Importance of bark physicochemical properties in an epiphytic bryophyte community. *Diversity*, 15(5), 688. <https://doi.org/10.3390/d15050688>

- Söderström, L., Hagborg, A., von Konrat, M., et al. (2016). World checklist of hornworts and liverworts. *PhytoKeys*, 59, 1–828. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.59.6261>
- Su, X., et al. (2025). Bryophyte community composition and diversity as indicators along environmental gradients. *Plants*, 14(20), 3209. <https://doi.org/10.3390/plants14203209>
- Scientific Working Group on DNA Analysis Methods (SWGDM). (2025). *Quality assurance standards for forensic DNA testing laboratories*.
- Tie, S., et al. (2023). Biodiversity and ecological network of epiphytic bryophytes and host trees. *Ecological Indicators*, 146, 109826. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.109826>
- U.S. Supreme Court. (1993). *Daubert v. Merrell Dow Pharmaceuticals, Inc.*, 509 U.S. 579.
- Virtanen, R., et al. (2007). Bryophyte ecology and environmental gradients.
- Wysocki, A., et al. (2024). Host tree availability shapes potential distribution of a forest bryophyte. *Scientific Reports*, 14, 69041. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-69041-x>
- Yodphaka, S., Boonpragob, K., Lumbsch, H. T., & Kraichak, E. (2018). Evaluation of six regions for their potential as DNA barcodes in epiphyllous liverworts. *Applications in Plant Sciences*, 6(8), e1174. <https://doi.org/10.1002/aps3.1174>
- Yücel, K. M., Tarım, H., Keçeli, T., & Gökler, İ. (2025). Current checklist and distribution of liverworts and hornworts in Türkiye. *Anatolian Bryology*, 11(2), 131–148.



BÖLÜM 2

The Medical and Veterinary Importance of *Culicoides* Species Worldwide and in Türkiye

*Asım Özbek¹ & Milad Afşar² & Muhammed Yasul³ &
Zeynep Taş Cengiz⁴*

The genus *Culicoides* Latreille, 1809, belonging to the family Ceratopogonidae (Diptera: Nematocera), comprises species of obligate blood-feeding midges with body lengths ranging from 1 to 3 mm (1). This genus is recognized as a group of vectors of global importance in the fields of medical and veterinary entomology. *Culicoides* species act as biological vectors for a variety of pathogens, including more than 50 arboviruses as well as numerous species of protozoa and nematodes (1-5). The genus's importance in veterinary medicine stems particularly from its role in transmitting pathogens that cause significant economic losses such as Blue Tongue Virus (BTV), Epizootic Hemorrhagic Disease Virus (EHDV), and African Horse Sickness Virus (AHSV) as well as viruses belonging to the Orthobunyavirus genus and the Schmallenberg virus (6). Additionally, some *Culicoides* species also serve as active vectors for the *Haemoproteus* genus of haemosporidian parasites found in winged insects (7). Due to these characteristics, the epidemiological dynamics of *Culicoides* vectors and the zoonotic pathogens they transmit are currently being closely monitored and studied by public and animal health authorities through comprehensive surveillance programs within the framework of a holistic health approach. The *Culicoides* genus exhibits extremely high taxonomic diversity, with more than 1,400 described species worldwide (8,9). A significant portion of these species are hematophagous, which feed on the blood of humans and many animals. Furthermore, many species serve as biological vectors for animal pathogens, causing significant allergic and pathological reactions in their hosts. In the Palearctic region, which includes Türkiye, the *Culicoides* subgenus constitutes a particularly important group. However, since the species within this subgenus exhibit significant morphological polymorphism and character overlap, they are often grouped under the umbrella of a "species complex"; this resulting taxonomic uncertainty strongly supports the potential existence of cryptic species

