

Adli Biyoloji: Doğanın İzleriyle Adaletin Peşinde I

Editörler
Gönül FİLOĞLU
Özlem BÜLBÜL



iuc-universitypress.org

IUC
UNIVERSITY
PRESS

Adli Biyoloji: Doğanın İzleriyle Adaletin Peşinde I

Bu kitap, Cumhuriyetimizin kuruluşunun 100. yılı anısına
“Cumhuriyetin 100. Yılına 100 Kitap” projesi kapsamında
İstanbul Üniversitesi–Cerrahpaşa tarafından yayımlanmıştır.

Editörler
Gönül Filoğlu
Özlem Bülbül

Nisan 2024



Adli Biyoloji: Doğanın İzleriyle Adaletin Peşinde I

Yazar: Gönül Filoğlu

Kurum: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü, Fen Bilimleri Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

E-posta: gfoglu@iuc.edu.tr

Yazar: Özlem Bülbül

Kurum: İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü, Fen Bilimleri Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

E-posta: ozlem.bulbulercan@iuc.edu.tr

Yayıncı



Adres: Üniversite Mahallesi, 34320 İstanbul/Türkiye

E-posta: iucpress@iuc.edu.tr

E-ISBN: 978-605-7880-67-3 (1.C)

DOI: 10.51.52/0800

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Üniversite Yayınevi Seri No: 49

Yayıncılık Hizmetleri



© 2024. Telif hakkı yazarlara aittir. Bu kitaptaki bölümler açık erişimli olup Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası Lisansı altında dağıtılmaktadır. Bu lisans kullanıcılara, bölümleri herhangi bir amaç için indirme, çoğaltma ve yayımlanan bölümler üzerinde çalışma imkânı sunar. Böylece yayınlarımızın en geniş şekilde yayılmasını ve daha geniş bir etkiye sahip olmasını sağlar.

Sorumluluk Reddi

Kitapta yayımlanan metinlerin/bölümlerin ifadeleri veya görüşleri yazar(lar)ın ve editör(ler)in görüşlerini yansıtır. İÜC Üniversite Yayınevi ve İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa yazıların içeriğinden sorumlu değildir. Yayımlanan kitaplardaki çalışmaların doğru ve iyi araştırılmış olması ve metinlerde ifade edilen görüşlerin tutarlılığı yazar ve editörlerin sorumluluğundadır. İÜC Üniversite Yayınevi ve İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, yazarlara çalışmalarını bilimsel toplulukla paylaşmak için bir platform sağlamaktadır.

Atıf için: Filoğlu, G. & Bülbül, Ö. (Ed). (2024). *Adli biyoloji: Doğanın izleriyle adaletin peşinde I*. İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.

YAZARLAR

Alev Akdoğan Kaymaz 

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veteriner Fakültesi,
İç Hastalıklar Ana Bilim Dalı, Avcılar, İstanbul, Türkiye*

Beril Anılanmert 

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Adli Tıp ve Adli Bilimler
Enstitüsü, Fen Bilimleri Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye*

Beytullah Karadayı 

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp
Fakültesi, Adli Tıp Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye*

Eda Dalyan 

*İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü,
Botanik Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye*

Edibe Özmen Baysal 

*Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü,
Ankara, Türkiye*

Elif Yüzbaşıoğlu 

*İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü,
Botanik Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye*

Erdal Polat 

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp
Fakültesi, Tıbbi Mikrobiyoloji Ana Bilim Dalı, Geleneksel
ve Tamamlayıcı Tıp Uygulama ve Araştırma Merkezi,
İstanbul, Türkiye*

Fatma Çavuş Yonar 

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Adli Tıp ve Adli Bilimler
Enstitüsü, Fen Bilimleri Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye*

Filiz Ekim Çevik 


*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Adli Tıp ve Adli Bilimler
Enstitüsü, Tıp Bilimleri Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye*

Hüseyin Çakan 


*Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Fakültesi,
Biyoloji Bölümü, Temel ve Endüstriyel Mikrobiyoloji Ana
Bilim Dalı, Çanakkale, Türkiye*

İbrahim Sırrı Yüzbaşıoğlu 

*İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü,
Botanik Anabilim Dalı, İstanbul, Türkiye*

Murat Ögdür 

*Ankara Bölge Kriminal Polis Laboratuvarı, Biyolojik
İncelemeler Şube Müdürlüğü, Ankara, Türkiye*

Nihan Çakır 

*Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü,
Ankara, Türkiye*

Seda Salman Yılmaz 

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp
Fakültesi, Tıbbi Genetik Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye*

Şükriye Karadayı 

*Altınbaş Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek
Okulu, İstanbul, Türkiye*

Yeşim Tok 

*İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp
Fakültesi, Tıbbi Mikrobiyoloji Ana Bilim Dalı, İstanbul,
Türkiye*

İÇİNDEKİLER

REKTÖRÜN ÖN SÖZÜ VIII

ÖN SÖZ IX

GİRİŞ..... X

KISIM 1: ADLİ BİLİMLERDE HAYVANLAR VE ENTOMOLOJİK İZLER

BÖLÜM 1: ADLİ BİLİMLERDE EVCİL VE YABAN HAYVANLAR 1

Alev Akdoğan Kaymaz

1. Ülkemizde Evcil ve Yaban Hayvanlarla İlgili Yasal Yönetmelik ve Sözleşmeler	2
2. Veteriner Adli Tıp Uygulamaları.....	3
2.1. Veteriner Adli Toksikoloji	3
2.2. Veteriner Adli Radyoloji ve Görüntüleme	4
2.3. Veteriner Adli Patoloji	4
2.4. Veteriner Adli Osteoloji	4
2.5. Adli Entomoloji.....	4
3. Veteriner Adli Bilimlerinin Hukuki Araştırmalara Uygulanması.....	5
4. Adli Bilimlerde Veteriner Hekimlerin Rolü.....	5
5. Adli Bilimlerde Mağdur ve Suçlu Olarak Hayvan.....	6
5.1. Hayvanlara Yönelik Cinsel İstismar.....	7
5.2. Hayvanlara Yönelik İstismar ve Kişiler Arası Şiddet İlişkisi.....	7
5.3. İstifçilik	7
5.4. Hayvan Dövüşleri.....	8
5.5. Travmalar	8
5.6. Ateşli Silah Yaraları ve Yara Balistikleri.....	8
5.7. Çevresel ve Durumsal Nedenlerle Yaralanma veya Ölme	9
6. Ülkemizde Hayvanlara İlgili Adli Uygulamalar	9
6.1. Evcil Hayvanlara İlgili Adli Uygulamalar	9
6.2. Türkiye’de Yaban Hayatı Çalışmaları ve Yaban Hayatı Adli Bilim Uygulamaları	10
6.3. Av ve Avcılık	11
6.4. Atmacacılık.....	11
7. Türkiye’de Hayvanlarla İlgili Adli Suçların Hukuki Boyutu	12

BÖLÜM 2: ADLİ ENTOMOLOJİ..... 17

Erdal Polat

1. Genel Entomoloji	17
2. Adli entomolojinin tarihçesi	18
3. Arthropodlar.....	19
3.1. Diptera Takımı.....	19
3.2. Arthropodların Yaşayışı.....	19
3.3. Erişkin Sineğinin Yapısı.....	22
4. Coleoptera (Kıncanatlılar)	23
5. Süksesyon ve Ceset Çürüme Evreleri	23
5.1. Süksesyon	23
5.2. Süksesyonuna Etki Eden Faktörler	24
5.3. Cesedin Çürümesi ve Evreleri	24
5.3.2. Çürüme Hızına Etki Eden Etmenler	25
6. Adli Entomolojide ve Miyazda Önemli Olan Arthropodların Fotoğrafları	26
7. Coleoptera Takımı.....	27
8. Ülkemizde Adli Entomoloji Çalışmalarında Nasıl Bir Yol İzlenmelidir?	28
9. Erişkin Sineklerin ve Larvalarının Saklanması	29
10. Karaciğer Agar Besiyeri Hazırlanması	29
11. Diptera Brachycera Tayin Anahtarı	30

KISIM 2: BİTKİLERİN GÖLGESİNDEKİ SIRLAR: ADLİ BOTANİK VE ZEHİRLİ BİTKİLER

BÖLÜM 1: ADLİ BOTANİK..... 34

Elif Yüzbaşıoğlu, Eda Dalyan, İbrahim Sırrı Yüzbaşıoğlu

1. Bitki Biyolojisi.....	35
2. Bitkilerin İsimlendirilmesi ve Tanımlanması	36
3. Bitkilerin Sınıflandırılması.....	37
3.1. Damarsız Bitkiler (İletim Demeti Olmayan Bitkiler) ...	37
3.2. Damarlı Bitkiler (İletim Demetli Bitkiler)	37
3.2.1. Damarlı Tohumlu Bitkiler.....	37
3.2.2. Damarlı Tohumlu Bitkiler.....	37
3.2.2.1 Açık Tohumlu Bitkiler (Gymnospermler).....	38
3.2.2.2. Kapalı Tohumlu Bitkiler (Angiospermler)	38
4. Botanikçiler Tarafından Bitkiler Dışında Sınıflandırılan Gruplar	39
4.1. Mantarlar (Fungiler)	39

4.2. Algler	39
4.3. Likenler	39
5. Yasal Soruşturmalarda Botanik Kanıtların Kullanılması.....	40
5.1. Bitki Kanıtlarının Toplanması ve Saklanması	41
5.2. Bitki Kanıtlarının Tanımlanması	41
5.3. DNA Analizi İçin Örnek Tipleri ve Örneklerin Toplanması	41
5.4. Bitki Kanıtlarının DNA Analizleri	42
6. Adli Botanikte Vaka Çalışmaları	42

BÖLÜM 2: ADLİ BİLİMLERDE ZEHİR VE/VEYA PSİKOAKTİF MADDE İÇEREN BİTKİLER VE MANTARLAR..... 45

Beril Anılanmert, Fatma Çavuş Yonar

1. Tıbbi ve Zehirli Bitki Cinslerinden Seçilmiş Örnekler	47
1.1. Apiaceae.....	47
1.2. Apocynaceae.....	47
1.3. Araceae	48
1.4. Araliaceae	48
1.5. Cannabaceae	48
1.6. Caprifoliaceae	49
1.7. Ericaceae	49
1.8. Euphorbiaceae.....	49
1.9. Fabaceae	50
1.10. Hippocastanaceae	51
1.11. Liliaceae.....	51
1.12. Liliaceae	52
1.13. Linaceae.....	52
1.14. Loganiaceae.....	52
1.15. Loranthaceae.....	52
1.16. Papaveraceae	53
1.17. Ranunculaceae.....	53
1.18. Rosaceae.....	54
1.19. Scrophulariaceae	54
1.20. Solanaceae	55
1.21. Taxaceae (Porsukgiller).....	56
2. Zehirli Mantarlar	57

BÖLÜM 3: ADLİ PALİNOLOJİ

Nihan Çakır, Edibe Özmen Baysal

1. Sporlar, Polenler ve Diğer Palinomorflar	63
2. Diğer Palinomorflar	63
3. Spor, Polen ve Palinomorfların Adli Palinolojik Delil Olarak Tercih Edilme Nedenleri.....	63
4. Adli Palinolojinin Tarihi.....	64
5. Palinolojinin Adli Araştırmalarda Yardımcı Olabileceği Durumlar.....	65
6. Adli Palinolojinin Çeşitli Olaylarda Kullanımı.....	65
6.1. Örnek Olay 1: Olay Yeri Tespiti	65
6.2. Örnek Olay 2: Olay Zamanının Tespiti	65

6.3. Örnek Olay 3: Şüpheli Sayısının Azaltılması.....	65
6.4. Örnek Olay 4: Uyuşturucu Maddelerin Kaynağının Tespiti.....	66
6.5. Örnek Olay 5: Bir Ürünün Coğrafik Menşeinin Saptanması.....	66
6.6. Örnek Olay 6: Balda Sahteciliğin Tespiti	66
6.7. Türkiye'deki Durum.....	66

KISIM 3: MİKROPLARIN GİZEMLİ DÜNYASI: ADLİ MİKROBİYOLOJİ VE ÖTESİ

BÖLÜM 1: ADLİ MİKROBİYOLOJİ..... 70

Hüseyin Çakan, Murat Öğdür

1. Adli Mikrobiyolojinin Kapsamı	70
2. Enfeksiyon Sonucu Meydana Gelen Bazı Ölüm, Malpraktis ve Mikroorganizma Kökeninin Araştırılması.....	71
3. Biyolojik Suçlar ve Biyoterörizm	72
4. Cinsel Suçlarda Adli Mikrobiyoloji	72
5. Mikrobiyal Gıda Zehirlenmeleri.....	73
6. Ölüm Nedeninin Mikroorganizmalar Yardımıyla Belirlenmesi	74
6.1. Boğulma Vakaları.....	74
6.2. Ani Bebek Ölümü Sendromu (Sudden Infant Death Syndrome, SIDS)	74
7. Mikroorganizmalar Yardımıyla Lokasyon Tayini	74
8. Kimlik Tespiti ve Kişisel Eşyaların Belirlenmesinde Mikroorganizmalar	74
9. Mikrobiyotanın Adli Boyutu, Mikrobiyota-Suç İlişkisi.....	75
10. Post Mortem İntervalin Belirlenmesinde Mikrobiyoloji.....	75
11. Adli Mikrobiyoloji Laboratuvarı	76
12. Adli Mikrobiyoloji Laboratuvarının Akreditasyonu	76

BÖLÜM 2: BİYOTERÖR..... 80

Filiz Ekim Çevik

1. Biyoterörizme Tarihsel Yaklaşım	80
2. Biyoterörizm Nedir?.....	81
3. Biyolojik Ajanların Sınıflandırılması.....	81
4. Biyolojik Ajanların ve Neden Olduğu Hastalıkların Teşhisi	83
5. Biyoterörizm ile İlgili Bakış Açılarının Değerlendirilmesi	84

BÖLÜM 3: ADLİ MİKROBİYOTA..... 88

Seda Salman Yılmaz

1. İnsan Mikrobiyotası.....	88
2. Adli Bilimlerde Mikrobiyotanın Önemi	90
2.1. Adli Bilimlerde Mikrobiyotanın Uygulama Alanları.....	91
2.1.1. Coğrafi Konumunun Belirlenmesi	91
2.1.1.1. Kimliklendirme	91
2.1.1.2. Postmortem Zaman Aralığı.....	91

2.1.3. Örnek Türünün Belirlenmesi.....	92
2.1.4. Ölüm Sebebi ve Ölüm Şeklinin Belirlenmesi.....	92
2.1.5. Hastane Enfeksiyonlarının Belirlenmesi	92

BÖLÜM 4: ADLİ MİKROBİYOLOJİDE METAGENOMİK ANALİZ UYGULAMALARI

Şükriye Karadayı, Beytullah Karadayı

1. Metagenomik Analiz Teknikleri.....	97
1.1. Örnek Toplama ve Depolama	97
1.2. Metagenomik Analiz Ve Deneysel İş Akışı.....	97
1.3. Biyoinformatik Analiz.....	98
1.3.1. OTU Bazlı Analizler	98
1.3.1.1. Alfa Çeşitlilik Analizleri	98
1.3.1.2. OTU Venn Şeması.....	98
1.3.1.3. OTU Temel Bileşenler Analizi.....	98
1.3.2. Tür İçeriği ve Beta Çeşitlilik Analizleri	98
1.3.2.1. Tür İçeriği Analizleri.....	98
1.3.2.2. Tür Sıcaklık Haritası	98
1.3.2.3. Beta Çeşitlilik Analizleri	98
1.3.2.4. Örnekler Arası Tür İçeriğine Göre Kümeleme Analizi	99
1.3.2.5. Permanaova Analizleri	99
1.3.2.6. Gruplar Arası Karşılaştırma Analizleri.....	99
2. Mikrobiyomların Adli Bilimlerdeki Uygulama Alanları ..	99
2.1. Kişi İdentifikasyonunda Mikrobiyom Kullanımı.....	99
2.1.1. Deri Mikrobiyomu	100
2.1.2. Vücut Sıvıları Mikrobiyomu	100
2.1.3. Saç Mikrobiyomu	101

2.2. Ölüm Nedeninin Belirlenmesi.....	101
2.3. Postmortem Interval (PMI) Tahmini	101
2.4. Toprak Mikrobiyomu Kullanımı	102

BÖLÜM 5: ADLİ VİROLOJİ.....

Yeşim Tok, Seda Salman Yılmaz

1. Adli Viroloji	108
2. İnsanlarda Virüs Enfeksiyonu Oluşumu.....	109
3. Virüs Enfeksiyonlarının Tanısı	110
3.1. Virüs Örneklemesi	110
3.2. Virüslerin Tanımlanmasında Elektron Mikroskobu Kullanımı	111
3.3. Virüsün Saf Olarak İzole Edilmesi.....	111
3.4. Virüslerin Oluşturdukları Sitopatik Etkiye Göre Tanımlanması	111
3.5. Serolojik/İmmünolojik Tanı	112
3.5.1. Enzim-bağlı İmmüno-sorbent Testi	112
3.5.2. Nötralizasyon Deneyi	112
3.5.3. Hemaglutinasyon Deneyi.....	112
3.5.4. Kompleman Fiksasyon Deneyi	112
3.5.5. İmmünboya	112
3.6. Nükleik Asit İzolasyonu ve Amplifikasyonu.....	112
3.7. Genomik Dizileme	113
4. Moleküler Epidemiyoloji.....	113
4.1. Moleküler Epidemiyolojinin Adli Bilimlerde Kullanımı	114
5. Viral Aşılar ve Anti-Viral Tedaviler	115
6. Virüs Mühendisliği ve Rekombinant DNA Teknolojisi ..	115

REKTÖRÜN ÖN SÖZÜ

Türk milletinin bağımsızlık mücadelesi, 29 Ekim 1923'te Cumhuriyetin ilanı ile taçlanmıştır. Dünya tarihine altın harflerle kazınan büyük bir mücadele sonucu elde edilen şanlı zafer, Türk milletinin hür ve bağımsız yaşama kararlılığı ile çıktığı yolda; inanç, cesaret, güven ve sınırsız fedakârlıkla gösterdiği eşsiz kahramanlıkların eseridir. Egemenliğin kayıtsız şartsız millete teslim edildiği Türkiye Cumhuriyeti, Millî Mücadele'mizin önderi Gazi Mustafa Kemal Atatürk'ün milletimize en büyük armağanıdır.

Cumhuriyetin kazanımlarını koruma ve milletimizin muasır medeniyetler seviyesine ulaşma hedefinde, eğitim ve bilim her zaman en büyük rehberdir. Bu hedeflerin gerçekleştirilmesinde ise en büyük sorumluluk kuşkusuz üniversitelere düşmektedir.

Ülkemizin köklü ve öncü üniversiteleri arasında yer alan İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa; bilimsel yaklaşımı benimseyen, bilgi üreten ve uygulamalarıyla toplumun gelişmesine katkıda bulunmayı ilke edinen bir araştırma üniversitesidir. Cumhuriyet değerlerine bağlı bir yükseköğretim kurumu olarak Cumhuriyetimizin 100. yılına ithafen akademisyenlerimizin iş birliğiyle "*Cumhuriyetin 100. Yılına 100 Kitap*" projesini hayata geçiriyoruz. Proje kapsamında, akademisyenlerimizin kendi uzmanlık alanlarıyla ilgili kaleme aldıkları ve İÜC Yayınevi tarafından basılan kitaplar, açık erişimle tüm toplumun faydasına sunulmaktadır. Sağlıktan mühendisliğe, sosyal bilimlerden eğitime kadar pek çok alanda hazırlanan 100 kitap; eğitim-öğretim materyali, ders kitabı olarak kullanılabilceği gibi araştırma geliştirme kapsamında yararlanılacak kaynak olarak da kullanılabilcek nitelikteki kitaplardan oluşmaktadır.

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa olarak köklü geçmişimizden aldığımız güçle Cumhuriyetimizi nice yüzyıllara taşımak için var gücümüzle çalışmaya ve üretmeye devam ediyor, 100. yılını kutladığımız Cumhuriyetin kurulmasında emeği geçen tüm kahramanlara adadığımız "*Cumhuriyetin 100. Yılına 100 Kitap*" projemizi; tüm akademisyenlerin, öğrencilerin ve araştırmacıların kullanımına sunuyoruz.

Rektör
Prof. Dr. Nuri AYDIN
29 Ekim 2023

ÖN SÖZ

Adli bilimlerde suçu çözme ve delillerle ilişkilendirmede birden fazla bilim dalının işbirliği söz konusudur. Hangi bilim dallarından yararlanılacağını suç ve suçun işlendiği koşullar belirler. Son yıllarda bilimin her alanında büyük teknolojik gelişmeler yaşanmıştır. Bu teknolojik gelişmelerle birlikte suç unsurları da değişkenlik göstermiştir. Adli soruşturmalarda olay yeri incelemelerinde elde edilen delillerin doğru bir şekilde değerlendirilmesi hızlı ve doğru bir şekilde çözülmesi önemlidir. Olayla ilgili elde edilen tüm biyolojik deliller adli bilimlerin önemli bir parçasını oluşturan adli biyoloji kapsamında incelenir. Bu bilim dalı suçla ilgili olarak olay yerinden toplanan insan, hayvan, bitki veya mikrobiyal kalıntılar gibi çok çeşitli biyolojik örneklerden yararlanarak suça karışan kişilerin kimliklendirilmesi, ölüm zamanı, ölüm sonrası cesedin yerinin değişip değişmediği gibi soruların yanıtını arar.

Adli Biyoloji: Doğanın İzleriyle Adaletin Peşinde kitabımız adli bilimler ve adli biyoloji eğitimi alan lisans, yüksek lisans ve doktora öğrencileri için kapsamlı bir kaynak olarak sunulmaktadır. Kitabımızın ilk cildinde hayvanlar, bitkiler ve mikrobiyoloji ikinci cildinde ise biyolojik delillerin toplanması, öncü analizler, adli DNA analizleri ve kimliklendirme konularını geniş bir yelpazede sunmayı amaçladık. Adli biyoloji alanındaki uzmanlarımızın bir araya gelerek kaleme aldığı bu kitapta, okuyuculara hem temel bilgileri hem de güncel yaklaşımları sunarak bu alandaki bilgi birikimlerini siz okuyuculara aktarmaya çalıştık.

Doç. Dr. Gönül FİLOĞLU
Doç. Dr. Özlem BÜLBÜL

GİRİŞ

Adli biyoloji, adli soruşturmalarda olay yerinden toplanan biyolojik kanıtların analizi ve değerlendirilmesiyle ilgilenen bir bilim dalı olup biyolojinin birçok alt dalını barındıran geniş bir yelpazeye sahiptir. Her türlü biyolojik kanıtların toplanması, korunması, analizi ve yorumlanmasında adalate katkıda bulunur.

Bu kitap, adli bilimlerde lisans, yüksek lisans ve doktora eğitimi alan öğrencilerin adli biyoloji alanında yararlanabilecekleri iki ciltten oluşan kapsamlı bir kaynaktır. Kitapta, adli biyolojinin farklı alanlarına odaklanarak, uzman yazarlar tarafından kaleme alınmış bölümlerle zenginleştirilmiştir. Kitabın birinci cildinde ele alınan konu başlıkları **adli bilimlerde hayvanlar ve entomolojik izler**: Adli bilimlerde evcil ve yaban hayvanlar ve adli entomoloji, **bitkilerin gölgesindeki sırlar**: adli botanik, adli bilimlerde zehir ve/veya psikoaktif madde içeren bitkiler ve mantarlar ve adli palinoloji ve **mikropların gizemli dünyası**: Adli mikrobiyoloji, biyoterör, adli mikrobiyota ve metagenomik analiz uygulamaları ve adli viroloji olmak üzere 3 temel modülde ve toplamda 10 bölümde ele alınmıştır. Kitabın ikinci cildinde ise **adli bilimlerde biyolojik delil toplama ve incelenme süreçleri**: Ölüm zamanı ve çürüme, olay yerlerinden biyolojik delillerin toplanması ve saklanması, cinsel saldırı olgularında biyolojik örnek alma, adli seroloji ve son olarak da **adli genetikte tarihsel gelişim ve güncel uygulamalar**: Geçmişten günümüze adli genetikte polimorfizm, adli bilimlerde yeni nesil dizileme, kayıp kişilerin DNA bazlı yöntemlerle kimliklendirilmesi, DNA veri bankaları, adli genetik istatistiği, adli laboratuvarlarda standardizasyon ve akreditasyon, adli mikrobiyolojide metagenomik analiz uygulamaları ve adli genetikte güncel yaklaşımların yer aldığı 2 modül ve 11 bölümden oluşmaktadır.

Bu kitap, konusunda uzman olan yazarların deneyimleriyle desteklenmiş hem teorik bilgi hem de pratik uygulamalar hakkında bilgi sunmayı amaçlamaktadır.

KISIM 1
ADLI BİLİMLERDE HAYVANLAR VE
ENTOMOLOJİK İZLER

BÖLÜM 1

ADLİ BİLİMLERDE EVCİL VE YABAN HAYVANLAR

Alev AKDOĞAN KAYMAZ

Adli Bilimlerde Evcil ve Yaban Hayvanlar

Domestic and Wild Animals in Forensic Sciences

BÖLÜM HAKKINDA

Veteriner adli bilimler, ülkemizde gelişmekte olan bir uzmanlık alanıdır. Günümüzde yaşam paydaşı olarak kabul edilen bir hayvanla birlikte yaşayan insanların sayısı özellikle pandemi sürecinden sonra daha da artmıştır. Bu durum ihmal, kaza dışı yaralama, istismar, hırsızlık, yasa dışı öldürme, yaban hayatı yasalarının ihlali gibi hayvanlara karşı işlenen suçların artışında büyük rol oynamaktadır. Hayvanlara yönelik şiddet eylemleri ile insanlara yönelik şiddet arasındaki bağlantı ve hayvanları koruyan yasaların yeterince uygulanmaması konularında artan farkındalık nedeniyle özellikle son yıllarda veteriner adli bilimler önem kazanmaktadır. Bu bölümde, veteriner adli bilim dalları olan veteriner adli toksikoloji, veteriner adli radyoloji ve görüntüleme, veteriner adli patoloji, veteriner adli osteoloji, adli entomoloji ile halen ülkemizde hayvanları koruma adına kullanılan yönetmelik ve kanunlar hakkında bilgi verilmektedir.

Anahtar kelimeler: Evcil hayvanlar, yaban hayvanları, veteriner adli bilimi

ABOUT the CHAPTER

Veterinary forensic science is a developing field of expertise in our country. Today, the number of people living with an animal, which is considered a partner in life, has increased even more, especially after the pandemic process. This includes negligence, non-accidental injury, abuse, theft, unlawful killing, violation of wildlife laws, etc. It plays a major role in the increase in crimes committed against animals. Veterinary forensic sciences have gained importance, especially in recent years, due to increasing awareness of the connection between acts of violence against animals and violence against humans and the inadequate implementation of laws protecting animals. In this section, information is given about the branches of veterinary forensic science, veterinary forensic toxicology, veterinary forensic radiology and imaging, veterinary forensic pathology, veterinary forensic osteology, forensic entomology, and the regulations and laws currently used to protect animals in our country.

Keywords: Domestic animals, wild animals, veterinary forensic science

Giriş

Günümüzde doğal yaşam alanlarının azalması ve küresel ısınmanın neden olduğu değişimler sonucu doğa giderek bozulmaktadır. Ekosistem dengesini etkileyen bu durumun düzeltilmesi için dünya üzerinde korunan alanların artırılması ve bozulmalarının önüne geçilmesi için etkin bir yönetim şeklinin oluşturulması önemli bir hedef haline almıştır. Bu alanların sahip olduğu ekosistem; biyotik (bu alanda yaşayan canlılar) ve abiyotik (hava, su, sıcaklık vb.) faktörler ile alan içinde yaşayan canlıların yaşamlarını sürdürmeleri için kendi türleri veya diğer türler ile olan iletişimlerinin bir bütünü olarak değerlendirilir. Ekosistem içindeki besin kaynaklarının miktarına bağlı olarak hayvanlar varlıklarını devam ettirirler. Ayrıca, çeşitli biyotik (hastalıklar, avlanma vb.) ve abiyotik (ışığın şiddeti, sıcaklık, toprak çeşidi, su miktarı vb.) sınırlayıcı faktörlerle canlıların doğum ve ölüm oranları da kontrol edilir.

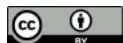
Bugün çevremizde ve hatta evlerimizde bizlerle birlikte yaşayan hayvanların çoğu, MÖ 8000-2500 yılları arasında yaşayan insanların kalıcı yerleşime ve çiftçiliğe geçiş yapmalarından kısa bir süre sonra evcilleştirilmişlerdir. Beslenme (et, süt) ve giysi (deri) ihtiyacının karşılanmasında öncelikle keçiler, koyunlar ve sığırlar evcilleştirilmiş, bu hayvanları tavuklar ve yük hayvanları izlemiştir. Daha sonra, 15.000 yıl kadar önce av sırasındaki koku alma ve bulma yeteneklerinden faydalanmak için köpekleri evcilleştirmişlerdir (Lear, 2012; Götherström vd., 2020). İlk zamanlar sadece avcılık için kullanılan köpekler, ilerleyen zamanda seçici üretim ile farklı renk, beden büyüklüğü, yetiştirilme amacı (koruma, korkutma vb.) gibi özelliklere sahip olmak üzere pek çok değişiklik geçirmişlerdir. Beş farklı yaban kedisi türünden türediği kabul edilen kedilerin ise ilk olarak MÖ 7.500 civarında evcilleştirildikleri düşünülmektedir (Lear, 2012). Bugün evlerimizde



Alev Akdoğan Kaymaz 

Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veteriner Fakültesi, İç Hastalıklar Ana Bilim Dalı, Avcılar, İstanbul, Türkiye
E-posta: aakaymaz@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Akdoğan Kaymaz, A. (2024). Adli bilimlerde evcil ve yaban hayvanlar. G. Filoğlu & Ö. Bülbül (Ed). *Adli biyoloji: Doğanın izleriyle adaletin peşinde I* içinde (s. 1-15). İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

yanı başımızda olan kediler; tarihsel süreçte Mısırlıların taptığı üç kedi tanrıçası rolü dışında, aslında fare ve sıçan istilasını kontrol etmek için kullanılmışlardır.

Evcilleştirilen bu hayvanlar; mizaçları, üreme kabiliyetleri, hastalıklara karşı dirençleri, yaşam alanları ve süreleri gibi birçok özellikleri açısından vahşi atalarından farklılık gösterirler. Genel olarak evcil ve yaban hayvanı olarak sınıflandırılmalarına karşın, örneğin İstanbul'un uçan sakinleri martılar hem yaban hayvanını hem de günlük yaşamımızın bir parçası olarak bizlerle iç içe yaşamaktadırlar. Evcilleştirmenin süreci, zaman ve oluşum mekanına ilgili kökenlerinin belirlenmesi; arkeolojik araştırmalar; DNA'daki ilerlemeler, RNA dizileme teknolojisi ve yöntemleri ile son on yılda önemli ölçüde hızlanmıştır (Larson vd., 2014; Erkan vd., 2017; Saey, 2018; Fages vd. 2019; Bergström vd., 2020; Clavel vd., 2021).

Evcil ve yaban hayvanlar bir paydaş olarak günlük yaşamımızda yer alırlar. İnsanlar ile hayvanlar arasındaki bu iletişim adli olaylara da yansiyabilmektedir. Bu bölümde adli bilimlerde evcil ve yaban hayvanlarının karıştığı olaylarda uygulanan çözüm önerileri ve hukuki bakış açısı irdelenmektedir.

Ülkemizde Evcil ve Yaban Hayvanlarla İlgili Yasal Yönetmelik ve Sözleşmeler

Evcilleştirme ile insanların hayvanları kendi yaşam alanlarına dahil etmeleri ve onları kendi amaçları doğrultusunda kullanma istekleri insan-hayvan ilişkisinde bazı problemleri de beraberinde getirmiştir.

Memeliler arasındaki anatomik ve fizyolojik benzerlikler, organların anatomik ve fizyolojik yapısının belirlenmesinde hayvanlar üzerinde oldukça fazla çalışma yapılmasına yol açmıştır. Benzer şekilde yeni ilaç, aşı, kozmetik sınıfı uygulamaların insanlarda kullanım uygunluğunun belirlenmesi için yoğun şekilde çeşitli hayvan modelleri üzerinde deneyler yapılmıştır (Barré-Sinouss&Montagutelli, 2015). Hayvan refahına aykırı olan bu uygulamalara istinaden 15 Ekim 1978'de Paris'te Birleşmiş Milletler Eğitim, Bilim ve Kültür Örgütü (UNESCO) genel merkezinde "Hayvan Hakları Evrensel Beyannamesi" törenle ilan edilmiştir. Bu metin, 1989 yılında Uluslararası Hayvan Hakları Birliği tarafından revize edilerek, 1990 yılında UNESCO Genel Direktörüne sunulmuş ve aynı yıl kamuoyuna duyurulmuştur (Sungurbey, 1993).

- UNESCO- Hayvan Hakları Evrensel Beyannamesi (17.10.1978) kararları:
- Bütün hayvanlar biyolojik denge bağlamında eşit var olma haklarına sahiptir.
- Bu hak eşitliği, türlerin ve bireylerin çeşitliliğini gölgede bırakmaz.
- Tüm hayvanların yaşamlarına saygı duyulma hakkı vardır.
- Hayvanlar kötü muamelelere veya zalimane davranışlara maruz bırakılmamalıdır.
- Bir hayvanın öldürülmesi gerekiyorsa, bunun ani, acısız ve endişe yaratmayacak şekilde olması gerekir.
- Ölü bir hayvana iyi davranılmalıdır.
- Yabani hayvanlar kendi doğal ortamlarında özgürce yaşama ve üreme hakkına sahiptir.
- Yabani hayvanlarının, eğlence amaçlı yapılan avcılık ve balıkçılıktan uzun süre mahrum bırakılması ve vahşi hayvanların

hayati olmayan nedenlerle kullanılması bu temel hakka aykırıdır.

- İnsana bağımlı olan herhangi bir hayvan, uygun beslenme ve bakım hakkına sahiptir.
- Hiçbir koşulda haksız yere terk edilmemeli veya öldürülmemelidir.
- Hayvanın tüm üreme biçimleri ve kullanımları, türe özgü fizyoloji ve davranışa saygı göstermelidir.
- Hayvanlarla ilgili sergiler, gösteriler ve filmler de onların hay-siyetlerine saygı göstermeli ve hiçbir şekilde şiddet içermemelidir.
- Hayvanlar üzerinde fiziksel veya psikolojik acı çekmeyi gerektiren deneyler, hayvanların haklarını ihlal eder.
- Yer değiştirme yöntemleri geliştirilmeli ve sistematik olarak uygulanmalıdır.
- Bir hayvanın ölümünü içeren gereksiz herhangi bir eylem ve böyle bir eyleme yol açan herhangi bir karar, yaşama karşı suç oluşturur.
- Yaban bir türün hayatta kalmasını tehlikeye atan herhangi bir eylem ve böyle bir eyleme yol açan herhangi bir karar, soykırım, yani türe karşı suç ile eş anlamlıdır.
- Yabani hayvanların katledilmesi, biyotopların kirlenmesi ve tahrip edilmesi soykırım eylemleridir.
- Hayvanların özel yasal statüsü ve hakları kanunla tanınmalıdır.
- Hayvanların korunması ve güvenliği, Devlet Kurumları düzeyinde temsil edilmelidir.
- Eğitim ve öğretim yetkilileri, vatandaşların çocukluktan itibaren hayvanları gözlemlemeyi, anlamayı ve saygı duymayı öğ-renmelerini sağlamalıdır.

Ülkemizde bilimsel amaçlarla kullanılan deney hayvanlarının refahı ve korunmasına ilgili olarak "Deneyisel ve Diğer Amaçlı Kullanılan Hayvanların Refahı ve Korunması Hakkında Yönetmelik" (13.12.2011) ile "Hayvan Deneyleri Etik Kurullarının Çalışma Usul ve Esasları Hakkında Yönetmelik"ler (15.02.2014) ile düzenlemeler yapılmıştır.

Diğer taraftan, 1987 yılında imzaya açılan ve "Ev Hayvanlarının Korunmasına Dair Avrupa Sözleşmesi (EHKDAS)"nın Onaylanması Hakkında Karar"ı kabul etmiştir (Resmi Gazete; 20.10.2003 tarih ve 25265 sayı). İlerleyen dönemde, Avrupa Birliği Uyum Süreci'nde EHKDAS göz önünde bulundurularak hazırlanan "5199 Sayılı Hayvanları Koruma Kanunu" ile ilk yasal adım 2004 tarihinde atılmıştır (Resmi Gazete; 01.07.2004 tarih ve 25509 sayı). Daha sonra, bu kanuna ilgili "Hayvanların Korunmasına Dair Uygulama Yönetmeliği" (Resmi Gazete; 12.05.2006 tarih ve 26166 sayı) yürürlüğe girmiştir.

Bununla birlikte, 04.02.2004 tarihinde ülkemiz kesim hayvanları da dahil olmak üzere uluslararası hayvan taşımacılığında sağlık kurallarına, hayvan refahına ve çevre güvenliğine dair kriterleri kapsayan "Gözden Geçirilen Uluslararası Taşımacılıkta Hayvanların Korunmasına İlişkin Avrupa Sözleşmesi"ni imzalamış ve Resmi Gazete'de (05.04.2018 tarih ve 7133 sayı) yayınlanarak yürürlüğe girmiştir.