¹ 0000-0002-5002-0232, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

² 0000-0003-1978-4127, Van Yüzüncü Yıl Üniversitesi

³ 0000-0001-7948-5773, Iğdır Üniversitesi, Iğdır Meslek Yüksekokulu

⁴ 0000-0002-5247-5644, Yüzüncü Yıl Üniversitesi

that have not yet been described in the literature (3,5,9,10). Taxonomic challenges in species identification are significantly compounded by the fact that field studies typically yield predominantly female specimens compared to males, as well as by the high levels of intra- and interspecific variation in wing phenotypes (10,11). Although the widespread adoption of molecular phylogenetics and DNA barcoding techniques has led to the identification of numerous cryptic species (10,12), there are still significant gaps in the genetic datasets for some species complexes and regional populations (13). This situation makes it difficult to reliably distinguish between *Culicoides* species at the species level and to clearly identify their specific roles as vectors. Consequently, there remains a need for the use of genetics-based approaches, particularly in distinguishing closely related species. The vector potential of these species, is of great importance, particularly in relation to arboviral infections that cause serious clinical and economic losses in ruminants. These hematophagous taxa, which are epidemiologically significant, serve as primary vectors for the transmission of specific infectious agents observed particularly in ruminants. The literature indicates that certain species groups within this genus play an active role in the transmission and maintenance of viral pathogens in Northern Europe, and that they are of epidemiological importance, particularly in terms of the seasonal abundance, geographic distribution, and vector competence of these species. It has been reported that this genus acts as a biological vector for various arboviruses, primarily the Blue Tongue Virus (BTV), and has been particularly prominent in outbreaks occurring in Europe. This highlights the *Culicoides* species' epidemiological importance and underscores the need for a more detailed examination of their regional distribution and vector capacity (14).

The blood-feeding dynamics of *Culicoides* species can cause not only stressful effects on hosts but also significant clinical complications. Among the pathologies resulting from direct contact, skin erosions and secondary bacterial infections observed in humans following bites by certain species have been reported (15,16). The most pronounced and severe clinical presentations have been documented in horses, where repeated exposure to bites from species such as *Culicoides imicola*, *Culicoides pulicaris*, *Culicoides obsoletus*, *Culicoides brevitarsis*, and *Culicoides impunctatus*; causing acute pruritus, papular dermatitis, hypersensitivity reactions, and severe allergic dermatitis known as "Kasen disease" (*Culicoides* hypersensitivity) (17-20). When we consider that these species also serve as biological vectors for numerous bacteria, viruses, and parasites, the importance of the *Culicoides* genus in veterinary medicine and public health becomes even more significant. The transmission of vector-borne diseases such as Blue Tongue Virus (BTV), particularly to farm animals, imposes a significant burden on national economies by causing production losses, increased treatment costs, and international trade restrictions, and directly threatens the sustainability of the livestock sector (21).

***Culicoides* Species Worldwide and in Türkiye**

Taxa belonging to the *Culicoides* genus are distributed across all zoogeographic regions except Antarctica and at elevations ranging up to approximately 4,000 meters above sea level. This wide-ranging distribution demonstrates that the genus possesses a high ecological tolerance, enabling it to adapt to diverse environmental conditions. Furthermore, these characteristics enable *Culicoides* species to establish sustainable populations in various habitats (1,22).

The first scientific records of the *Culicoides* fauna in Türkiye were reported by Kieffer (23). Subsequent studies by Edwards (24), Leclercq (25), Navai (26) and Jennings et al. (27) contributed to the expansion of faunistic knowledge by providing new species records from various regions of Türkiye. One of the significant studies on the *Culicoides* fauna in Türkiye was conducted in Konya and its surroundings; in this study, a total of 36 species were identified, and 19 of these were reported as first records for Türkiye (28).