Evcil hayvanlara yönelik bu kanun ve sözleşmeler yanında Türkiye, "Nesli Tehlikede Olan Yaban Hayvanı ve Bitki Türlerinin Uluslararası Ticaretine İlişkin Sözleşme (Convention on the International Trade in Endangered Species of Wild Flora and Fauna, CITES)"ye

imza atmıştır. CITES sözleşmesi Resmi Gazete’de yayınlanarak (20.06.1996 tarihli ve 22672 sayı) yürürlüğe girmiştir. Bu sözleşme ile nesli tehlike altında olan yaban hayatının uluslararası ticaretini kontrol edebilmek için, bu tür alışverişlerde hükümetlerin izni şart koşan, dünya çapında bir sistem geliştirilmiştir. Bu sisteme göre; ticaretlerinin düzenlenmesi farklı derecelerde bulunan yaban hayvanı ve bitki türleri 3 ayrı ek liste halinde belirtilmiştir.

EK-1 listesi nesilleri tükenme tehdidi ile karşı karşıya bulunan ve bu nedenle örneklerinin ticaretinin sıkı mevzuata tabi tutulması ve bu ticarete sadece istisnai durumlarda izin verilmesi zorunlu olan türleri içerir.

EK-2 listesi nesilleri mutlak olarak tükenme tehdidiyle karşı karşıya olmamakla birlikte, nesillerinin devamıyla bağdaşmayan kullanımları önlemek amacıyla ticaretleri belirli esaslara bağlanan türleri içerir.

EK-3 listesi ise herhangi bir taraf ülkenin kendi yetki alanı içinde düzenlenmeye tabi tuttuğu ve aşırı kullanımını önlemek veya kısıtlamak amacıyla ticaretinin denetime alınmasında diğer taraflar ile iş birliğine ihtiyaç duyduğunu belirttiği bütün türleri kapsar.

Yine yaban hayatına ilgili olarak, “Avrupa’nın Yaban Hayatı ve Yaşama Ortamlarını Koruma Sözleşmesi” (BERN Sözleşmesi) 20.02.1984 tarih ve 18318 sayılı Resmi Gazete’de yayınlanarak, uygulamaya alınmıştır.

Yaban kuşlarının korunmasına yönelik başta göçmen kuşlar olmak üzere nesillerin yok olmasını veya tükenme tehdidini ortadan kaldırmak için “Kuşların Himayesine Dair Milletlerarası Sözleşme” maddeleri kabul edilmiştir (Resmi Gazete; 17.12.1966 tarih ve 12480 sayı).

Sulak alanların ve onlara bağlı bitki ve hayvan topluluklarının korunmasının, ileri görüşlü ulusal politikalarla, koordineli uluslararası faaliyetlerin birleştirilmesi için “Su Kuşları Yaşama Ortamı Olarak Uluslararası Öneme Sahip Sulak Alanların Korunması Hakkında Sözleşme” (RAMSAR Sözleşmesi) imzalanmıştır. Sözleşme adını 2 Şubat 1971 tarihinde İran’da imzalandığı şehir olan Ramsar şehriden almaktadır. Sözleşme’ye bağlı olarak ülkemizde, Balıkesir’de Kuş (Manyas) Gölü, İçel’de Göksu Deltası, Burdur’da Burdur Gölü, Kırşehir’de Seyfe Gölü ve Kayseri’de Sultan Sazlığı olmak üzere toplam 5 adet Ramsar alanı bulunmaktadır.

Biyolojik çeşitlilik konusunda oldukça zengin bir potansiyele sahip olan ülkemizde bu çeşitliliğin korunması, sürdürülebilirliği, genetik kaynakların kullanımı, ulusal stratejiler ve eylem planlarını belirlemek üzere “Biyolojik Çeşitlilik Sözleşmesi” (Resmi Gazete 27.12.1996 tarih ve 22860 sayı) ile biyolojik çeşitlilik üzerine olumsuz etkilere neden olabilecek ve modern biyoteknoloji yardımı ile değiştirilmiş canlı organizmaların nakli ve kullanımı altında yeterli koruma düzeyinin sağlanmasına katkıda bulunmak amacı ile bu sözleşmeye “Cartagena Biyogüvenlik Protokolü” eklenmiştir. Dünyada 2003 yılında, Türkiye’de ise 2004 yılında (Resmi Gazete; 11.08.2003 tarih ve 25196 sayı) uygulanmaya başlanmıştır.

Veteriner Adli Tıp Uygulamaları

Yasal mevzuat farklılıkları ve ülke bazında görülen adli vakaların çeşitliliği nedenleri ile Avrupa ülkeleri arasında adli hayvan

çalışmalarına ilgili pek çok farklılıklar görülmektedir (Ottinger vd., 2014). Amerika Birleşik Devletleri’nde 2008 yılında Uluslararası Veteriner Adli Bilimler Derneği (*International Veterinary Forensic Sciences Association*, IVFSA)’nin kurulması ile veteriner adli tıbbının gelişimi teşvik edilmiştir.

Adli tıbbın Avrupa’da gelişmesi ve son bin yıl boyunca orada adli tıp araştırmalarına öncülük etmesine (Cooper&Cooper, 2007) rağmen, adli vakaların değerlendirilmesinde uygulanacak ön işlemler, kanıt belgeleri, olay yeri vb. bilgileri içeren standart bir belgenin olmaması doğru ve tam bir değerlendirme yapılamamasına neden olmaktadır. Uluslararası Veteriner Adli Bilimler Derneği, IVFSA tarafından hazırlanan “Veteriner Adli Otopsi Muayenesi Standartları” (www.ivfso.org/wp-content/uploads/2020/12/IVFSA-Veterinary-Forensic-Postmortem-Exam-Standards-Approved-2020) ve “Canlı Hayvan Muayenesi Adli Tıp Standartları” (www.ivfso.org/wp-content/uploads/2021/05/IVFSA_Veterinary-Forensic-Live-Animal-Exam-Standards-Approved-2020) 2020 yılı kasım ayında kabul edilmiştir. IVFSA ölüm sonrası adli muayene standartları, Ulusal Tıp Denetçileri Birliği’nin adli otopsi için geçerli olan standartlarına dayanmaktadır (www.thename.org). Bu standartlar belgesi, veteriner adli otopsi muayeneleri yapan ve muayeneler için minimum standartları sağlayan veteriner hekimlere rehberlik etmek için tasarlanmıştır. Standartlar; ön prosedürler, kanıtların belgelenmesi, harici ve dahili ölüm sonrası inceleme, lezyon ve yaralanmaların tanımlanması, uygulanacak tanı yöntemleri (radyoloji, toksikoloji vb.) ve ölüm sonrası inceleme raporu dahil olmak üzere birçok farklı bölümden oluşur. Veteriner hekimler bu standart belge (<https://www.ivfso.org>) içeriğinde yer alan bilgilere göre adli vakaya ilişkin görüş ve yorumlarını belirtirler.

Veteriner Adli Tıp, diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de önemli ve yeni bir alan olarak gelişimine devam etmektedir (Parry&Stoli, 2020). Bu bölümde; diğer ülkelerde ayrı bir dal olarak uygulanan Veteriner Adli Toksikoloji, Veteriner Adli Radyoloji ve Görüntüleme, Veteriner Adli Patoloji, Veteriner Adli Osteoloji, Adli Entomoloji hakkında kısa bilgi verilecektir.

Veteriner Adli Toksikoloji

a. Kötü Amaçlı Hayvan Zehirlenmeleri

Hayvan zehirlenmelerini bildirecek merkezi bir kurumun bulunmaması yanlış değerlendirmelerin yanı sıra kazara ve kasıtlı zehirlenmelerin ne kadar sık olduğunun belirlenmesini zorlaştırmaktadır. Bireysel vakalar genellikle kedi, köpek vb. hayvanlarda, çoklu vakalar ise çoğunlukla çiftlik hayvanlarında görülmektedir. Ülkemizdeki evcil hayvan zehirlenmelerinin istatistiksel oranı bilinmezken, yapılan bir çalışmada kötü niyetli zehirlenmelerin daha çok orta ila büyük boy köpeklerde (%75), daha az oranda ise kedilerde (%15) görüldüğü bildirilmiştir (Gwaltney-Brant, 2016). Geriye kalan %10’luk dilimi ise at vakaları, gıda olarak tüketilen hayvanların zehirlenmeleri ile egzotik ve vahşi yaşam zehirlenmeleri oluşturmaktadır (Gwaltney-Brant, 2012). Ancak, hayvanları zehirlenme eylemini gerçekleştirenlerin büyük çoğunluğu herhangi bir ceza almamaktadır. Bununla birlikte, fareler ve sıçanlar gibi halk sağlığını tehdit eden türleri zehirlenmek yasa dışı bir eylem olarak kabul edilmediğinden bu durum bazı insanlar tarafından meşru bir faaliyet olarak değerlendirilebilmektedir. Ancak bu hayvanları yiyen evcil (kedi ve köpekler) ve yaban (baykuş, şahin,

Kısım 1: Adli Bilimlerde Hayvanlar ve Entomolojik İzler

yılan) hayvanlar doğal olarak değişen derecelerde bir zehirlenme yaşarlar. Diğer taraftan, belirli bir hayvana ya da bakıcısına karşı misilleme yapmak, soygun, mala zarar vermek için hayvanlar kasıtlı olarak zehirlenmektedir (Gwaltney-Brant, 2016).

Evcil hayvanların kasıtlı olarak zehirlenmelerinde insanların evlerinde veya çevrelerinde rahatlıkla ulaşabileceği kemirgen öldürücüler, böcek öldürücüler, sümüklü böcek/salyangoz öldürücüler, etilen glikol, kafein, nikotin ve asetaminofen gibi insan ilaçları kullanılmaktadır.

Kötü niyetli çiftlik hayvanı zehirlenmelerinde ise genellikle bir çiftlikte bulunabilen çeşitli tarım ilaçları, kemirgen öldürücüler ve yem katkı maddeleri (özellikle iyonoforlar) rol oynamaktadır (Gwaltney-Brant, 2016). Diğer ülkelerde olduğu gibi ülkemizde de kemirgenleri öldürmek veya kasıtlı olarak özellikle sokakta yaşayan hayvanları zehirlenmek için daha çok striknin kullanılmaktadır. Bu ajanla zehirlenen hayvanların çoğu ise daha veteriner kliniklerine ulaşmadan ölmektedirler. Yine ülkemizde belirli yerlerde oluşan arı toplulukları insanlar tarafından zehirlenmek sureti ile ortadan kaldırılmaktadır.

b. Örneklerin İncelenmesi

Bir veteriner hekimin adli toksikoloji araştırması için yeteri kadar uygun materyali toplaması, işlemesi, hangi analizlerin yapılması gerektiğine karar vermesi, laboratuvara gönderme koşullarını sağlaması ve alınan örneklerin uygun şekilde saklanması çok önemlidir (Millo vd., 2008; Gwaltney-Brant, 2016). Analizi yapılan örnekler, şüphelenilen toksik maddenin izole edilmesi için işlenmelidir. Bu süreç (doku sindirimi, inkübasyon ve analiz) saatler, hatta günler alabilir. Örnekler; görsel olarak (gastrointestinal içerikler, yemler veya diğer numunelerdeki toksik bitkiler, toksik mantarlar, toksik algler) ve koku (siyanür vb.) açısından değerlendirilir. Bunun dışında alınan örneklerin incelenmesinde kimyasal reaksiyonlar, spektroskopi ve spektrofotometri, immünoanalizler, kütle spektrometrisi, kromatografi (HPLC, TLC, GC) kullanılabilir (Gwaltney-Brant, 2016).

c. Analitik Sonuçların Yorumlanması

Bir dokuda herhangi bir zehirin bulunması; mutlak bir toksikoz oluşumunu göstermez, sadece hayvanın bir toksikasyona maruz kaldığını işaret eder. Bu nedenle zehirin biriktiği organdaki zehir miktarının belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla çoğu veteriner tanı laboratuvarı, yaygın olarak kullanılan veteriner toksik maddeleri için normal ve toksik konsantrasyonların nomogramlarını belirlemiştir (Byrd vd., 2020).

Veteriner Adli Radyoloji ve Görüntüleme

Veteriner adli radyoloji ve görüntüleme, mahkemeler tarafından yasal belgeleme ve görüntüleme çalışmalarının invaziv olmayan bir şekilde elde edilmesi ve yorumlanmasıyla ilgilenen bir veteriner adli tıp disiplini. Adli radyolojide görüntüleme klinik radyolojide olduğu gibi radyografi, ultrasonografi, bilgisayarlı tomografi (BT), manyetik rezonans (MR) ve sintigrafi ile yapılmaktadır.

Veteriner radyoloji ve görüntüleme ile bir veteriner hekim tarafından yapılan tedavinin uygunluğu, hayvanın ölüm nedeni, hayvan istismarı, ayrılmış vücut parçalarının tanımlanması gibi

konularda katkı sağlamaktadır (McKnight vd., 2015). Yine benzer şekilde, kaçak avlanmaya bağlı hayvan ölümlerinin araştırılması (Thali vd., 2007) veya bazen yasadışı uyuşturucu kaçakçılığında kullanılan hayvanların değerlendirilmesinde de etkin şekilde rol oynayabilmektedir (Byrd vd., 2020).

Veteriner Adli Patoloji

Yeni gelişmekte olan Veteriner Adli Patoloji, hayvanların söz konusu olduğu veya direkt olaya karıştığı adli durumlarda postmortem muayenenin gerçekleştirilmesi ve raporlanmasında önemli bir rol oynar (Lockwood vd., 2016; McEwen vd., 2016; Brooks, 2018). Adli tıp patoloğu ile veteriner adli patoloğun çalışmaları temelde birbirine benzer. Ancak adli tıp patoloğu sadece tek bir tür ile ilgilenirken veteriner patoloğu pet, egzotik, çiftlik hayvanları ve vahşi yaşamla ilgili hayvan türleri ile çalışır. Hayvan istismarı, travma (yaş ve morarmaların süresi), boğulma, kaçakçılık vb. gibi durumlar nedeni ile yaşamını yitirmiş hayvanlarda atfedilen olayın gerçekleşip gerçekleşmediğinin ve ölüm sebebinin belirlenmesinde adli patolojiden faydalanılır (Nation, 2021).

Veteriner Adli Osteoloji

Adli veteriner osteoloji, veteriner hekimlik alanındaki adli vakalarda farklı türlerin osteolojisi veya anatomisindeki benzerlik ve farklılıkların incelenmesini sağlayan karşılaştırmalı osteoloji ile birlikte iskelet-kemik yapıları ve işlevlerini inceler. Yumuşak doku ayrıştıktan sonra dayanıklılığı nedeni ile uzun süre kendini koruyan kemikler, canlılığın yaşam ve ölümü ile ilgili kanıtların elde edilmesine imkân veren ve gelişmekte olan bir alandır.

Veteriner hekimliğine ilgili vakalar; sınıf, takım, aile, cins, tür, yaş, cinsiyet, boy/boyut, bireysel özellikler, sağlık, patoloji ve travma bulguları açısından değerlendirilerek biyolojik profilleri oluşturulur (Akış vd., 2016; Andrews vd., 2021). Travmaya maruz kalmış hayvanlarda travma tipinin, travma kalıplarının ve travmanın zamanlamasının değerlendirilmesinde Adli Veteriner Osteoloji etkin şekilde kullanılmaktadır (Intarapanich vd., 2016; Cojocar vd., 2021).

Adli Entomoloji

Yaban hayatı ve hayvan araştırmalarında entomolojik kanıtların değerlendirilmesi, adli bilimlerde oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Zulme uğrayan hayvanlarda ölüm nedeni ve şeklinin belirlenmesinde, böcek kolonizasyonunun şekli önemlidir. Bu kolonizasyon ateşli silah veya keskin bir aletle yaralanma gibi en yaygın travma çeşitleri sonucu oluşur. Bununla birlikte, bir hayvan kafa travmasına maruz kalmasa da böceklerin kafadaki doğal açıklıklarda kolonize olacağı unutulmamalıdır (Byrd vd., 2020).

Travma, böceklerin dermal katmanların altında yatan dokuya erişimine yardımcı olur. Travma sonucu dışarıdan üretilen kan, yetişkin sineklere bir besin kaynağı olan şeker ve proteini sağlar. Travma bölgesi genellikle erken gelen sinekler tarafından kolonize edilen ilk bölge olur. Muayene sırasında başka herhangi bir bölgede, özellikle bacaklarda, sırtta veya göğsün merkezinde kurtçuk kitlelerinin tespit edilmesi, o bölgede larva erişimine izin veren bir tür yara olma ihtimali gösterir. Travma yokluğunda ise böcek güdümlü ayrışmanın tipik modeli baş aşağıdır ve çoğu doku kaybı gelişen alanlar vücudun ön bölümünde yer alır. Siğir ve çok kalın

derili diğer türler gibi büyük hayvanlarda ise biraz farklı bir görünüm izlenir (Byrd vd., 2020). Eğer hayvanın vücudunda ilaç, zehir veya diğer kimyasallardan biri bulunuyorsa o bölgelerde de kolonizasyon görülebilir (Introna vd., 2001). Karkasın iç kısmına erişim durumunda ise larvaların beslenmesi nedeniyle biraz daha hızlı bir ayrışma oluşabilir (Catts&Haskell, 2008; Byrd&Castner, 2010).

Veteriner Adli Bilimlerinin Hukuki Araştırmalara Uygulanması

Canlı veya ölü olarak adli olaya karışmış evcil veya yaban hayvanların ölüm sebebi veya olaya karışma şeklinin belirlenmesi vakaların çözülmesinde önemli rol oynar. Veteriner Adli Bilimlerde olayların detaylandırılması ve sonuçlandırılmasında veteriner hekimin olay yeri ve hayvan üzerindeki gözlemi ile klinik bulguları titizlikle değerlendirmesi olayın hukuki olarak çözülmesinde yardımcı olur.

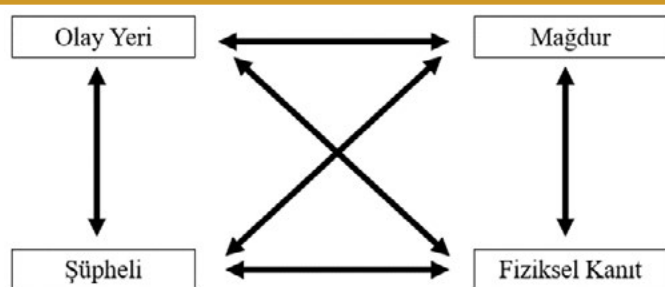
Tıbbi geçmiş, tanık ifadeleri ve olay yeri incelemesi, olayın meydana geldiği yerin tüm detayları ile belirlenmesi için yapılır. Çoğu zaman hayvan kurbanlarının tıbbi geçmişi bilinmez. Hayvanın fiziksel muayene öncesinde ve sonrasında bulunduğu ortamın detaylı bir şekilde fotoğraflanması, çizilmesi, video çekimi suç mahallinin değerlendirilmesini ve eziyet gören hayvanların tanımlanmasına yardımcı olur. Çünkü, olay yeri tüm bir mülk, konut, oda, köpek kulübesi veya hayvanın kendisi olabilir. Bu nedenle şüpheli ile mağdurun veya şüphelinin olay yeri ile olan bağlantısının belirlenmesi ve gerekçeli olarak belgelenmesi önem taşır. Hayvanın otopsi ise ölüm koşulları belirlendikten sonra yapılır (Lawton&Cooper, 2009; Brooks, 2018; Byrd vd., 2020).