In a subsequent study conducted in the Elazığ region, 42 species were identified, and it was reported that seven of these were added to the Turkish fauna as new records (29). In subsequent years, studies by Burgu et al. (30) and Dik (31,32) reported additional species records from other regions of the country, further enriching this inventory. Among recent faunistic contributions, the first records of three species (*Culicoides brunnicans*, *Culicoides griseidorsum*, *Culicoides reconditus*) in the Black Sea Region by Turgut and Kılıç (33), and two species (*Culicoides alazanicus*, *Culicoides delta*) by Dik et al. (34) are included. Subsequently, Korkmaz et al. increased this number to 72 with the new species they recorded during their comprehensive field study conducted in 51 provinces. (35). These studies demonstrate that there is a high diversity of *Culicoides* species in Türkiye and that regional studies have made significant contributions to expanding faunistic knowledge. However, detailed information on the distribution and population ecology of many species is still lacking, as is a comprehensive and up-to-date national faunistic inventory.

The Medical and Veterinary Importance of *Culicoides* Species

The fact that species of the *Culicoides* genus, with body lengths ranging from 1 to 3 mm, can easily pass through standard mosquito nets and vector barriers significantly complicates the implementation of physical protective measures against this taxon. The intense hematophagous activity of females, which breed in specific habitats such as moist soil and manure rich in organic matter and reach high population densities, can cause acute itching, local edema, and severe papular dermatitis in humans and susceptible animals (22,36).

Based on the hematophagous activity of these species, cases of seasonal allergic dermatitis have been reported in humans, horses, and sheep. Clinical

observations reveal a clear topographical correlation between the anatomical regions where lesions such as erythema, papules, and excoriations are localized (head, ears, neck, back, and abdomen) and the vector's specific feeding sites (37-40). Experimental evidence regarding the immunological basis of allergies has shown that subcutaneous injection of antigenic extracts derived from *Culicoides* salivary glands into animals can induce hypersensitivity reactions similar to those caused by a natural bite (41,42).

Culicoides species, which are distributed across a wide geographical range including the Caribbean, Mexico, the United States, Canada, Australia, and Scotland, are frequently cited in the literature due to their high blood-feeding activity in human and animal populations. The fact that seasonal increases in the population densities of these taxa often coincide with the regional tourism season disrupts outdoor recreational activities; this situation leads to a decline in labor productivity and significant contractions in local economies. In the livestock sector, chronic irritation and bite stress caused by vector exposure negatively impact animal welfare, thereby leading to indirect economic losses. The stress and risk of secondary infection resulting from repeated bites lead to reduced productivity, including slowed growth rates, decreased milk production, and a decline in overall condition. Clinically, *Culicoides* bites can trigger pathologies such as "summer eczema" characterized by ulcerative skin lesions which can exceed 1 cm in diameter developing due to acute pain, severe local irritation, and hypersensitivity reactions. In the case of Scotland, although *C. impunctatus* is not a known pathogen vector, the high population density it reaches during the summer months create significant socioeconomic pressure on the regional economy (1,3,4,15).

Literature data indicate that a single light trap can collect up to 2 kg of biomass (millions of flies) in a single night, and that this density leads to workday losses of up to 20% among forestry workers. This situation demonstrates that *Culicoides* species significantly impact regional quality of life and strategic economic sectors not only through their vectorial capacity but also through the direct biological exposure pressure they create (37,43).

Protozoa Transmitted by *Culicoides* Species

It has been reported that flies belonging to the *Culicoides* genus are potential vectors of various protozoan species or act as carriers of these organisms (44). However, for a species to be considered a true biological vector, it is essential that the pathogen be present in an infectious form in the vector's salivary glands (45). In this context, the genus *Culicoides* is the only known vector of *Hepatozoon* species to date. Unlike *Plasmodium* species, these parasites form cysts in the muscle fibers of the vector (46). *Haemoproteus* species, which are commonly found in birds, can also be transmitted by *Culicoides*; in these parasites, the extracellular merogonic stage occurs not in the bloodstream but in

various tissues of the host (47). Although the general vectors of the *Leucocytozoon* genus are *Simulium* flies, it has been determined that the species *Leucocytozoon caulleryi* is specifically transmitted by *Culicoides* (48). Findings related to important pathogens such as *Leishmania* and *Trypanosoma* are more complex. Infectious forms of *Leishmania* have been detected in *Culicoides*, but it has been reported that these forms are found in the intestinal lumen rather than in the salivary glands and are excreted via feces. This raises the possibility of mechanical transmission (49). Although early studies on *Trypanosoma* indicated that the parasite could not establish itself in the gut of *Culicoides*, more recent research suggests that certain *Culicoides* species, such as *Culicoides nubeculosus*, may have the potential to serve as vectors for specific *Trypanosoma* strains (50).

Filarial Nematodes Transmitted by *Culicoides* Species

At least 60 species of *Culicoides* are recognized as vectors of viruses, protozoa, and filarial nematodes that affect humans and livestock. Filarial nematodes belonging to the superfamily Filarioidea require an arthropod vector to complete a stage of their life cycle. Mature female parasites established in vertebrate hosts (such as humans, cattle, and dogs) produce microfilariae (first larval stage: L1) that are either embedded in the skin tissue or circulating in the peripheral blood. A blood-feeding *Culicoides* midge ingests these microfilariae while feeding on blood. Following entry into the vector's body, the microfilariae first exit the digestive tract and migrate to the abdominal fat tissue or thoracic muscles. There, they complete their development by first taking on a characteristic "sausage" shape, then progressing to the second larval stage (L2), and finally to the infective third larval stage (L3). This process of morphological and physiological maturation typically takes between 6 and 15 days, depending on factors such as temperature and the type of parasite (44,51,52). Infective L3 subsequently migrate to the vector's proboscis (tube) and infect a new vertebrate host either by penetrating the host's skin during the fly's blood-feeding or by being deposited at the feeding site (51,52).

Infective L3 infect a new vertebrate host by migrating into the proboscis (mouthparts) of the vector fly during its next blood meal. This infection occurs either through the larvae actively piercing the skin in the feeding area or by being injected along with saliva. In the new host, the L3s continue their development, maturing into sexually mature adult nematodes and completing their life cycle. For an arthropod to be definitively identified as a biological vector of a filarial nematode, the detection of infective L3 the final product of this obligatory developmental process in the vector's tissues (typically the proboscis) is a fundamental and indispensable criterion (44).

Viruses Transmitted by *Culicoides* Species

The role of the genus *Culicoides* as a vector for pathogens was first established in the scientific literature through the pioneering work of Du Toit (53). In this

seminal study, it was demonstrated that *Culicoides* species can experimentally transmit important pathogens such as African Horse Sickness Virus (AHSV) and Blue Tongue Virus (BTV). The ability of homogenates prepared from infected *Culicoides* specimens and of midges that had fed on blood from viremic animals to induce the disease in healthy, susceptible hosts provided the first concrete evidence that *Culicoides* species are potential vectors for various viruses. This finding fundamentally shifted the focus of research in the field of vector entomology. However, for an arthropod species to be definitively classified as an effective biological vector in nature, it must meet a set of epidemiological and experimental criteria recommended by the World Health Organization (WHO) and widely accepted. These criteria involve a comprehensive assessment of vector competence and include the following:

1. Virus Isolation: The ability to isolate the virus from arthropods that have not fed on blood in the wild.
2. Vector Competence: The ability of an arthropod to become infected through artificial or natural means under laboratory conditions.
3. Transmission Capacity: The ability to successfully transmit the infection to a susceptible host through feeding.
4. Epidemiological Association: The epidemiological observation of a frequent and natural association between the infected host and the suspected vector species in a region where the infection is endemic (44).