Kanıtların toplanması, adli veteriner hekimin olayları çözümlemesinde değer taşır. Kanıtlar; fiziki muayene bulguları, olay yerinin çizimi, fotoğraflar, video çekimleri, kıl, kan, salya vb. gibi hayvana ait materyaller ve suçun işlendiği yerde toplanan her şeyi kapsar (Brooks, 2018) (Şekil 1.). Kanıtların toplanması kadar izlenmesi de önemlidir. Çünkü, yaralanan veya korkan hayvanların davranışları değişebilir ve hayvanlar yaralı bölgeyi yalayarak kanıtları ortadan kaldıracaklardır. Yine benzer şekilde bir tarafa sürtünebilir ve genellikle saklanma eğilimi gösterebilirler. Bu nedenle kanıtların doğru kanıt saklama araçları (örn. plastik torba yerine kağıt torba) ile saklanması izlerin yok olmasını önler (Touroo&Fitch, 2016).

Olaya karışan bir hayvan kaynağından alınan genetik materyalin

Şekil 1

Kanıt bağlantı şeması, olay yeri, fiziksel kanıt, mağdur ve şüphelinin bağlanabileceği çeşitli yolları gösterir



Açıklama notu. Touroo R., Fitch A., 2016, Identification, Collection, and Preservation of Veterinary Forensic Evidence: On Scene and During the Postmortem Examination. *Veterinary Pathology* 53(5) 880-887.

analizi bir türün ve bir bireyin tanımlanmasına olanak sağlar (Cardinali vd., 2023). Hayvanların genetik kanıtları ve DNA analizi ile suça karışan hayvanın türü, cinsiyeti ve genetik profili DNA üzerinden belirlenebilmektedir.

Hayvanları istismar eden kişiler ile kadın ve çocukları istismar edenler arasında güçlü bir ilişki olduğu bildirilmiştir (Becker&French, 2004; Gullone&Robertson, 2008). DNA aracılığıyla köpek dövüşü veya horoz dövüşünde yer alan hayvanlar ile sahipleri, dondurucudaki et ile bu eti taşıyan araç veya eti kesen bıçak üzerindeki kan arasında bir bağlantı kurulabilmektedir (Arkow vd., 2011; Bartelink vd., 2021).

Yaban hayatında, fil dişleri ve gergedan boynuzlarından elde edilen DNA, bu materyallerin coğrafik kökeninin belirlenmesi ve hayvanın tanımlanması için yeterli olmaktadır (Comstock vd., 2003; Jobin, 2008). Tür açısından zengin olmaları nedeni ile hayvanlarda adli DNA araştırmaları insanlarda olduğundan daha zordur. Bu nedenle, her tür için genomdan uygun belirteçlerin tanımlanması, güvenilirlik ve bilgi açısından test edilmesi ve daha sonra uygun istatistikler üretebilen bir veritabanı oluşturulması gereklidir.

DNA (nDNA, mtDNA) memelilerin lökositlerinde, kuşlar, sürüngenler ve amfibilerde mevcut DNA çekirdekli olan eritrositlerde bulunur. Nükleer DNA kromozomlar halinde düzenlenmiştir ve insanlarda 23 çift kromozom (46 ayrı kromozom), köpeklerde 39 çift, fillerde 56 takım ve hindilerde 80 takım halinde bulunur (Byrd vd., 2020). Hayvanlarda da insanlarda olduğu gibi bireysel genetik profiller oluşturmak için nükleer DNA (nDNA) kullanılır. Bir hayvanın cinsiyeti, memelilerdeki XY kromozomlarının (dişiler XX ve erkekler XY) veya kuşlardaki WZ kromozomları (dişiler WZ ve erkekler WW) tanımlanmasıyla belirlenir (Kaitholia vd., 2020). Timsahlar ve kaplumbağalar gibi bazı türler sıcaklığa bağlı cinsiyet belirleme özelliğine sahiptir, bu da genetik olarak cinsiyetlendirilmelerinde sorun oluşturmaktadır. nDNA, bireyleri tanımlamak için altın standart olarak kullanılmaktadır (Kanthaswamy, 2015).

DNA analizi için kanıt olarak; bir dövüş çukurundan toplanan kan lekeleri veya salya örnekleri, ısırıklar, bir kamyonun arkasında bulunan kan örnekleri, köpek kulübelerinden alınan kıl örnekleri, dişler, kemikler veya giysiler kullanılabilir. mtDNA ile tür belirlendikten sonra donörün cinsiyeti (nDNA'dan X/Y kromozomları) ve nDNA'dan profili belirlenir. İşaretleyiciler ve bir veri tabanı mevcutsa, genetik profil, köpeklerden alınan bukkal sürüntüler, doku örnekleri, ölü bir geyikten alınan kıllı deri gibi örneklerden oluşturulan profillerle karşılaştırılabilir (Byrd vd., 2020).

Hayvanın ölüm şeklinin boğulma (suda, ip veya zincirle, asfeksi, karbon monoksit, zehirlenme) ve ölüm saatinin belirlenmesinde kanıt olarak alınan kan, salya, kıl, kusmuk, idrar, dışkı, süt, yem, su, elyaf, boya, ateşli silah kalıntısı, yangın enkazı vb. materyaller *toksikolojik, radyolojik, patolojik, osteolojik ve entomolojik* olarak incelenir (Abelson vd., 2013); Byrd vd., 2020).

Adli Bilimlerde Veteriner Hekimlerin Rolü

Veteriner adli bilim, daha yeni ve gelişmekte olan bir dal olarak insan tıbbında kullanılan adli disiplinlere bağımlılık göstermektedir. İnsan ve veteriner adli bilimleri arasındaki en önemli fark ise insan adli bilimlerinde kanıtların fiziksel (parmak izi vb.), veteriner adli bilimlerinde ise canlı (hasta veya ölü hayvan) olabilmesidir.

Kısım 1: Adli Bilimlerde Hayvanlar ve Entomolojik İzler

İnsanlara ait adli kanıtlar davadan önce poşetlenip etiketlenebilir ve uzun süre saklanabilir, ancak bu hayvanlarda mümkün olmayabilir. Bu nedenle canlı delil, insan adli bilimlerinde yabancı bir kavramdır (Bailey, 2016).

Hayvanlarda yaş tespiti, satışları sırasında yapılan hileler ve maddi değer belirlemeleri, hayvan ölümlerine neden olan sebeplerin (ilaç, yem, su, kimyasal vb.) tespiti, at yarışları (binici hataları, doping vb.), hayvan istismarı (hapis, fiziksel ve duygusal şiddet, cinsel istismar vb.), hayvansal kaynaklı gıdaların muayenesi ile ihbarı mecbur zoonoz hastalıklarının (kuduz, bruselloz, tüberküloz, ruam, kist hidatik vb.) tanımlanması gibi konularda gerekli bilgi ve deneyime sahip veteriner hekimler bilirkişi olarak görev yaparlar. Böylece hayvanların karıştığı adli olaylarda veteriner hekim gerekli inceleme ve değerlendirmeleri yaparak mahkemelerin karara varmasını sağlamaya çalışırlar (Cooper&Cooper, 2007). Bununla birlikte, veteriner hekimlik uygulamalarının adli açıdan farklı yönleri bulunması nedeni ile adli veteriner hekim; hekimliğinin yanı sıra uzman tanık ifadesine kadar kanıtların (DNA ve genetik kanıtlar, entomolojik kanıtlar, toksikolojik kanıtlar, zehirlenmelere ilişkin kanıtların toplanması ve korunması, rapor yazımı gibi konularda da bilgi sahibi olmalıdır (Byrd vd., 2021).

Ülkemizde bulunan Veteriner Fakülteleri ve Veteriner Araştırma Enstitüleri'nde görev yapan, konusunda uzman 6754 sayılı *Bilirkişilik Kanunu* (Resmi Gazete; 24/11/2016 tarih ve 29898 sayı) gereğince veteriner hekimler adli konularda hayvana ait tanımlamalar ve bilirkişilik yapabilmektedir. Veteriner adli tıp bilime ilgili eğitim ülkemizdeki Veteriner Fakülteleri'nde kanıt toplama, raporlama, adli suç teşkil eden konular vb. gibi çeşitli alanları içerecek şekilde ders müfredatı olarak verilmektedir. Bu nedenle bir veteriner hekim, evcil veya yaban (nesli tükenme tehlikesi altında veya yaşam refahı sorunları olanlar) hayvanlarının karıştığı bir davaya doğrudan tek başına bilirkişi olarak dahil olabilir, adli veteriner patoloğu veya tıp hekimi, diş hekimi gibi diğer disiplinlerden adli

tıp uzmanlarıyla çalışabilir (AVMA, 2008; Arkow, 2015; Byrd vd., 2021). (Şekil 1.1.2)

Veteriner adli tıp bilimi, tıp ve veteriner hekimliğini birbirine bağlayan bir karşılaştırmalı tıp şekli olması sebebi ile hem insanlara hem de hayvanlara fayda sağlayan "*Tek Sağlık*" sistemi için önemli bir faktör olarak gelecekte hak ettiği değere kavuşabilecektir.

Adli Bilimlerde Mağdur ve Suçlu Olarak Hayvan

Adli bilim çalışmalarında evcil ve yaban hayvanları; kazara veya kötü niyetli bir eylemle bir davaya konu olabilmektedir. Hayvanlar üzerindeki dava konuları arasında yaralanmalar, yırtıcı hayvan saldırıları, sakatlıklar ve doğal olmayan eylemler yer alır. İnsanlar tarafından hayvanlara uygulanan her türlü fiziksel (travma, sıcak, soğuk vb.), duygusal (psikolojik) (istifçilik, aç bırakma, hayvan dövüşleri vb.) ve cinsel istismar bir suç unsuru olarak değerlendirilir (Cooper&Cooper, 2007).

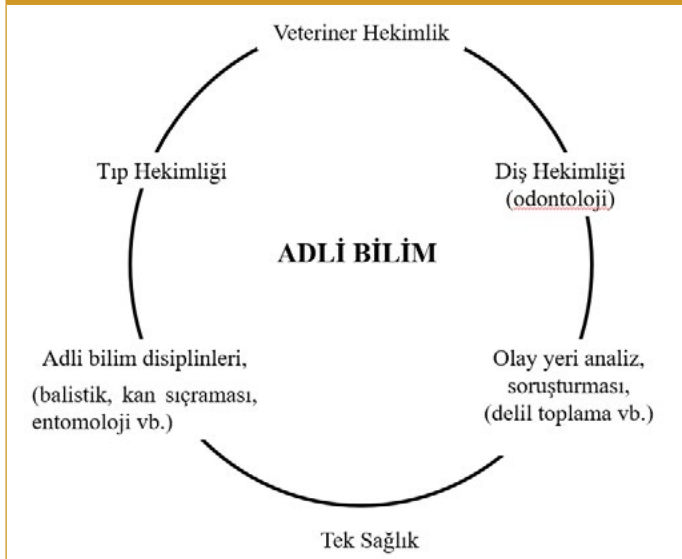
Hayvanlar; adli olaylara ya kurban ya da istismar olmak üzere iki farklı şekilde dahil olmaktadır. Bu nedenle veteriner adli bilimlerinde, veteriner hekimin iyi bir gözlemci olması çok önemlidir (Cooper&Cooper, 2007). İyi bir gözlem, klinik bulgular, tutulan kayıtlar ve yapılacak sistematik bir inceleme ile mağdurun bir insan veya bir hayvan olduğuna bakılmaksızın durum değerlendirilir (Arkow, 2015). Günümüzde yürürlükte olan yasaların yeterli derecede uygulanmaması nedeni ile ülkemizde hayvanlara karşı uygulanan şiddet önlenememektedir. Çeşitli yerlerde bahis oynatılarak yasadışı köpek dövüşleri (genellikle Pitbull köpekleri ile) yapılmaktadır. Karanlık mekanlarda ve dar kafeslerde aç bırakılarak dövüşmek zorunda bırakılan bu köpekler her açıdan istismar edilmektedir. Dövüşler sonrası ciddi şekilde yaralanan hayvanlarda çeşitli sağlık sorunları oluşmakta ve hatta yaşamlarını kaybetmektedirler (Cooper&Cooper, 2007).

Hayvanlar; evcil ve/veya vahşi hayvan türlerinin ısırılmaları, yaralanmaları, arı, akrep gibi hayvanların sokmaları nedeni ile aşırı duyarlılığın gelişimi ve çeşitli zoonotik hastalıkların bulaşması söz konusu olabilir. Bununla birlikte, hayvanlar insanların mülklerine zarar verme (kuşların ekinleri yemesi vb.), gürültü yapma (köpeklerin havlaması vb.), yerleşim yerlerine yakın bölgelerde bulunan ve koku yayan birimler (mandra vb.), bireysel alerjenler (hayvan tüyü vb.) ve korku (kedi korkusu- ailurofobi) gibi çeşitli sebeplerle insanlara karşı zarar verici bir etki gösterebilirler (Cooper&Cooper, 2007).

Evcil kedi ve köpekler, sokaklarda yaşayan ve sürü halinde dolaşan sahihsiz köpekler veya ağızlık takılarak uygun koşullarda dolaştırılmayan köpekler tarafından gerçekleştirilen çocuk ve yetişkinleri ısırma vakaları ile sık karşılaşılmaktadır. Bu ısırık vakaları bazen sahipli bir hayvan ile başıboş bir hayvan arasında meydana gelmektedir. Ülkemizde travma nedeniyle hastane acil servisine başvuran olguların %5'ini hayvan ve insan ısırıklarının oluşturduğu, hayvan ısırıklarının %70'inin ise köpek ısırığı olduğu tespit edilmiştir (Yapıcı vd., 2015; Demirtaş vd., 2016; Kara&Delice, 2018; Kara, 2020). Yine özellikle tarım ve hayvancılığın yapıldığı kesimlerde at, eşek, sığır vb. hayvanlar da çeşitli travmalara neden olabilmektedir (Yenidoğan vd., 2014; Ünal vd., 2015; Bucak vd., 2020). Adli vaka olarak değerlendirilen bu ısırıklar, açılan bir ceza veya hukuk davasında tıp ve veteriner adli hekimlerinin birlikte çalışmasını gerektirir (Cooper&Cooper, 2007).

Şekil 2

Veteriner adli bilimlerde ve tek sağlık kavramının bütünleştirilmesine ilişkin diyagram.



Açıklama notu. Byrd J. H., Norris P, Bradley- Siemens N., 2020, Veterinary Forensic Medicine and Forensic Sciences. Taylor & Francis Group, LLC kaynağından uyarlanmıştır.

Hayvanlar ile insanlar arasında bir bulaşmaya neden olan kuduz, ruam, kuş gribi vb. gibi zoonotik hastalıklar adli tıp açısından oldukça önemlidir. Herhangi bir bölgede zoonotik bir hastalığın ortaya çıkması ve/veya yayılması, ihmal durumunda oluşan risk durumuna göre adli olarak suç teşkil edebilir (Green, 2011). İstifleme veya uygunsuz bakım koşulları ile evcil hayvanlardan (kedi, köpek, at) insanlara ya da insanlardan hayvanlara metisiline dirençli *Staphylococcus aureus* (MRSA) enfeksiyonunun bulaşması ve yayılması önemli bir sorun olarak değerlendirilir (Cooper&Cooper, 2007; Green, 2011).

Hayvanlara Yönelik Cinsel İstismar

Hayvanlara kötü muamele ve istismar, yakın partner istismarı, cinsel saldırı, tecavüz, cinayet dahil olmak üzere insanlara yönelik şiddetin önemli bir göstergesidir. Hayvanlara yönelik cinsel istismar, "çocukların cinsel istismarı"ndan türetilmiştir (Munro & Munro, 2008) ve bir hayvanla cinsel aktivite, kişi ve hayvan arasındaki fiziksel cinsel temas olarak tanımlanmaktadır.

Zoofiliinin psikoz gelişimi için erken bir belirteç olduğu işaret edilmektedir (Lesandrić vd., 2017). Hayvanlara yönelik cinsel istismarı özellikle çocukken gerçekleştiren bireylerin, çocuk cinsel istismarına karşı çok büyük risk taşıdığı gösterilmiştir (Abel, 2008; Johnson, 2018). Ayrıca, bu suçluların yaklaşık %40'ının önceden hayvanlarla cinsel ilişki, çocuk cinsel istismarı, aile içi şiddet, darp, yetişkinlere tecavüz, madde kullanımı ve hatta cinayet için sabıka kaydı olduğu belirlenmiştir (Edwards, 2018). Hayvanlara yönelik cinsel istismar, sadece evcil türlerle veya belirli bir hayvan boyutu ile sınırlı olmamakla birlikte, köpek ve atlarda cinsel istismarın diğer türlere göre daha yaygın olduğu tespit edilmiştir (Williams&Weinberg, 2003).

Veteriner hekimlerin bir cinsel istismardan şüphelenmesinde hayvanın yaralanma şekli (vajinal ve anorektal penetran, penil ve penil olmayan yaralanma, perianal hasar ve cinsel organlara travma) büyük önem taşır. Bazı yaralanmalar ise aşırı travma ve yoğun kanama nedeni ile hayvanın yaşamının sonlanmasına neden olabilmektedir (Sinclair vd., 2006; Johnson, 2018).

Cinsel istismar mağduru hayvanlar, muayene için bir veteriner hekime getirildiğinde iz toplama ve lezyonlu bölgelerin belgeleri ile yapılan fiziki muayeneden sonra, kan (hemogram ve serum biyokimyası), idrar ve dışkı örnekleri analiz için bir referans laboratuvarına gönderilmelidir. Uyusturucu ile kolaylaştırılmış bir hayvana yönelik cinsel saldırıda yatıştırıcı ajanların kullanıldığından şüpheleniliyorsa, veteriner hekim muayene öncesi hayvanın tutulması, radyografi çekimi vb. işlemler için herhangi bir sakinleştirici vermeden önce toksin taraması için yeterli miktarda kan örneği alınmalıdır. İstismara uğrayan bir dişi köpeğin ilk idrar örneği, içinde mevcut olabilecek herhangi bir spermatozoayı korumak için çok dikkatli bir şekilde ele alınmalıdır. Eylemi gerçekleştiren kişiler, istismara uğrayan hayvana karşı eylem sırasında kendilerine izin vermesi için zor kullanırlar ve bu amaçla fiziksel (kafaya şok darbeler, başın, ağızın ve/veya uzuvların bağlanması, kuvvetli kavrama) veya kimyasal (yatıştırıcı) bir kısıtlama veya davranışsal eğitim yoluyla koşullandırma yapabilirler. Bu tür zorlamaların işaretleme tıbbi kayıtlara not edilerek, uygun şekilde şematize edilmeli, fotoğraflanmalı veya videoya kaydedilmelidir.

Hayvanlar, cinsel istismarı kabul etmek veya cinsel eylemlerde

bulunulmak üzere koşullandırılmış veya eğitilmiş olabilir. Muayene sırasında lordoz pozisyonu alma, itme veya spontan boşalma gibi koşullu davranışlar not edilmeli ve mümkünse videoya alınmalıdır.

Hayvan cinsel saldırısı mağdurlarının vajina veya makatlarına yabancı cisimler sokularak, orada sabitlenebilmektedir. Bu nedenle mağdur hayvanlarda bütün vücut radyografisi alınarak, iç üreme organları, karın boşluğu ve kuyruk tabanı travma kanıtı açısından yakından incelenmelidir. İstismarcının DNA profilini belirlemek için kurban hayvandan bir bukkal sürüntü alınabilir. Elde edilen DNA profili, yaralı bir faille (ısırık veya çizik) veya hayvanı kısıtlamak, delmek veya yaralamak için kullanılmış olabilecek herhangi bir yabancı cisimle eşleştirmek için kullanılabilir (Ciampolini vd., 2017; Kanthaswamy vd., 2021).

Hayvanlara Yönelik İstismar ve Kişiler Arası Şiddet İlişkisi

Hayvan zulmü, "bir hayvana ve/veya hayvana kasıtlı olarak gereksiz acı, ıstırap veya sıkıntı veren sosyal açıdan kabul edilemez davranış" olarak tanımlanmıştır (Brewster&Reyes, 2013). Eş istismarı, çocuk fiziksel istismarı, çocuk cinsel istismarı ve kardeş istismarı durumlarında hayvan istismarının orantısız bir şekilde mevcut olduğu bulunmuştur. Ev ortamında yaşayan evcil hayvanlar, saldırgan bir aile üyesi tarafından daha savunmasız aile üyeleri üzerinde güç ve kontrol uygulamak için bir terör ve/veya psikolojik istismar silahı olarak kullanılabilir. Bununla birlikte, bir dizi antisosyal davranışın bir parçası olarak ortaya çıkan hayvan istismarının genellikle hayvan istismarcıları ve ev ortamıyla sınırlı olmamak üzere yüksek oranda hem şiddet içeren hem de içermeyen suçları işleme riski gösterdikleri belirlenmiştir (Gullone, 2008; Monsalve vd., 2017).

Hayvan istismarı, günlük aile içi şiddet, hayvanlara yönelik şiddetle yakından ilişkilidir (Patronek vd., 2016, Monsalve vd., 2017; Johnson, 2018; Smith-Blackmore&Bethard, 2020).

Hayvan ihmali ise bir hayvanın sağlık, beslenme, su gibi temel ihtiyaçlarının karşılanmamasıdır. Bu eylem genellikle hayvan yakınının hayvanın ihtiyaçlarını bilmemesinden kaynaklanır. İhmal kasıtlıya veya kötü niyetliyse hayvanın acı çekmesine, susuz kalmasına ve/veya hayvanın açlıktan ölmesine neden olabilir (Patronek vd., 2006).

İstifçilik

İstifçilik vakalarında hayvan ihmalinin daha karmaşık bir varyasyonu görülür. Bu hayvanlara biraz yiyecek, biraz su (içilebilir veya değil) ve az oranda veteriner bakımı sağlanmasına karşın yaşam koşullarının (bağlama zincirleri/ipleri, aşırı uzamış tırnaklar/toynaklar, çevre koşulları vb.) oldukça kötü olduğu izlenir (Lockwood vd., 2019). Çoğunlukla bu eylemi gerçekleştiren kişiler tarafından kurtarma ve yardım etme amacı ile yapıldığı ifade edilen istifçilik, karmaşık nöropsikiyatrik bozuklukların (obsesif kompulsif bozukluk, OKB) bir belirtisi olarak kabul edilmektedir. Hayvanlar uygun olmayan barınma koşullarında (büyüklük, temizlik vb.) dağınık ve düzensiz olarak kontrolsüz bir şekilde biriktirilir (Bradley-Siemens vd., 2018).

İstifleme, herhangi bir hayvan türü ile yapılabilmektedir (Merck vd., 2013) ve hayvan istifçilerinin %70'inden fazlasını kadınların (yaş ortalaması 53) oluşturduğu belirlenmiştir (Patronek vd.,

2006; Bradley-Siemens vd., 2018). Hayvan istifçileriyle ilgili en büyük sorunlardan biri, bu kişilerin bu durumu normal karşılamaları ve yanlış bir şey yaptıklarına inanmamalarıdır (Merck vd., 2013). Bir arada kalan hayvanların çoğu bakım koşulları nedeni ile hastadır, ancak kişi bu durumu doğal karşılar, hatta hasta hayvanları bir veteriner hekime danışmadan kendisi ilaçla tedavi etmeye çalışabilir. Hayvan istifçiliği, hem uygunsuz bakım şartlarında bir arada yaşamaya mahkum edilen hayvanlar hem de halk ve çevre sağlığı açısından insanlar için hastalık kaynağı olabilmektedir.

Ülkemizde de bazı insanlar çok sayıda hayvanı, özellikle kedileri kurtarma adı altında evlerine almaktadır. Kalabalık ortamlarda bir arada yaşayan bu hayvanların tuvalet hijyeni sağlanmadığından hayvanlar genellikle idrar ve dışkı ile bulaşık olduğu izlenir. Böylece uygun olmayan koşullarda bakılan ve beslenmeye çalışılan evlerde yaşayan hayvanlardan birinin sahip olduğu hastalıklar (viral, paraziter vb.) diğerlerine bulaşabilmektedir.

Hayvan Dövüşleri

Hayvan dövüşleri; istifçilik, zulm ve ihmal ile ortak unsurlara sahip olmakla birlikte para kazandıran bir suç eylemi olarak diğerlerinden ayrılır. Organize hayvan istismarı olan hayvan dövüşleri daha çok köpek dövüşü; horoz dövüşü ve domuz-köpek dövüşü, daha az oranda da balıklar, küçük kuşlar ve atlar arasında yapılmaktadır (Merck, 2013; National Humane Education Society, 2018).

Horoz dövüşleri sırasında saldırganlığı arttırmak, vücut ağırlığını azaltmak (tarak gerdanlık, kulak memeleri, kuyruk tüyleri kesilir) ve yaralamayı kuvvetlendirmek (kama ve bıçak takılması için doğal mahmuzları çıkarılır) için hayvanların bedeni üzerine de ayrıca müdahale edilmektedir (Lockwood, 2013).

Köpek dövüşleri için karanlık ve dar mekanlarda aç bırakılarak yetiştirilen Pitbull gibi çene yapısı kuvvetli köpekler, hayatta kalabilmek adına karşısındaki rakiplerini öldürmek üzerine eğitim alırlar. Çeşitli ülkelerde olduğu gibi bizim ülkemizde de hayvan dövüşleri (köpek dövüşü, horoz dövüşü, deve dövüşü) yasak olmakla birlikte oldukça yaygın şekilde uygulanmaktadır.

Travmalar

Veteriner adli tıp biliminde bir hayvanın yaralanmasına neden olan travmalar künt ve keskin olarak iki farklı şekilde meydana gelir. Keskin olmayan bir nesne tarafından bir hayvana dışarıdan veya harici bir kuvvetin uygulanması ile oluşan künt travmalar; hayvan bedeninde makroskopik düzeyde (aşınma, kontüzyon/morarma, yırtılma, kırık vb.) ve mikroskopik düzeyde (hücre yaralanması ve/veya ölüm vb.) zararlara neden olur. Bu değerlendirmelerin ciddiyeti yaralanmanın derecesine göre değişmektedir. Çarpmanın meydana geldiği zaman ve yüzey alanı ile çarpmanın meydana geldiği vücut alanı gibi faktörlerden de etkilenebilmektedir (Ressel vd., 2016). Bu konuda yapılan çalışmalar; künt travmaların hayvanlarda pıhtılaşma kabiliyetleri ve pıhtılaşma süreci üzerine etkili olabileceğini göstermektedir (Abelson vd., 2013; Gottlieb vd., 2017).

Künt bir travmaya maruz kalan hayvanlarda abrazyonlar (düşme, sürüklenme, tırnağa ilgili vb.), kontüzyonlar, laserasyonlar ve kırıklar görülebilir (Ressel&Ricci, 2016). Hayvanların türüne göre tüylü deri örtüsü farklı olduğundan veteriner hekimin detaylı bir

klirik muayene yapması ve lezyonları bir an önce fotoğraflaması bu lezyonların daha fazla ilerlemeden dağılımının belirlenmesini sağlayacaktır. Travma nedeni ile kırık gelişen hayvanlarda bazen laserasyonlar, kontüzyonlar, delinme ve/veya penetran yaralar ve kanamalar da görülebilir. Canlı hayvanlarda kırıklar, tipik olarak fiziki muayene sonrası alınan radyografi ve bilgisayarlı tomografi (BT) gibi tanısal görüntüleme ile desteklenen ortopedik muayene ile teşhis edilir (Fossum, 2007). Bununla birlikte bulaşıcı hastalıklar, metabolik hastalıklar ve neoplastik bir hastalık sebebi ile oluşabilecek patolojik kırıklar da inceleme sırasında dikkatli bir şekilde değerlendirilmelidir (Fossum, 2007). Oluşan lezyonların ne kadar eski olduğunun belirlenmesi konusunda hayvanlar üzerinde yapılan çalışmalar sınırlı olmasına karşın, örneğin kedilerin köpeklerden daha yavaş iyileştiği ve granülasyon dokusunun köpeklerde daha hızlı geliştiği bilinmektedir (Munro&Munro, 2013). Hayvanların kendilerini temizlemek veya kaşımak için yalamaları, ısırmaları veya pençelerini kullanmaları ulaşabildikleri vücut bölgelerinde sekonder yaralanmalara neden olabilmektedir. Diğer taraftan yetersiz beslenme, şiddetli hipoproteinemi, parazit invazyonu, zayıf veya aşırı vücut kondüsyonu, yaş, eşzamanlı seyreden hastalıklar ve ek yaralanmalar gibi faktörler de oluşan lezyonların görünümünü ve iyileşmesini etkileyebilir. Bu nedenle, veteriner hekim lezyonun kesin yaşını belirlemeye çalışmak yerine görsel görünümün ve/veya histolojik bulgunun/bulguların bildirilen travmanın zaman çerçevesiyle uyumlu olup olmadığını belirlemeye çalışır (Gerdin&McDonough, 2013; Gerdin, 2014).

Adli vakalarda, lezyonların oluşma zamanı (ölümden önce veya sonra), ölümcül olup olmadığının ve lezyonların yaşının belirlenebilmesi için hayvanın otopsi sırasında ve sonrasında alınan örneklerin histopatolojik olarak incelenmesi gereklidir (Betz&Eisenmenger, 1996; Sauvageau&Racette, 2008). Hayvanlarda en sık karşılaşılan ölüm nedeni ise hipovolemik şok gelişimidir (Di Maio&Di Maio, 2001; Dettmeyer vd., 2014). Keskin travmaların neden olduğu yaralanmalar kısmen hayvanın kürk/tüyleri ve deri özellikleri nedeniyle veteriner patolog ve klinisyen için tanının konulmasında bazı zorluklara yol açabilir. Bu sebeple doğru bir tanı için bazen oluşma şekilleri birbirine benzer olabilecek keskin ve künt yaralanmaların ayırt edilmesi önem taşır.

Ateşli Silah Yaraları ve Yara Balistikleri

Ateşli silahların kullanımı, her zaman bir suç unsuru olarak değerlendirilmeyebilir. Yaralama veya öldürme ile sonuçlanan ateşlemeler bir suç unsuru olarak soruşturulmadan önce, sahibinin rızasının olup olmadığı, kazara veya kasıtlı mı olduğu, av sezonu dışında mı yapıldığı, yasal koruma alanlarının dışında mı gerçekleştiği veya gereksiz bir acıya neden olup olmadığı belirlenmelidir (Munro&Munro, 2008; Bradley-Siemens&Brower, 2016). Hayvanlarda genellikle dava konusu olan mermi ile yaralanmalar, canlı hayvanlarda ölüme neden olabilmekte veya ötenazi yapılmak zorunda kalmaktadır. Bu tür olaylarda adli muayene; ateşli silah yaralarının muayenesi, mermi yörüngelerinin belirlenmesi, menzil ve yön belirleme, görüntüleme prosedürleri, mermi kanıtlarının toplanarak muhafaza altına alınması ve barut analizleri yapılması sağlanarak gerçekleştirilmelidir (Bradley-Siemens&Brower, 2016).

Ateşli silah yaralanmalarının neden olduğu hasarın boyutunu belirlemek için genel bir ateşli silah ve mühimmat bilgisine sahip

olunması önemlidir. Veteriner hekimlikte karşılaşılan mermi yaraları en yaygın olarak tabancalar, tüfekler, pompalı tüfekler ve havalı tüfekler ile ateşleme sonucu meydana gelmektedir (Bradley-Siemens&Brower, 2016; Bradley-Siemens vd., 2018). Bu ateşli silahlar dışında hayvan istismarı için çivi tabancası, patlama sopası (köpekbalıkları, büyük balıklar ve timsahları öldürmek için kullanılır) gibi silahlar da kullanılabilir (Bradley-Siemens vd., 2018).

Penetre veya perfore mermi yaralanmalarında, merminin giriş ve/veya çıkış yaralarının belirlenmesi kritik önem taşımaktadır (Bradley-Siemens&Brower, 2016). Mermi yaralanması olan hayvanlarda yara alanına ek olarak pnömotoraks, pnömomediastinum, kardiyak tamponad, nefes darlığı, kırıklar, peritonit, hemoabdomen veya hemotoraks gelişebilir (Merck, 2013).

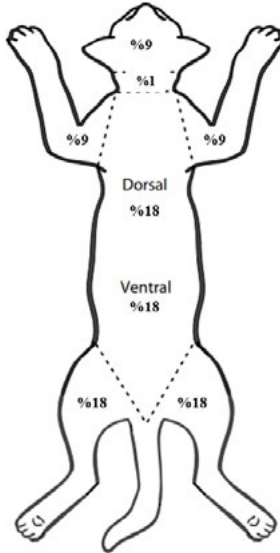
Çevresel ve Durumsal Nedenlerle Yaralanma veya Ölme

Hayvanlara ilgili çevresel yaralanma veya ölüm; iklim değişiklikleri, hapsedilen veya barınaklara alınmayan hayvanların hipertermi veya hipotermisi sonucu gelişir (Byrd vd., 2020). İstismar edilen hayvanların karşılaştığı yaralanma veya ölüm olayları termal, kimyasal veya elektrik kaynaklı yanıklar ile suya daldırma şeklinde yapılan boğulma eylemlerini kapsar. Diğer boğulma sebepleri arasında ise ip veya zincirle boğulma, asılarak boğulma ve asfeksi yer almaktadır (Brooks, 2018; Byrd vd., 2020).

Veteriner hekimlikte yanıklar nispeten nadir (Pope, 2003; Garzotto, 2015) olmakla birlikte, evcil hayvanlarda yanıklarla karşılaşıldığında, özellikle hayvan istismarı açısından ayırıcı bir tanı yapılmalıdır. Evcil hayvanlarda en yaygın yanık nedenleri arasında elektrikli ısıtma pedleri, sigara yanıkları, kaynar su (kaynar su dökülmesi veya aşırı sıcak biyotlar), yangına maruz kalma, ısı lambaları, araç motorları, yanlış topraklanmış elektrikli koter üniteleri ve radyasyon tedavisi sayılabilir (Garzotto, 2015).

Şekil 3

"Dokuzlar Kuralı" ile TVYA yanma yüzdesi tahminleri.



Açıklama notu. Byrd J. H., Norris P., Bradley-Siemens N., 2020, Veterinary Forensic Medicine and Forensic Sciences. Taylor & Francis Group, LLC kaynağından uyarlanmıştır.

Hayvanın yaralanmasına neden olan etmen kadar yaralanma derecesi ve yaralanan vücut yüzey alanı yüzdesinin belirlenmesi de önem taşır (Garzotto, 2015). İnsanlardaki yanık yaralanmaları hakkında bilinenlerin çoğu, hayvan modelleri üzerinde yapılan çalışmalardan elde edilmiştir (Sinclair vd., 2006). Dört ayrı seviyede ifade edilen yanık olaylarında; toplam vücut yüzey alanının (TVYA) %20'sinden fazlası yanan evcil hayvanlarda önemli metabolik bozukluklar gelişirken, TVYA'nın %50'den fazlası yanan hayvanların prognozu ise kötü olarak kabul edilir (Garzotto, 2015).

İnsanlarda yanık yaralanmalarının boyutu "Dokuzlar Kuralı" adı verilen bir yöntemle tahmin edilir (Rodes vd., 2013). Evcil hayvanlarda ise baş, boyun ve ön ayakların her biri vücut yüzey alanının %9'unu, her bir arka uzuv, dorsal gövde ve ventral gövde, vücut yüzey alanının %18'ini oluşturur (Garzotto, 2015) (Şekil 1.1.3).

Hem dahili hem de harici olarak yanmış hayvanlar üzerinde canlı/ölü böcek veya larva kanıtı olabilir. Bir süre sonra vücutta bulunan böcekler, taze kalıntılarda bulunanlarla aynı birinci dalga böcekler olabilir (Merck&Miller, 2013). Yangının ne zaman meydana geldiğini değerlendirmeye yardımcı olabilen bu ölü entomoloji kanıtları (larvalar), dahili olarak özellikle kafatasında veya vücut boşluklarında bulduklarında hayvanın yangından önce öldüğünün bir göstergesi olarak değerlendirilir (Merck&Miller, 2013).

Ülkemizde Hayvanlara İlgili Adli Uygulamalar

Ülkemizde hayvanlara ilgili adli uygulamalar evcil hayvanlar ile yaban hayvanları için farklı kanunlar ve düzenlemeler çerçevesinde uygulanmaktadır.