Knowledge regarding the mechanisms underlying virus transmission dynamics involving *Culicoides* is constantly evolving. The long-held general consensus is that most pathogens transmitted by these vectors, including BTV, do not exhibit transovarial transmission within *Culicoides* populations (54,55). However, the detection of the Schmallenberg virus (SBV) in wild-caught, blood-naïve (nulliparous) females and in naturally non-hematophagous male *Culicoides* species strongly supports the hypothesis that the pathogen is also transmitted within the vector population via vertical (transovarial) transmission (56). Another critical finding regarding the diversity of viral transmission dynamics is the demonstration that Vesicular Stomatitis Virus (VSV) can also be transmitted through sexual contact. Current studies have shown that the virus can be transmitted bidirectionally from infected females to males and from infected males to females (57). This situation indicates that *Culicoides*-virus interactions involve multidimensional dynamics that cannot be assessed solely within the context of mechanical or biological vector transmission, and that they go beyond traditional vector transmission paradigms (58).

Conclusions and Recommendations

In this section; the bio-ecological characteristics, vector potential, and distribution profiles of taxa belonging to the *Culicoides* genus across Türkiye

were evaluated based on current literature data. The findings indicate that, given the broad dispersal capacity of the zoonotic and epizootic pathogens they carry, this vector group may pose a critical epidemiological risk to public and animal health. However, the need to integrate molecular taxonomic approaches (DNA barcoding, nuclear and mitochondrial gene analyses) into diagnostic processes is becoming increasingly evident in elucidating species complexes and cryptic taxa where traditional morphological identification methods fall short. The limited availability of comprehensive molecular data on the *Culicoides* fauna in Türkiye significantly hinders our ability to clarify the regional disease-transmission potential of these midges and conduct accurate risk assessments. In conclusion, it is anticipated that systematic field surveillance based on broad geographic and seasonal parameters, conducted in the coming periods and supported by modern phylogenetic tools, will provide the foundation for a clearer understanding of regional infection dynamics and the development of evidence-based vector control strategies.

References

1. Mellor, P. S., Boorman, J., & Baylis, M. (2000). *Culicoides* biting midges: Their role as arbovirus vectors. *Annual Review of Entomology*, 45, 307-340.
2. Linley, J. R. (1985). Biting midges (Diptera: Ceratopogonidae) as vectors of nonviral animal pathogens. *Journal of Medical Entomology*, 22(6), 589-599.
3. Meiswinkel, R., Venter, G. J., & Nevill, E. M. (2004). Vectors: *Culicoides* spp. In J. A. W. Coetzer & R. C. Tustin (Eds.), *Infectious diseases of livestock* (pp. 93-136). Cape Town: Oxford University Press.
4. Carpenter, S., Groschup, M. H., Garros, C., Felipe-Bauer, M. L., & Purse, B. V. (2013). *Culicoides* biting midges, arboviruses and public health in Europe. *Antiviral Research*, 100(1), 102-113.
5. Ramilo, D. W., Nunes, T., Madeira, S., Boinas, F., & da Fonseca, I. P. (2017). Geographical distribution of *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) in mainland Portugal: Presence/absence modelling of vector and potential vector species. *PLoS One*, 12 (7), e0180606.
6. Elbers, A. R., Meiswinkel, R., van Weezep, E., van Oldruitenborgh-Oosterbaan, M. M. S., & Kooi, E. A. (2013). Schmallenberg virus in *Culicoides* spp. biting midges, the Netherlands, 2011. *Emerging Infectious Diseases*, 19(1), 106-109.
7. Bernotiene, R., & Valkiunas, G. (2016). PCR detection of malaria parasites and related haemosporidians: The sensitive methodology in determining bird-biting insects. *Malaria Journal*, 15(1), 283.
8. Harrup, L. E., Bellis, G. A., Balenghien, T., & Garros, C. (2015). *Culicoides* Latreille (Diptera: Ceratopogonidae) taxonomy: Current challenges and future directions. *Infection, Genetics and Evolution*, 30, 249-266.
9. Borkent, A. (2016). World species of biting midges (Diptera: Ceratopogonidae). *Bulletin of the American Museum of Natural History*, 404, 1-130.
10. Pages, N., Munoz-Munoz, F., Talavera, S., Sarto, V., Lorca, C., & Nunez, J. I. (2009). Identification of cryptic species of *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) in the subgenus *Culicoides* and development of species-specific PCR assays based on barcode regions. *Veterinary Parasitology*, 165 (3-4), 298-310.
11. Nolan, D. V., Carpenter, S., Barber, J., Mellor, P. S., & Dallas, J. F. (2007). Rapid diagnostic PCR assays for members of the *Culicoides obsoletus* and *Culicoides pulicaris* species complexes, implicated vectors of bluetongue virus in Europe. *Veterinary Microbiology*, 124(1-2), 82-94.
12. Garros, C., Balenghien, T., Carpenter, S., Delécolle, J. C., Meiswinkel, R., Pedarrieu, A., & Cêtre-Sossah, C. (2014). Towards the PCR-based identification of Palearctic *Culicoides* biting midges (Diptera:

- Ceratopogonidae): Results from an international ring trial targeting four species of the subgenus *Avaritia*. *Parasites & Vectors*, 7, 223.
13. Nielsen, S. A., & Kristensen, M. (2015). Delineation of *Culicoides* species by morphology and barcode exemplified by three new species of the subgenus *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) from Scandinavia. *Parasites & Vectors*, 8, 151.
 14. Carpenter, S., Wilson, A., & Mellor, P. S. (2009). *Culicoides* and the emergence of bluetongue virus in northern Europe. *Trends in Microbiology*, 17(4), 172-178.
 15. Wirth, W. W., & Blanton, F. S. (1959). Biting midges of the genus *Culicoides* from Panama (Diptera: Ceratopogonidae). *Proceedings of the United States National Museum*, 109(3415), 237-482.
 16. Wongsathuaythong, S., Fuangtong, R., & Ketavan, C. (1977). Insect and arachnid allergy in Thailand. *Journal of the Medical Association of Thailand*, 60, 274-278.
 17. Riek, R. F. (1954). Studies on allergic dermatitis (Queensland itch) of the horse: The aetiology of the disease. *Australian Journal of Agricultural Research*, 5, 109-129.
 18. Nakamura, R., Matsushashi, A., Yamashita, N., Igarashi, Y., & Oishi, I. (1956). Studies on "Kasen" of horses in Hokkaido. III. Research on the actual state of the disease. *Japanese Journal of Veterinary Research*, 4, 81-88.
 19. McCaig, J. (1973). A survey to establish the incidence of sweet itch in ponies in the United Kingdom. *Veterinary Record*, 93, 444-446.
 20. Braverman, Y. (1988). Preferred landing sites of *Culicoides* species (Diptera: Ceratopogonidae) on a horse in Israel and its relevance to summer seasonal recurrent dermatitis (sweet itch). *Equine Veterinary Journal*, 20, 426.
 21. Polat, E., & Fındık Pakrooh, A. (2025). Bluetongue disease. In Ö. Gülaydın, M. Yeşilyurt, & O. Yıldırım (Eds.), *Basic and clinical studies in veterinary medicine-II*. Özgür Publications.
 22. Borkent, A. (2012). *World species of biting midges (Diptera: Ceratopogonidae)*. [Unpublished database].
 23. Kieffer, J. J. (1918). Beschreibung neuer, auf Lazarettsschiffen gesammelter Chironomiden und Ceratopogoniden. (Dipt.). *Entomologische Mitteilungen*, 7(1/3), 33-44.
 24. Edwards, F. W. (1939). On the British species of *Culicoides* (Diptera, Ceratopogonidae). *Proceedings of the Royal Entomological Society of London. Series B, Taxonomy*, 8(8), 147-154.