Evcil Hayvanlara İlgili Adli Uygulamalar

Günümüzde halen yürürlükte olan 5199 sayılı Hayvanları Koruma Kanunu'nun (1/7/2004 tarihli Resmi Gazete; 01.07.2004 tarih ve 25509 sayılı) 14. Maddesi gereğince;

- Hayvanlara kasıtlı olarak kötü davranmak, (...)¹ dövme, aç ve susuz bırakmak, aşırı soğuğa ve sığağa maruz bırakmak, bakımlarını ihmal etmek, fiziksel ve psikolojik acı çektirmek.
- Hayvanları, gücünü aştığı açıkça görülen fiillere zorlamak.
- Hayvan bakımı eğitimi almamış kişilerce ev (...)¹ hayvanı satmak.
- Ev (...)¹ hayvanlarını on altı yaşından küçüklere satmak.
- Hayvanların kesin olarak öldüğü anlaşılmadan, vücutlarına tedavi maksatlı olmayan müdahalelerde bulunmak.¹
- Kesim hayvanları ve 4915 sayılı Kanun çerçevesinde avlanmasına ve özel üretim çiftliklerinde kesim hayvanı olarak üretimine izin verilen av hayvanları ile ticarete konu yabani hayvanlar dışındaki hayvanları, et ihtiyacı amacıyla kesip ya da öldürüp piyasaya sürmek.
- Kesim için yetiştirilmiş hayvanlar dışındaki hayvanları ödül, ikramiye ya da prim olarak dağıtmak.
- Tibbî gerekçeler hariç hayvanlara ya da onların ana karnındaki yavrularına veya hayvan üretimi hariç yumurtalarına zarar verebilecek sunî müdahaleler yapmak, yabancı maddeler vermek.

¹ 9/7/2021 tarihli ve 7332 sayılı Kanunun 5 inci maddesiyle, (a) bendinde yer alan "acımasız ve zalimce işlem yapmak," ibaresi ve (c) ve (d) bentlerinde yer alan "ve süs" ibareleri madde metninden çıkarılmış, (e) bendine "vücutlarına" ibaresinden sonra gelmek üzere "tedavi maksatlı olmayan" ibaresi eklenmiştir.

Kısım 1: Adli Bilimlerde Hayvanlar ve Entomolojik İzler

- Hayvanları hasta, gebelik süresinin 2/3'ünü tamamlamış gebe ve yeni ana iken çalıştırmak, uygun olmayan koşullarda barındırmak.
- (Değişik:9/7/2021-7332/5 md.) Hayvanlara cinsel saldırıda bulunmak veya tecavüz etmek.
- Sağlık nedenleri ile gerekli olmadıkça bir hayvana zor kullanarak yem yedirmek, acı, ıstırap ya da zarar veren yiyecekler ile alkollü içki, sigara, uyuşturucu ve bunun gibi bağımlılık yapan yiyecek veya içecekler vermek.
- (Değişik:9/7/2021-7332/5 md.) Bakanlıkça belirlenen tehlike arz eden hayvanları üretmek, sahiplenmek, sahiplendirmek, barındırmak, beslemek, takas etmek, sergilemek, hediye etmek ve bunların ülkemize girişini, satışını ve reklamını yapmak.
- (Ek:9/7/2021-7332/5 md.) Hayvanlara işkence yapmak veya acımasız ve zalimce muamelede bulunmak.
- (Ek:9/7/2021-7332/5 md.) Ev hayvanını terk etmek.

fiillerinin işlenmesi durumunda, belirtilen suçları işleyenlere idarî para cezaları verilir. Yukarıda belirtilen şekillerde şiddete maruz kalan hayvanlarda görgü tanığı olmasa dahi oluşan fiziksel ve ruhsal değişimlerin değerlendirilmesi veteriner hekimler tarafından yapılır.

Ülkemizde yasak olmasına rağmen horoz, deve ve köpek dövüşleri yaygın olarak yapılmaktadır. Kısırlaştırılmayarak sürekli üretimde kalmaları sağlanan bu köpekler yetiştirildikleri ortam ve yetiştirilme biçimleri sebepleri ile agresif davranışlar göstermektedirler. Doymak ve yaşamak için dövüşmeye mahkum olan bu hayvanlar, aşılamak veya tedavi uygulamaları için veteriner kliniklerine getirildiklerinde veteriner hekim tarafından dövüştürüldüklerine ilgili belirtiler (tüy dökülmesi, ısırık ve yara izleri vb.) tespit edildiğinde Tarım ve Orman Bakanlığı, jandarma veya polise bilgi verilir.

"Hayvanları Koruma Kanunu ile Türk Ceza Kanunu'nda Değişiklik Yapılmasına Dair Kanun" (Resmi Gazete; 14.07.2021 tarih ve 7332 sayı) gereğince Pitbull, Terrier, Japanese Tosa, Dogo Argentino, Fila Brasileiro, American Staffordshire Terrier ve American Bully türlerini veya bunların melezlerini üreten, sergileyen, takas eden, ülkeye girişini, satışını, reklamını yani bu hayvanların ticaretini yapanlara hayvan başına 2021 yılında 11 bin TL idari para cezası (2022 yılında 14 bin 982 TL) yasaya aykırı hareket edenlerin hayvanlarına el konularak belediyelere ait bakımevlerine alınmasına karar verilmiştir. Yasaklı ırkların, 14.01.2022 tarihine kadar sahiplerince belediyelerin hayvan bakımevlerinde veya özel veteriner kliniklerinde kısırlaştırılarak, il ve ilçe tarım müdürlüklerinde kayıt altına alınması kararlaştırılmıştır.

Türkiye'de Yaban Hayatı Çalışmaları ve Yaban Hayatı Adli Bilim Uygulamaları

Ülkemiz sahip olduğu coğrafi konum ve iklim çeşitliliği ile pek çok yaban hayvanı türüne yaşama ve üremeleri için imkan sağlamaktadır. Bununla birlikte, bu türlerin yaşamlarını devam ettirebilmeleri çok önemli olduğu halde onlara ait alanlar günümüzde insanlar tarafından bilinçsizce kullanılmaktadır. Yaban hayvanlarının yaşamına ilgili unsurlar dikkate alınmaksızın yapılan ormancılık faaliyetleri, orman yangınları, kontrolsüz turizm ve piknik aktiviteleri, ormana bırakılan sahipsiz köpekler ile düzensiz yapılaşma gibi faktörler onların habitatını önemli derece etkilenmektedir. Yaban hayvanı çeşitliliği açısından zengin olan ülkemizde bazıları nesli

Şekil 4

Anadolu Yaban Koyunu



Açıklama notu. Özkan M. [2019]. Bozkırın Çocukları: Anadolu Yaban Koyunu. Türk Tarım ve Orman Dergisi, 251 kaynağından alınmıştır.

tükenme tehlikesi altında olan 160 memeli, 466 kuş, 122 sürüngen, 22 kurbağa, 127 tatlı su balığı, 384 deniz balığı türü olmak üzere toplam 1279 civarında omurgalı tür bulunmaktadır (Oğurlu, 2008).

Ülkemizde Tarım ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü tarafından "Yaban Hayatı" koruma altına alınmıştır ve hiçbir yaban hayvanı bireysel olarak Bakanlık izni olmadıkça sahiplenilemez. Bu Müdürlüğe bağlı 21 adet yaban hayvanı (12 adet memeli, 9 adet kanatlı) üretme yeri ve istasyonu bulunmaktadır. Avcılık ve Yaban Hayatı Dairesi Başkanlığı'na bağlı olarak kurulan kanatlı istasyonlarının 6'sında Kınalı keklik, 2'sinde Kafkas sülünü ve 1'inde Kelaynak üretimi yapılmaktadır. Memeli istasyonlarının ise 4'ünde geyik, 1'inde alageyik, ceylan ve Anadolu yaban koyunu (Şekil 1.1.4) yetiştirilmektedir (Özkazancı, 2012). Anadolu Yaban Koyunu'nun korunup yaşatılması ile ilgili olarak Konya ilimizde yürütülen çalışmalar, 2002 yılında Uluslararası Av ve Yaban Hayatı Koruma Konseyi (CIC)'in geleneksel olarak her yıl en iyi korunan yaban hayatı sahasına verdiği "EDMOND BLANC Ödülü"ne layık görülmüştür.

Yaban hayatına imkan sağlayan, korunması gerekli yaşam alanlarının bitki ve hayvan türleri ile birlikte korunduğu ve devamlılığının sağlandığı biyolojik çeşitliliği yüksek alanlar av hayvanları, balık türleri ve su kuşları için "Yaban Hayatı Geliştirme Sahaları" olarak seçilir. Ülkemizde 41 farklı ilde yer alan toplam 85 adet Yaban Hayatı Geliştirme Sahası bulunmaktadır. Ayrıca 14'ü Ramsar Alan, 59'u Ulusal Öneme Haiz Sulak Alan ve 20'si Mahalli Öneme Haiz Sulak Alan olmak üzere toplam 93 Sulak Alan vardır (<https://www.tarimorman.gov.tr/DKMP/Menu/32/Yaban-Hayati-Gelistirme-Sahalari>, 2022).

Yaban Hayatı Daire Başkanlığı; 4915 sayılı Kara Avcılığı Kanunu (Resmî Gazete; 08.11.2004 tarih ve 25637 sayı) ve ilgili mevzuatlar çerçevesinde Bakanlık tarafından belirlenen türleri ve yaşam ortamlarının etüt, envanter, izlemesini yapmak ve yaptırmak; ulusal ve uluslararası listelerde yer alması nedeni ile koruma altına alınması gereken türlere ait popülasyonları tespit ederek; tür eylem planlarını gerçekleştirmek ve bunların korunması ile ilgili esas ve usulleri belirlemek, yaban hayatı koruma ve geliştirme sahaları oluşturmak, yaban hayatının ve yaşam ortamlarının geliştirilmesine yönelik plan ve projeler oluşturmak, yaban hayatı koruma ve geliştirme sahalarının planlama çalışmalarını yapmak veya

yaptırmak, tabiatın türlerin alınması ve yeniden yerleştirilmesi için gerekli çalışmalar yapmak veya yaptırmak; yaban hayvanları ile ilgili kafesleme, halkalama, markalama ve vericilerle izleme çalışmaları yapmak veya yaptırmak, ulusal mevzuat ve uluslararası sözleşmeler ve organizasyonlar çerçevesinde koruma altına alınmış nadir ve nesli tükenme tehlikesi altında olan türlerin ve yaşama ortamlarının korunması ile ilgili yükümlülüklerini yerine getirmek, bakım ve tedaviye muhtaç yaban hayvanları için kurtarma, tedavi ve rehabilitasyon merkezleri tesis ve tefrik etmek, ettirmek ve bunlarla ilgili usul ve esasları belirlemek gibi hususlarda görevlendirilmiştir.

Bakanlık, Türkiye Yaban Hayatını Koruma ve Kurtarma adına 17 Bölge Müdürlüğünde *Yaban Hayatı Kurtarma ve Rehabilitasyon Merkezi* kurulması kararı almıştır. Halen ülkemiz genelinde 9 adet (Bursa, Şanlıurfa, Kocaeli, Sinop, Van, Afyon, Kars, Samsun, Hatay) Yaban Hayatı Kurtarma ve Rehabilitasyon Merkezi bulunmaktadır. Ayrıca Gaziantep, Bursa, İzmir gibi illerde mevcut olan hayvanat bahçeleri ve doğal yaşam alanları büyükşehir belediyelerinin sorumluluklarında işletilmektedir. Yine birçok ilde özel sektör tarafından kurulmuş birçok hayvanat bahçesi de hizmet vermektedir. Bu hayvanat bahçeleri ve doğal yaşam alanlarında bulunan gerek ülkemize ait gerekse yabancı ülkelere getirilen yaban hayvanlarının barındırılma koşullarından sağlık koşullarına kadar her türlü yasal düzenleme yine Tarım ve Orman Bakanlığı, Doğa Koruma ve Milli Parklar Genel Müdürlüğü sorumluluğunda yapılmaktadır.

Yaban hayatı suçu; hayvanlar, bitkiler ve bunların türevlerinin yasa dışı ticaretini içerir. Kaçak avlanma veya egzotik türlerin yasadışı ticareti, yasa dışı ağaç kesimi, korunan flora ve faunanın yasadışı sömürüsü, türlerin korunması açısından bir tehlike oluşturmaktadır (Yadav&Dixit, 2016). Bununla birlikte, yaban hayatı ile çevre suçlarına ilgili olayların çözülmesinde adli tıbbın kullanımı tek çözüm olmasa da, türlerin korunması yönünden halen eldeki yegane araç olarak ekosistemin ve doğal çevrenin içsel değerinin devamlılığının sağlanmasında yardımcı olur.

Av ve Avcılık

Batı Palearktık ve Afrika arasında her yıl hareket eden milyonlarca göçmen kuş türünün üç büyük göç yolundan ikisi Türkiye üzerinden geçmektedir. Palearktık göç yolu; doğu Karadeniz Bölgesinden giriş yapan 200.000'den fazla yırtıcı kuş, Çoruh Nehri üzerinden geçerek Doğu Anadolu'daki sulak alanlara yayılırlar. Boğaziçi göç yolu; Karadeniz'in batısından Türkiye'de Trakya'dan başlar ve Boğaziçi üzerinden geçerek kuzeybatıdan güneye doğru Anadolu'yu izler. Bu rotayı izleyerek 250.000'den fazla leylek Anadolu üzerinden geçer. Ülkemiz, ağırlıklı olarak yarı kurak bir özellik gösterdiğinden Türkiye'deki sulak alanlar bu göçmen kuşların pek çoğu için hayati bir öneme sahiptir (tarimormman.gov.tr/DKMP/Belgeler/dkmp/kütüphane/77.pdf, 2013).

Ülkemizde on sekiz yaşını doldurmuş, silâh taşıma ehliyetine sahip, "4915 Sayılı Kara Avcılığı Kanunu"na (Resmi Gazete; 11.07.2003 tarih ve 25165 sayı) göre avcılık belgesi almaya engel hali bulunmayan, avcılık ve av yaban hayatı ile ilgili eğitim almış ve sınavda başarılı olarak "Avcılık Belgesi" almaya hak kazanmış kişiler, Bakanlıkça belirlenmiş av ve yaban hayvanlarının doğal olarak yaşadıkları veya sonradan salındıkları sahalarda, avlamlarda av yapma hakkını elde ederler.

Av mevsimi her yıl 1 Ağustos itibari ile başlar ve takip eden yılın Mart ayının ilk haftasına kadar olan süreyi kapsar. Avcılık belgesi bulunan kişiler yıllık avlanma izin ücretini ödeyerek bu dönem içinde gün doğumundan bir saat öncesi ile gün batımından bir saat sonrası arasında kalan süre içinde kanun kapsamında avına izin verilen yaban hayvanı türlerini, izin verilen yerlerde ve miktarlar ile belirlenen esas ve usullerle canlı veya ölü ele geçirmeye çalışma veya ele geçirme şeklinde avlanabilirler. Yaban hayvanlarının üreme zamanında ise avlanmak yasaktır. Aynı zamanda, av ve yaban hayvanlarının üreme istasyonlarında üretilerek yaban hayatı geliştirme sahasına salınan veya her yıl envanter belirlenen hayvanların belli ücret karşılığında av turizmi kapsamında avlanılmasına imkan sağlanmaktadır. Kanun kapsamındaki suçların takibi, av ve yaban hayatı yaşama ortamlarının ve avcılarının kontrolü, av ve yaban hayvanlarının (sadece suda yaşayan memeliler dışında kalan ve Bakanlıkça belirlenen bütün memeliler, kuşlar ve sürüngenler) bakımı, korunması, geliştirilmesi, gözlenmesi ve sayımı ile bu konularda gerekli tespitleri yapmak üzere eğitilen ve görevlendirilen "Av Koruma Memurları" tarafından yapılır. Korunan veya avına izin verilen yaban hayvanı türlerini; izin verilen yerler, belirlenen zamanlar, miktarlar dışında ve/veya zehirleyerek, tuzak ve kapan kurarak veya yasa dışı diğer usullerle canlı veya ölü ele geçirmeye çalışma veya ele geçirme "Yasa Dışı Avlanma" olarak kabul edilir.

Atmacılık

Osmanlı İmparatorluğu zamanından bu yana geleneksel olarak yapılan "Atmacılık", ülkemizin Doğu Karadeniz bölgesinde bulunan Rize ve Artvin illerinde atmaca (*Acipiter nisus*)'ların kullanımı ile bildircin avlamak için yapılmaktadır. Atmaca ile avlanmak için, atmacıların hem avcılık belgesi hem de "Atmacılık Belgesi" almaları gerekmektedir. Atmacıların bir defaya mahsus iki atmaca yakalama hakları olup, atmacılardan birisi göç döneminde bırakılmakta diğeri ise atmacacı tarafından sürekli olarak tutulabilmektedir. Ülkemizde halen üretim ve korunma çalışmaları devam eden yaban hayatı, bu hayvanların yaşam alanlarına müdahale edilmesi ile kaçak ve uygunsuz avlanma sonucu tehlike altındadır. Bununla birlikte, henüz yaban hayatı adli tıp uygulamalarının yapılabileceği bir merkez bulunmamaktadır.

Yaban hayatında adli tıp, geniş anlamda çeşitli doğal ve kültürel bilimlerin (biyoloji, kimya ve antropoloji, yaban hayatının korunmasına ilgili ulusal ve uluslararası koruma yasaları, sözleşmelere entegre uygulamaların kullanımını içerir. Tanım olarak, vahşi hayata (yani vahşi veya evcilleştirilmemiş hayvanlar ve bitkiler) karşı suçlar; yasadışı alma veya kaçak avlanma, sahiplenme, ticaret, nakliye veya taşıma, yasaları ihlal ederek vahşi hayata zulmetmek olarak değerlendirilir (Cooper&Cooper 2007; Cooper vd., 2009; Lawton&Cooper, 2009).

Seroloji, antropoloji, odontoloji, entomoloji, toksikoloji, iz kanıt analizi gibi adli bilimin tüm alanlarını içeren çoğu yöntem ve protokoller başlangıçta insanlara karşı işlenen suçlar için geliştirilmiş ve test edilerek onaylanmış, daha sonra vahşi yaşam suçlarına karşı uyarlanmıştır (Huffman&Wallace, 2012; Girling, 2014; Byrd vd., 2020; Garces vd., 2021).

Yaban hayatı ve bitki suçlarına ilişkili genel olarak tür tanımlaması, ölüm nedeni, örneklerin alınması ve işlenmesi, karasal ve su

suçlarına ilişkin olay yeri değerlendirilmeleri, kanıtların analizi, hayvan veya bitkinin coğrafi kökeninin belirlenmesinde ulusal ve uluslararası yasalar değerlendirilir.

Türkiye’de Hayvanlara İlgili Adli Suçların Hukuki Boyutu

Ülkemizin taraf olduğu uluslararası sözleşmeler, yürürlükte olan yönetmelikler ve kanunlar gereğince hayvanlara karşı gerçekleştirilen bazı eylemler Kanununun 28/A maddesi çerçevesinde suç olarak tanımlanır ve bu suçlara karşılık kanun koyucu tarafından adli cezalar öngörülür (Babayiğit, 2020). Buna göre;

Madde 28/A-1: Nesli yok olma tehlikesi altında olan bir hayvanı öldüren kişi bir yıldan beş yıla kadar hapis cezası; bir hayvan neslini yok eden kişi beş yıldan on yıla kadar hapis cezası ile cezalandırılır.

Madde 28/A-2: Madde 12 *“Hayvanların kesilmesi; dini kuralların gerektirdiği özel koşullar dikkate alınarak hayvanı korkutmadan, ürkütmeden, en az acı verecek şekilde, hijyenik kurallara uyularak ve usulüne uygun olarak bir anda yapılır. Hayvanların kesiminin ehliyetli kişilerce yapılması sağlanır. Dini amaçla kurban kesmek isteyenlerin kurbanlarını dini hükümlere, sağlık şartlarına, çevre temizliğine uygun olarak, hayvana en az acı verecek şekilde bir anda kesimi, kesim yerleri, ehliyetli kesim yapacak kişiler ve ilgili diğer hususlar Bakanlık, kurum ve kuruluşların görüşü alınarak, Diyanet İşleri Başkanlığının bağlı olduğu Bakanlıkça çıkarılacak yönetmelikle belirlenir.”* ve **Madde 13/1** *“Kanunî istisnalar ile tıbbî ve bilimsel gerekçeler ve gıda amaçlı olmayan, insan ve çevre sağlığına yönelik önlenemez tehditler bulunan acil durumlar dışında yavrulama, gebelik ve süt anneliği dönemlerinde hayvanlar öldürülemez.”* Kapsamı dışında bir ev hayvanını veya evcil hayvanı kasten öldüren kişi altı aydan dört yıla kadar hapis cezası ile cezalandırılır.

Madde 28/A-3: Hayvanlara cinsel saldırıda bulunan veya tecavüz eden kişi altı aydan üç yıla kadar hapis ve yüz günden az olmamak üzere adli para cezası ile cezalandırılır.

Madde 28/A-4: Madde 14/1-m *“Hayvanlara işkence yapmak veya acımasız ve zalimce muamelede bulunmak.”* Bu yasağa aykırı davranmak suretiyle bir ev hayvanına veya evcil hayvana işkence eden veya acımasız ve zalimce muamelede bulunan kişi altı aydan üç yıla kadar hapis cezası ile cezalandırılır.

Madde 28/A-5: Madde 11/2-2.cümle *“Folklorik amaca yönelik, şiddet içermeyen geleneksel gösteriler, Bakanlığın uygun görüşü alınarak il hayvanları koruma kurullarından izin alınmak suretiyle düzenlenebilir.”* Saklı kaymak üzere hayvanları dövüşüren kişi üç aydan iki yıla kadar hapis veya adli para cezası ile cezalandırılır.

Madde 28/A-6: Kanununun 28/A maddesinde düzenlenen suçların birden fazla hayvana karşı aynı anda işlenmesi durumunda verilecek ceza yarı oranında artırılır.

Madde 28/A-7: Kanununun 28/A maddesinde düzenlenen suçların veteriner hekim, veteriner sağlık teknisyeni, hayvan koruma gönüllüsü, hayvan koruma derneği üyeleri, hayvan koruma vakfı üyeleri veya hayvanlara bakmak yahut onları korumakla görevlendirilen kişiler tarafından işlenmesi durumunda verilecek ceza yarı oranında artırılır.

Madde 28/A-8: Sahibi tarafından işlenen suçlar da dahil olmak üzere bu maddede belirtilen suçların işlenmesi halinde soruşturma yapılması Tarım ve Orman Bakanlığının il veya ilçe müdürlükleri tarafından Cumhuriyet başsavcılığına yazılı başvuruda bulunulmasına bağlıdır. Bu başvuru muhakeme şartı niteliğindedir. Suçüstü halinde ise soruşturma genel hükümlere göre yapılır. İkinci, üçüncü, dördüncü ve beşinci fıkralarda belirtilen suçların başka bir kişi tarafından sahipli hayvana karşı işlenmesi halinde hayvan sahibinin şikâyeti üzerine de soruşturma yapılır.

Madde 28/A-9: Maddede düzenlenen suçlara konu olan ve **Madde 24** *“Bu Kanunun hayvanları korumaya yönelik hükümlerine aykırı hareket eden ve bu suretle bulundurduğu hayvanların bakımını ciddi şekilde ihmal eden ya da onlara ağrı, acı veya zarar veren kişilerin denetimle yetkili merci tarafından hayvan bulundurulması yasaklanır ve hayvanlarına el konulur. Söz konusu hayvan yeniden sahiplenilir ya da koruma altına alınır.”* Hükmü uyarınca el konulan kedi ve köpekler ile Bakanlıkça uygun görülen diğer hayvanlar koruma altına alınarak bakımevi bulunan en yakın belediye tarafından hayvan bakımevine götürülür.

Sonuç

Evcilleştirme insanlık tarihinin en önemli dönüm noktalarından birisi olarak kabul edilir. Günümüzden yaklaşık 15.000 yıl önce Neolitik Çağ’da başlayan bu süreç, birçok yönden insanlık tarihinde derin izler bırakarak günümüzdeki insan-hayvan ilişkilerinin temellerini oluşturmuştur. Evcilleştirmenin bir yerde insanlar ve hayvanlar arasında şekillenmiş soyut bir sözleşme olduğu da düşünülmektedir. Ancak bu sözleşmenin etkin ve hakim olan özgür tarafında insan, diğer tarafında ise insanın koyduğu kurallara ve koşullara kesinlikle uymak zorunda kalan ve özgür olmayan hayvan yer almaktadır. İnsanın çıkarlarının korunduğu bu birliktelikte, hayvanın sınırlı hak ve çıkarlarının korunması büyük zorluklarla çok geç sağlanmış ve güçlükle muhafaza edilebilmiştir.

Evcilleştirilmelerini takiben çeşitli şekillerde insanlara hizmet eden, hatta onların gıda alımlarında etkin rol oynayan hayvanlar, günümüzde acılı kesim yöntemi, ihmal, istifçilik, dövüş, üretim, gösteri, internet satışı, istismar vb. nedenlerle insan kaynaklı kötü muamele ile karşı karşıya kalmaktadırlar. Hayvanlara yapılan bu tür kabul edilemez uygulamalar ile insanlara karşı geliştirilen şiddet arasında güçlü bir bağ bulunmaktadır. İnsanlara karşı şiddet uygulayan kişiler bu konudaki ilk deneyimlerini hayvanlar üzerinde yaşamaktadırlar. Bu durum yasalarla önlenmeye çalışılsa da yeterli sonuç alınamaması soruna yönelik sadece hukuki değil sosyo-kültürel yönlerden de tedbirler alınmasını zorunlu kılmıştır. Bu kaotik ortamda ihmal ve istismarın, bilinçlenen toplumlarda daha fazla ciddiye alınması nedeniyle, yaygın hale gelmesi muhtemel olan hayvana karşı işlenen suçlarının belirlenmesi ve kovuşturulmasında en etkili kilit rolü veteriner hekimler oynamaktadır. Mevzuat da bu konuda veteriner hekimlere çok önemli görev ve yetkiler tanımaktadır.

Dünyanın birçok gelişmiş ülkesinde, hayvanların eşya/mal veya yenilebilir gıda kaynağı statüsünden refakatçi aile bireyi konumuna yükseldikleri görülmektedir. Ancak dünyanın az gelişmiş ülkelerinde ise hayvanların statüleri binlerce yıldır aynı kalmış ve bu alanda hiçbir ilerleme sağlanamamıştır. Yine de dünyamızda yaşam alanını bir hayvan ile paylaşan insanların sayısı gün geçtikçe

artmaktadır. Artık ailenin bir üyesi olarak kabul edilen bu hayvanların yasal yönden korunmaları da bir gereklilik doğurmaktadır. Diğer taraftan, evcil ve yerli olmayan türler için yaban hayatı kaçakçılığı da önemli bir gündem oluşturmaktadır. Bu durumdaki birçok hayvan yasalarca korunmalı ve güvenlik güçerince takip edilmelidir. Böylesi masum varlıkların uğrayacakları mağduriyet, diğer hayvanlara göre daha ağır ve yıkıcı olmaktadır.

Günümüzde veteriner adli bilimi, insanlar ve hayvanlar arasında tarihsel süreçte şekillenen her türlü etkileşim sonucu gelişen problemlerin değerlendirilmesinde ve suç teşkil eden olayların çözümlenmesinde önemli bir rol oynamaktadır. Ülkemiz gerçeğinde hayvanların yararına olacak şekilde yeniden düzenlenecek kanun ve yönetmeliklerle hem hayvanların refah içinde yaşaması sağlanacak hem de insanlara karşı onların hak ve çıkarları korunacaktır. Böylesi bir yaptırım insan merkezci bir dünyanın aşırılıklarına da son verecektir. Tüm bu bilgilerin ışığı altında veteriner adli biliminin, hayvan refahı, hayvan hakları ve hayvan çıkarlarının korunması için güçlü bir dayanak oluşturacağı hususu gözden uzak tutulmamalıdır. Veteriner fakültelerinde adı geçen disiplin, krimonoloji ve viktimoloji yönlerinden farklı bakış açıları kazandıracak tarzda psikolojik bir alt yapı ile yeniden düzenlenmeli ve işlevselliği artırılmalıdır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The author declares that there are no competing interests

Kaynaklar

Abel, G.G. (2008). What can 44,000 men and 12,000 boys with sexual problems teach us about preventing sexual abuse? *Emerging Perspectives on Sexual Abuse Management*, San Francisco, CA.

Abelson, A.L., O'Toole TE, Johnston A., vd. (2013). Hypoperfusion and acute traumatic coagulopathy in severely traumatized canine patients. *J of Veterinary Emergency and Critical Care* 23(4): 395-401. [Crossref]

Akıs I., Onar V., Toker N., vd. (2016). Ancient DNA Analysis of Anatolian Goat Remains Excavated from a Urartian Castle in Eastern Turkey. *Int. J. Osteoarchaeol.* 26: 246-254. [Crossref]

American Veterinary Medical Association (2008). One Health Initiative Task Force: Final Report. One Health: A New Professional Imperative, One Health: *World Health through Collaboration*.

Andrews A.J., Puncher G.N., Bernal Casasola D. (2021). Ancient DNA SNP panel data suggests stability in bluefin tuna genetic diversity despite centuries of fluctuating catches in the eastern Atlantic and Mediterranean. *Scientific Reports* 11: 20744. [Crossref]

Arkow P. (2015) Recognizing and responding to cases of suspected animal cruelty, abuse, and neglect: what the veterinarian needs to know. *Veterinary Medicine: Research and Reports* 6: 349-359. [Crossref]

Arkow P., Boyden P., Patterson-Kane E. (2011). Practical Guidance for the Effective Response by Veterinarians to Suspected Animal Cruelty, Abuse and Neglect. *AVMA*. [Crossref]

Babayiğit Y. (2020). Hayvan Hakları Hukuku. Adalet Yayınevi, Ankara.

Bailey, D. (2016). Practical Veterinary Forensics. *CAB International*. [Crossref]

Barré-Sinoussi F, Montagutelli X. (2015). Animal models are essential to biological research: issues and perspectives. *Future Sci. OA* 1(4), F5063. [Crossref]

Bartelink E.J., Clinkinbeard S., Spessard C. vd. (2021). Documenting non-accidental injury patterns in a dog abuse investigation: A collaborative approach between forensic anthropology and veterinary pathology. *J of Forensic Sci.* [Crossref]

Becker, F, French, L. (2004). Making the links: Child abuse, animal cruelty and domestic violence. *Child Abuse Review* 13(6):399-414. [Crossref]

Bergström A., Frantz L., Schmidt R. vd. (2020) Origins and genetic legacy of prehistoric dogs. *Science* 370: 557-564. [Crossref]

Betz, P, Eisenmenger, W. (1996). Morphometrical analysis of hemostasin deposits in relation to wound age. *International Journal of Legal Medicine* 108(5):262-264. [Crossref]

Bradley-Siemens, N., Brower A.I., Reisman R. (2018). Neglect. *Veterinary Forensic Pathology*, Vol 2. Cham, Switzerland: *Springer*. [Crossref]

Brewster&Reyes (2013) "Animal Cruelty: A Multidisciplinary Approach to Understanding". *College of Business & Public Management Faculty Books*. 11. https://digitalcommons.wcupa.edu/cbpafaculty_books/11

Brooks J.W. (2018). Veterinary Forensic Pathology, Volume 1. *Springer International Publishing AG*. [Crossref]

Brooks J.W. (2018). Veterinary Forensic Pathology, Volume 2. *Springer International Publishing AG*. [Crossref]

Bucak I.H., Turgut K., Almış H. vd. (2020). Childhood horse and donkey bites; a single tertiary health center experience in a rural area. *Avicenna J Med* 10(1):1-5. [Crossref]

Byrd J. H., Castner J.L. (2010). Forensic Entomology the Utility of Arthropods in Legal Investigations. *Boca Raton*.

Byrd J. H., Norris P, Bradley- Siemens N. (2020). Veterinary Forensic Medicine and Forensic Sciences. *Taylor & Francis Group, LLC*. [Crossref]

Cardinali I., Tancredi, Lancioni H. (2023). The Revolution of Animal Genomics in Forensic Sciences. *Int. J. Mol. Sci.* 24 (10), 8821. [Crossref]

Catts E. P, Haskell N.H. (2008). Entomology and Death: *A Procedural Guide*. Clemson, SC.

Ciampolini R., Cecchi F, Spinetti I. vd. (2017). The use of genetic markers to estimate relationships between dogs in the course of criminal investigations. *BMC Research Notes* 10: 414. [Crossref]

Clavel P, Dumoncel J, Sarkissian C.D. vd. (2021). Assessing the predictive taxonomic power of the bony labyrinth 3D shape in horses, donkeys and their F1-hybrids. *J of Archaeological Science* 131-105383. [Crossref]

Cojocararu R., Schuszler L., Bumb D. vd. (2021). Trauma Etiology in Dogs and Cats: A Retrospective Study of 4626 Cases. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj Napoca Animal-Science and Biotechnologies* 78(2):20-28. [Crossref]

Comstock, .KE., Ostrander E.A., Wasser S.K. (2003). Amplifying nuclear and mitochondrial DNA from African elephant ivory: A tool for monitoring the ivory trade. *Conservation Biology* 17(6):1840-1843. [Crossref]

Cooper, J.E., Cooper, M.E. (2007). Introduction to Veterinary and Comparative Forensic Medicine. *Blackwell Publishers*. [Crossref]

Cooper, J.E., Cooper, M.E., Budgen, P. (2009). Wildlife crime scene investigation: techniques: tools and technology. *Endangered Species Research* 9:229-238. [Crossref]

Demirtaş E, Güler S, Duymaz H vd. 2016. Evaluation of animal-related injuries from the perspective of 7423 cases admitted to Emergency Department. *Cumhuriyet Medical Journal* 1: 40-45. [Crossref]

Dettmeyer, R.B., Verhoff, M.A., Schütz, H.F. (2014). Pointed, sharp, and semi-sharp force trauma. *Forensic Medicine: Fundamentals and Perspectives*. Springer. [Crossref]

Di Maio, V.J., Di Maio, D. (2001). Wounds caused by pointed and sharp-edged weapons. *Forensic Pathology*. CRC Press.

Edwards, J. 2018. Arrest and prosecution of animal sex abuse (bestiality) offenders in the USA, 1975-2015. *Journal of the American Academy of Psychiatry and the Law*. JAAPL.003836-19; [Crossref]