25. Leclercq, M. (1966). Ceratopogonidae (Diptera) de Turquie. *Bulletin de l'Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique*, 42(34), 1-10.
26. Navai, S. (1977). Ceratopogonidae (Diptera) of Iran. *Journal of the Entomological Society of Iran*, 4(1-2), 15-30.
27. Jennings, D. M., Mellor, P. S., & Boorman, J. P. T. (1983). *Culicoides* from western Turkey in relation to bluetongue disease of sheep and cattle. *Revue d'Élevage et de Médecine Vétérinaire des Pays Tropicaux*, 36(1), 67-70.
28. Dik, B., & Dinçer, Ş. (1992). *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) species found in cattle in various regions of Turkey. *Doğa Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 16(2), 199-215.
29. Yılmaz, H. (1994). *Investigations on Culicoides (Diptera: Ceratopogonidae) species found in the Elazığ region* (Doctoral dissertation). Firat University Institute of Health Sciences, Elazığ, Turkey.
30. Burgu, A., Urman, H. K., & Özçelik, S. (1992). *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) species observed in cattle in various regions of Turkey. *Ankara University Faculty of Veterinary Journal*, 39(3), 400-409.
31. Dik, B. (1993). A survey of *Culicoides* species (Diptera: Ceratopogonidae) in the Konya region of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 17, 283-294.
32. Dik, B. (1996). *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) species in the Mediterranean region of Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 20, 225-236.
33. Turgut, F., & Kilic, A. Y. (2015). The Ceratopogonidae (Insecta: Diptera) fauna of the Central Black Sea Region in Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 39(6), 1071-1089.
34. Dik, B., Kuçlu, Ö., & Öztürk, R. (2017). *Culicoides* Latreille, 1809 (Diptera: Ceratopogonidae) species in the Western Black Sea Region of Turkey, new records for the Turkish fauna. *Turkish Journal of Veterinary and Animal Sciences*, 41(2), 228-237.
35. Korkmaz, C., Alten, B., Erol, U., & Deniz, A. (2021). Updated checklist of *Culicoides* Latreille (Diptera: Ceratopogonidae) species in Turkey with ten new records. *Journal of Vector Ecology*, 46(1), 124-136.
36. Mimioglu, M. (1973). *Veterinary and medical arthropodology*. Ankara: Ankara University Press.
37. Braverman, Y., & Galun, R. (1973). The occurrence of *Culicoides* in Israel with reference to the incidence of bluetongue. *Refuah Veterinarith*, 30, 121-127.
38. Quinn, P. J., Baker, K. P., & Morrow, A. N. (1983). Sweet itch: Responses of clinically normal and affected horses to intradermal challenge with extracts of biting insects. *Equine Veterinary Journal*, 15(3), 266-272.

39. Yeruham, I., Braverman, Y., & Perl, S. (2000). Dermatitis in a dairy herd caused by *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae) in Israel. *The Veterinary Record*, 146 (10), 282-284.
40. Crilly, J. P., Cochrane, C., Poore, L., & McGorum, B. C. (2016). Investigation of insect bite hypersensitivity in a group of in-hand UK native ponies. *Equine Veterinary Education*, 28(8), 433-439.
41. Larsen, H. J., Bakke, T. A., & Mehl, R. (1988). Intradermal testing of horses with insect bite hypersensitivity in Norway. *Equine Veterinary Journal*, 20(5), 384-387.
42. Anderson, G. S., Belton, P., & Kleider, N. (1991). Hypersensitivity of horses in British Columbia to extracts of native and exotic species of *Culicoides* (Diptera: Ceratopogonidae). *Journal of Medical Entomology*, 28(5), 685-693.
43. Blackwell, A., & Page, S. (2013). Biting midges and tourism in Scotland. In R. V. Clark & P. S. Mellor (Eds.), *Arthropods of medical and veterinary importance* (pp. 45-58). Wallingford, UK: CABI.
44. Foxi, C., Satta, G., Puggioni, G., & Ligios, C. (2020). Biting midges (Ceratopogonidae, *Culicoides*). In *Encyclopedia of infection and immunity*. Elsevier.
45. Bukauskaitė, D., Iezhova, T. A., Ilgūnas, M., & Valkiūnas, G. (2019). High susceptibility of the laboratory-reared biting midges *Culicoides nubeculosus* to *Haemoproteus* infections, with review on *Culicoides* species that transmit avian haemoproteids. *Parasitology*, 146, 1-9.
46. Aunin, E., Böhme, U., Sanderson, T., Simons, N. D., Goldberg, T. L., Ting, N., & Reid, A. J. (2020). Genomic and transcriptomic evidence of descent from *Plasmodium* and loss of blood schizogony in *Hepatozoon* parasites from naturally infected red colobus monkeys. *PLoS Pathogens*, 16(8), e1008717.
47. Atkinson, C. T. (2008). *Haemoproteus*. In C. T. Atkinson, N. J. Thomas, & B. C. Hunter (Eds.), *Parasitic diseases of wild birds* (pp. 13-35). Ames, IA: Wiley-Blackwell.
48. Forrester, D. J., & Greiner, E. C. (2008). Leucocytozoonosis. In C. T. Atkinson, N. J. Thomas, & D. B. Hunter (Eds.), *Parasitic diseases of wild birds* (pp. 54-107). Ames, IA: Wiley-Blackwell.
49. Seblova, V., Sadlova, J., Vojtkova, B., Votypka, J., Carpenter, S., Bates, P. A., & Volf, P. (2015). The biting midge *Culicoides sonorensis* (Diptera: Ceratopogonidae) is capable of developing late stage infections of *Leishmania enriettii*. *PLoS Neglected Tropical Diseases*, 9(9), e0004060.
50. Bernotienė, R., Žiegytė, R., Vaitkutė, G., & Valkiūnas, G. (2019). Identification of a new vector species of avian haemoproteids, with a description of

- methodology for the determination of natural vectors of haemosporidian parasites. *Parasites & Vectors*, 12, 307.
51. Yates, J. A., Lowrie Jr., R. C., & Eberhard, M. L. (1982). Development of *Tetrapetalonema llewellyni* to the infective stage in *Culicoides hollensis*. *The Journal of Parasitology*, 68(2), 293-296.
 52. Linley, J. R. (1985). Growth and survival of *Culicoides melleus* larvae (Diptera: Ceratopogonidae) on four prey organisms. *Journal of Medical Entomology*, 22(2), 178-189.
 53. Du Toit, R. M. (1944). The transmission of blue-tongue and horse-sickness by *Culicoides*. *Onderstepoort Journal of Veterinary Science and Animal Industry*, 19(1-2), 7-16.
 54. Jones, R. H., & Foster, N. M. (1971). The effect of repeated blood meals infective for bluetongue on the infection rate of *Culicoides variipennis*. *Journal of Medical Entomology*, 8(5), 499-501.
 55. Wittmann, E. J., & Baylis, M. (2000). Climate change: Effects on *Culicoides*-transmitted viruses and implications for the UK. *The Veterinary Journal*, 160(2), 107-117.
 56. Kęsik-Maliszewska, J., Larska, M., Collins, Á. B., & Rola, J. (2019). Post-epidemic distribution of Schmallerberg virus in *Culicoides* arbovirus vectors in Poland. *Viruses*, 11(5), 447.
 57. Rozo-Lopez, P., Londono-Renteria, B., & Drolet, B. S. (2020). Venereal transmission of vesicular stomatitis virus by *Culicoides sonorensis* midges. *Pathogens*, 9(4), 316.
 58. Daif, S., El Berbri, I., & Fassi Fihri, O. (2024). First molecular evidence of potential *Culicoides* vectors implicated in bluetongue virus transmission in Morocco. *Parasites & Vectors*, 17(1), 71.