Erkan I., Dastan K., Karadeniz S.T. vd. (2017). Mitochondrial DNA

- analysis of the domestic dogs in Turkey. *Eur J Forensic Sci* 4: 2. [Crossref]
- Fages A., Hanghøj K., Khan N. vd. (2019). Tracking Five Millennia of Horse Management with Extensive Ancient Genome Time Series. *Cell*. [Crossref]
- Fossum, T. (2007). *Small Animal Surgery*. Mosby Elsevier.
- Garcês A., Prada J., Alves A. vd. (2021). Necropsy findings in wildlife vehicle collisions: comparison of mortal lesions in mammals and birds. 69th WDA-14th EWDA *Joint Conference*.
- Garzotto, C.K. (2015). Thermal burn injury. *Small Animal Critical Care Medicine*. Elsevier Saunders. [Crossref]
- Gerdin, J. A. (2014). *Veterinary Forensic Pathology*. Summer 2014, Course 6576, University of Florida: ASPCA.
- Gerdin, J.A., McDonough S.P. (2013). Forensic pathology of companion animal abuse and neglect. *Veterinary Pathology*. 50(6): 994-1006. [Crossref]
- Girling S. (2014). Wildlife Crime A guide to the use of forensic and specialist techniques in the investigation of wildlife crime. *Forensic Working Group (FWG) Partnership for Action against Wildlife Crime (PAW) Forensic Working Group*.
- Gottlieb, D., J. Prittie, Y. Buriko vd. (2017). Evaluation of acute traumatic coagulopathy in dogs and cats following blunt force trauma. *J of Veterinary Emergency and Critical Care* 27(1): 35-43. [Crossref]
- Götherström A., Linderholm A., Dalén L. vd. (2020). Origins and genetic legacy of prehistoric dogs. *Science* 370 (6516), 557-564. [Crossref]
- Green, C. E. (2011). *Infectious Diseases of the Dog and Cat*. 4th ed. St. Louis: MI: Elsevier Saunders.
- Gullone E., Clarke J.P. (2008). Animal abuse and cruelty: An Australian perspective. In: Ascione FR, editor. *The International Handbook of Animal Abuse and Cruelty Theory, Research and Application*. West Lafayette, Indiana: *Purdue University Press*.
- Gullone, E., Robertson, N. (2008). The relationship between bullying and animal abuse behaviors in adolescents: The importance of witnessing animal abuse. *J of Applied Developmental Psychology* 29(5):371-379. [Crossref]
- Gwaltney-Brant S.M. (2012). *Epidemiology of animal poisonings in the United States*. *Veterinary Toxicology: Basic and Clinical Principles*. CA: *Academic Press*. [Crossref]
- Gwaltney-Brant S.M. (2016). *Veterinary Forensic Toxicology*. *Veterinary Pathology* 53(5): 1067-1077. [Crossref]
- Huffman J.E., Wallace J.R. (2012). *Wildlife Forensics: Methods and Applications*. John Wiley & Sons. [Crossref]
- Intarapanich N., McCobb E.C., Reisman R.W. vd. (2016). Characterization and Comparison of Injuries Caused by Accidental and Non-accidental Blunt Force Trauma in Dogs and Cats. *J of Forensic Sciences*. [Crossref]
- Introna F, Campobasso C.P, Goff M.L. (2001). *Entomotoxicology*. *Forensic Science International* 42-47. [Crossref]
- IVFSA (2013). *International Veterinary Forensic Sciences Association*. www.ivfisa.org/.
- Jobin, R. M. (2008). Use of forensic DNA typing in wildlife investigations. In H. M. Coyle (Ed.), *Nonhuman DNA typing: Theory and casework applications* (Chapter 7). Boca Raton, FL: *CRC Press*. [Crossref]
- Johnson S.A. (2018). Animal cruelty, pet abuse & violence: the missed dangerous connection. *Forensic Res Criminol Int J* 6(5):403-415. [Crossref]
- Kaitholia K., Kushwaha P, Rana M., Gautam I., Srivastava A. (2020). DNA Analysis of Domestic Animals. *Forensic DNA Typing: Principles, Applications and Advancements*. Springer. [Crossref]
- Kanthaswamy S. (2015). Domestic animal forensic genetics-biological evidence, genetic markers, analytical approaches and challenges. *International Foundation of Animal Genetics* 46: 473-484. [Crossref]
- Kanthaswamy S., Brendel T., Cancela L. (2021). An inter-laboratory study of DNA-based identity, parentage and species testing in animal forensic genetics. *Forensic Sciences Research*. [Crossref]
- Kara S.S., Delice O. (2018). Hayvan Isırığı ve Kuduz Riskli Temas Olan Çocuk Hastalarının Değerlendirilmesi. *Kafkas J Med Sci* 8(1):13-19. [Crossref]
- Kara T.T. (2020). Hayvan Teması ve Kuduz Profilaksi Deneyimleri: 625 Çocuk Olgunun Değerlendirilmesi. *J Pediatr Inf* 14(1):15-20. [Crossref]
- Larson G., Piperno D.R., Allaby R.G. vd. (2014). Present and future of domestication studies. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 111(17) 6139-6146. [Crossref]
- Lawton M.P.C., Cooper J.E. (2009). Wildlife crime scene visits. *Applied Herpetology* 6: 29-45. [Crossref]
- Lear J. 2012. "Our Furry Friends: the History of Animal Domestication." *Journal of Young Investigators*. www.jyi.org/2012-february/2017/9/17/our-furry-friends-the-history-of-animal-domestication.
- Lesandrić V., Orlović I., Vjekoslav, P. (2017). Zoophilia as an Early Sign of Psychosis. Alcoholism and Psychiatry Research: *J of Psychiatric Research and Addictions* 53(1), 27-32. [Crossref]
- Lockwood R., Arkow P. (2016). Animal Abuse and Interpersonal Violence: The Cruelty Connection and Its Implications for Veterinary Pathology. *Veterinary Pathology* 53(5) 910-918. [Crossref]
- Lockwood R., Touroo R., Olin J., Dolan E. (2019). The Influence of Evidence on Animal Cruelty Prosecution and Case Outcomes: Results of a Survey. *J Forensic Sci*. [Crossref]
- McEwen B.J., McDonough S.P.A. (2016). Survey of attitudes of board-certified veterinary pathologists to forensic veterinary pathology. *Vet Pathol*. 53(5): 1099- 1102. [Crossref]
- McKnight, L.M.; Chamberlain, J.E.A.; Atherton-Woolham, S.D. vd. (2015). Application of clinical imaging and 3D printing to the identification of anomalies in an ancient Egyptian animal mummy. *J of Archaeological Science: Reports* 3: 328-332. [Crossref]
- Merck M., Miller D.M., Reisman R. (2013). Neglect. In: Merck, M., ed. *Veterinary Forensics; Animal Cruelty Investigations*, 2nd ed. Ames, IA: *Blackwell Publishing*. [Crossref]
- Merck M.D., Miller D.M. (2013). Burn-, electric-, and fire-related injuries. In: Merck, M.D., ed. *Veterinary Forensics: Animal Cruelty Investigations*, 2nd ed. Ames, IA: *Wiley-Blackwell*. [Crossref]
- Millo T., Jaiswa A. K., Behera C. (2008) Collection, preservation and forwarding of biological samples for toxicological analysis in medicolegal autopsy cases: A review. *J Indian Academy of Forensic Medicine* 30 (2): 96-100.
- Monsalve S., Ferreira F, Garcia R. (2017). The connection between animal abuse and interpersonal violence: A review from the veterinary perspective. *Res Vet Sci* 114:18-26. [Crossref]
- Munro R., Munro, H. M. C. (2008). *Animal Abuse and Unlawful Killing: Forensic Veterinary Pathology*. Saunders Elsevier, Edinburgh, UK.
- Munro R., Munro, H. M. C. (2013) Some challenges in forensic veterinary pathology: a review. *J of Comparative Pathology* 149: 57-73. [Crossref]
- Nation P.N. (2021). Forensic submissions in a diagnostic pathology practice: A 10-year review. *Can Vet J*. 62(4):384-388.
- National Association of Medical Examiners. Forensic autopsy performance standards (2020). <https://www.thename.org/assets/docs/2016%20NAME%20Forensic%20Autopsy%20Standards%209-25-2020.pdf>.
- Oğurlu İ. (2008). Yaban hayatı kaynaklarımızın yönetimi üzerine. Süleyman Demirel Orman *Fakültesi Dergisi* 2: 35-88.
- Ottinger T., Rasmusson B., Segerstad C.H.A., Merck M., Goot F.V.D., Olsén L., Gavier-Widén D. (2014). Forensic veterinary pathology, today's situation and perspectives. *Veterinary Record*. [Crossref]
- Özkazancı N.K. (2012). Sökü Yaban Hayatı Koruma Alanı'nda tespit edilen büyük memeli hayvanlar. *Bartın Orman Dergisi* 14(21): 92-99.
- Parry N.M.A., Stoli A. (2020). The rise of veterinary forensics. *Forensic Science International* 306 (2020) 110069. [Crossref]
- Özkan M. (2019). Bozkırın Çocukları: Anadolu Yaban Koyunu. *Türk Tarım ve Orman Dergisi*, 251.
- Patronek, G., Loar L, Nathanson J.N. (2006). Animal Hoarding: Structure Interdisciplinary Responses to Help People, Animals, and Communities at Risk. *Hoarding Animals Research Consortium*.
- Patronek, G., Nathanson J.N. 2016. Understanding animal neglect and hoarding. In: Levit, L., G. Patronek, and T. Grisso, eds. *Animal Maltreatment: Forensic Mental Health Issues and Evaluators*. Oxford, NY: *Oxford University Press*. [Crossref]
- Ressel, L., Hetzel U, Ricci E. (2016). Blunt force trauma in veterinary forensic pathology. *Veterinary Pathology* 53(5): 941-961. [Crossref]

Rodes, J., Clay, C., Phillips, M. (2013). The surface area of the hand and the palm for estimating percentage of total body surface area: Results of a meta-analysis. *British Journal of Dermatology* 169(1): 76-84. [Crossref]

Saey, T.H. (2018). DNA Evidence Is Rewriting Domestication Origin Stories. *Science News*, www.sciencenews.org/article/dna-evidence-rewriting-domestication-origin-stories.

Sauvageau, A., Racette, S. (2008). Postmortem changes mistaken for traumatic lesions: A highly prevalent reason for coroner's autopsy request. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology* 29(2):145-147. [Crossref]

Sinclair, L., Merck, M., Lockwood, R. (2006). Forensic Investigation of Animal Cruelty: A Guide for Veterinary and Law Enforcement Professionals. *Humane Society Press*, United States.

Smith-Blackmore M., Bethard J.D. (2020). A multidisciplinary investigation of chronic animal abuse: Collaboration between veterinary forensics and forensic anthropology. *J of Forensic Sciences*. [Crossref]

Sungurbey, İ. (1993) Hayvan Hakları- Bir İnsanlık Kitabı. İstanbul Üniversitesi Hukuk Fakültesi Yayınları, İstanbul.

Thali M.J., Ross S., Oesterhelweg L., Grabherr S., Buck U., Naether S., Jackowski C., Bolliger S.A., Vock P., Christe A., Dirnhofer R. (2007)

Virtopsy Working on the future of forensic medicine. *Rechtsmedizin* 17:7-12 [Crossref]

Touros R., Fitch A. (2016). Identification, Collection, and Preservation of Veterinary Forensic Evidence: On Scene and During the Postmortem Examination. *Veterinary Pathology* 53(5) 880-887. [Crossref]

Ünal V., Ünal E., Çetinkaya Z. vd. (2015). Hayvan Kaynaklı Yaralanmalara Bağlı Gelişen Maluliyet: Üç Olgu Sunumu. *Adli Tıp Dergisi* 29(2): 124-130. [Crossref]

Williams, C., Weinberg, M. (2003). Zoophilia in men: A study of sexual interest in animals. *Archives of Sexual Behavior* 32: 523-535. [Crossref]

Yadav S., Dixit A.K. (2016). Forensic approaches in the solution of wild-life crime. *International Journal of Multidisciplinary Research and Development* 3(6): 89-93.

Yapıcı A.K., Kaldırım Ü., Arzıman İ. vd. (2015). Kuduz şüpheli köpek ısırıklarına bağlı yaralanmalara yaklaşım: Üç olgu. *Gülhane Tıp Derg.* 57: 184-187.

Yenidoğan E., Okan İ., Kayaoğlu H.A. vd. (2014). Boynuzla yaralanmaya bağlı eksternal anal sfinkter yaralanması ve tamiri: Olgu sunumu. *Causa Pedia* 3:842.

BÖLÜM 2

ADLİ ENTOMOLOJİ

Erdal POLAT

Adli Entomoloji

Forensic Entomology

BÖLÜM HAKKINDA

Yeryüzünde yaşayan canlıların %70-80'ini oluşturan arthropodların en az 10 milyon türünün olduğu tahmin edilmektedir. Ancak bunların çok küçük bir bölümü tıp, veteriner ve adli entomoloji açısından önemlidir. Arthropodlar, insanlar ve hayvanlarda miyaz, ekto-parazitlik oluşturarak, besinleri bozarak kullanılmaz hale getirir ve zarar verirler. Doğadaki dönüşüme yardımcı olan arthropodlar besin zincirinde ve sağlıkta tedavi amaçlı olarak da kullanılmaktadır. Adli tıpta ölüm zamanı ve yerinin belirlenmesinde önemli bir yere sahip olan arthropodlardan adli entomolojide yeterince yararlanılması için sinek faunası ve coğrafik yapısı üzerinde ciddi çalışmalara ihtiyaç vardır.

Anahtar kelimeler: Arthropodlar, sinek faunası, miyaz, tıp, veteriner ve adli entomoloji

ABOUT the CHAPTER

It is estimated that there are at least 10 million species of arthropods, which make up 70-80% of living creatures on earth. However, a very small part of them is important in terms of medicine, veterinary and forensic entomology. Arthropods harm humans and animals by causing myiasis and ecto-parasitism, spoiling their food or rendering it unusable. Arthropods, which help the transformation in nature, are also used for therapeutic purposes and food chain. Serious studies are needed on the fly fauna and geographical structure in order to make adequate use of arthropods, which have an important place in determining the time and place of death in forensic medicine and entomology

Keywords: Arthropods, fly fauna, myiasis, medicine, veterinary and forensic entomology

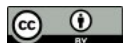
Giriş

Günümüzden 400 milyon yıl önce yaşayan böceklerin 1 milyonun üzerinde yaşayan, 15 bin kadar da fosil türü tanımlanmıştır. Bu da yeryüzünde yaşayan canlıların %70-80'ini oluşturmaktadır. En az 10 milyon türünün olduğu tahmin edilen böceklerin her sene birkaç bin yeni türü tanımlanmaktadır. Böceklerin toplam sayısının 1 trilyon, ağırlığının ise 2.7 milyar ton olduğu düşünülmektedir. Yani yeryüzündeki her insana karşı 170 milyon böcek vardır. Bir çekirge sürüsü 2 milyar bireyden oluşur. Buda insanların böcek yese aç kalmayacaklarını gösterir. Günümüzde arthropodlar balık ve tavuk yemi olarak, konser-vesi yapılarak dolaylı veya doğrudan insanların besin zincirinde yerini almıştır (Unat & Samastı, 1995; Demirsoy, 2003; Daldal & Atambay, 2007).

Arthropodların çok küçük bir bölümü tıp, veteriner ve adli entomoloji açısından önemlidir. Arthropodların adli entomolojide M.S. 1235'te kullanıldığını Çin'li bilim adamı Song Ci kitabından biliyoruz. Arthropodlar, adli entomolojide ölüm zamanı ve yerinin belirlenmesinde önemli bir yere sahiptir. Ancak arthropodlardan adli entomolojide yeterince yararlanılması için sinek faunası ve coğrafik yapısı üzerinde ciddi çalışmalara ihtiyaç vardır. Bu bölümde genel entomolojiye kısa bir giriş yapıp, adli entomolojide kullanılan önemli türler ve tanımlayıcı yapıları zengin görseller ile anlatılmıştır.

Genel Entomoloji

Entomoloji; *entomon*=böcek ile *logos*=bilim kelimelerinin birleşmesinden oluşmuş olup, böceklerin yapısını, gelişmesini, yaşayışını ve ekolojik özelliklerini inceleyen bir bilim dalıdır. Zoolojinin bir dalı olan entomoloji, dünyada yaşayan tüm arthropodları (*arthros*=eklem, *podos*= ayak) kapsamaktadır. Arthropodlar; iki yandan simetrik, sölömlü, çift bacaklı, antenli (duyurgalı), ağız aletleri parçalı, omurgasız hayvanlardır. Kendilerine özgü bir dış iskeleti olan arthropodların erkek ve dişileri çoğunlukla dış morfolojileri ile birbirlerinden ayrılırlar. Dış iskeleti oluşturan kutikula arthropodların biçimini oluşturur ve



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atif 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



Erdal Polat

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa,
Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Tıbbi Mikrobiyoloji
Ana Bilim Dalı, Geleneksel ve Tamamlayıcı
Tıp Uygulama ve Araştırma Merkezi, İstanbul,
Türkiye
E-posta: erdalp@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Polat, E. (2024). Adli entomoloji. G. Fitoğlu &
Ö. Bülbül (Ed). *Adli biyoloji: Doğanın izleriyle
adaletin peşinde 1* (s. 17-32). İstanbul: İÜC
Üniversite Yayınevi.

vücudu bir zırh gibi sararak dış etkilere karşı koruyarak varlıklarını milyonlarca yıl sürdürmesine yardımcı olur. İskelet görevini gören kutikula, vücut zarının altındaki bezlerin salgıladıkları kitin ve karbonhidratlardan oluşmuştur. İskeleti oluşturan levhalara *sklerit* (halka) denmekte ve bu levhaların iç kısmına kaslar yapışmış şekildedir. Skleritin dorsalde kalan kısmına *tergum*, ventralde kalan kısmına *sternum* adı verilir. *Tergum* ve *sternum* birbirine bağlayan kısma *pleron* adı verilir. Dış iskeleti oluşturan sert kitin tabaka arthropodların büyümesini önlediğinden arthropodlar evreden evreye geçerken gömlek değiştirirler. Ancak eklem yerlerindeki kitin incelenerek zar şeklini aldığından kolaylıkla hareket edebilirler. Arthropodların vücutları baş, göğüs ve karın olmak üzere üç parçadan oluşmaktadır. Ancak bazılarında baş ve göğüs birleşerek *prosoma* veya *cephalothorax*, karına *opisthosoma* adını, bazılarında ise baş, göğüs ve karın birleşerek tek bir parça haline almıştır. Tam bir sindirim sistemi olan arthropodların; suda yaşayanları solungaçları ile karada yaşayanlar ise trakeaları ile solunum yaparlar. Solunum sistemi dışarıya solunum *deliği* veya *stigmat* ile açılır. Arthropodların sinir sistemi oldukça iyi gelişmiş (ör. arılar) olup birçoğunda ışığa hassas gözler, sade gözler (ocellus) veya bileşik gözler (ommatidia) vardır (Unat & Samastı, 1995; Demirsoy, 2003; Daldal & Atambay, 2007).

Tıbbi önemi olan arthropodlar (Tablo 1); Insecta (böcekler) ve Arachnida (araknidler) olmak üzere iki sınıfta toplanırlar. Böceklerin erişkinlerinde 3 çift bacak, bir çift anten; araknidlerin erişkinlerinde ise 4 çift bacak ve şelizer vardır. Arthropodların başında antenler, hortum, çene, şelizerler ve pençe şeklinde eklentiler vardır.

Arthropodlardan insanlar ile herhangi bir ilişkisi olmayanlar olduğu gibi, insanlar için yararlı, zararlı olanlar da vardır. İnsanların yetiştirdiği ve depo ettiği besin maddelerinin yaklaşık üçte birini arthropodlar yer veya işe yaramaz hale getirir. Soğukkanlı olan arthropodların kışın metabolizmaları yavaşlar; kışı beslenmeden

geçirebilirler. Güçlü çoğalma yeteneği olan arthropodlar, en kötü koşullarda bile çoğalırlar. Erişkinleri insan ve hayvan paraziti olmayan, arthropodların larvaları insanların ve hayvanların doku ve organlarına yerleşerek miyaz oluşturur. Bu sineklerin larvaları hayvanların leşleri ve bitkisel maddelerle beslenirler (Merdivenci, 1973; Unat & Samastı, 1995). Lord ve Stevenson 1986 yılında entomolojiyi; kent (şehir), depo ve tıbbi (medikokriminal) olarak üçe ayırmışlardır (Lord & Stevenson, 1986).

1- Şehir entomolojisi: Arthropodların, evlere, bahçelere ve binalara olan istilasını içerir. Şehir entomolojisi, zararlı arthropodlara odaklanır; bahçe zararlıları, karınca, pire, termit gibi.

2- Depolanmış ürünler entomolojisi: Besin ve besin parçalarının içerisinde ya da üzerinde gözlenen arthropodları kapsar. Açıkta ve restoranlarda satılan yiyecek ve içeceklerin kontaminasyonu ile de ilgilenmektedir.

3- Tıbbi entomoloji: İnsan paraziti olan arthropodların erişkin veya larva dönemlerinde oluşturduğu parazitliği, bulaştırdığı hastalık etkenlerini, oluşturduğu alerji veya zehirlenmeleri inceler. Arthropodların tanıtıcı yapısal özelliklerini, üreme, gelişme ve yaşayışlarını, insanla olan ilişkilerini araştırır. Arthropodlar ile mücadele, korunmayı araştırır ve öğreten bilim dalıdır.

4- Adli entomoloji: Adli tıpta yararlanılan arthropodların, adli tıp ile ilişkilerini inceleyen bilim dalıdır.

5- Medikokriminal entomoloji: Böceklerden yararlanarak uyuşturucu, zehirlenme, cinayet, şüpheli ölümler gibi pek çok olayın çözülmesinde kullanılır. En sık olarak ölümden sonra geçen zamanın belirlenmesinde yararlanır. Adli bilimlerin farklı bir alanı olarak da tanımlanan entomoloji ölüm nedeninin açıklanmasına yardımcı olur (Benecke, 2001; Mumcuoğlu, 2007; Tüzün & Yüksel, 2007).

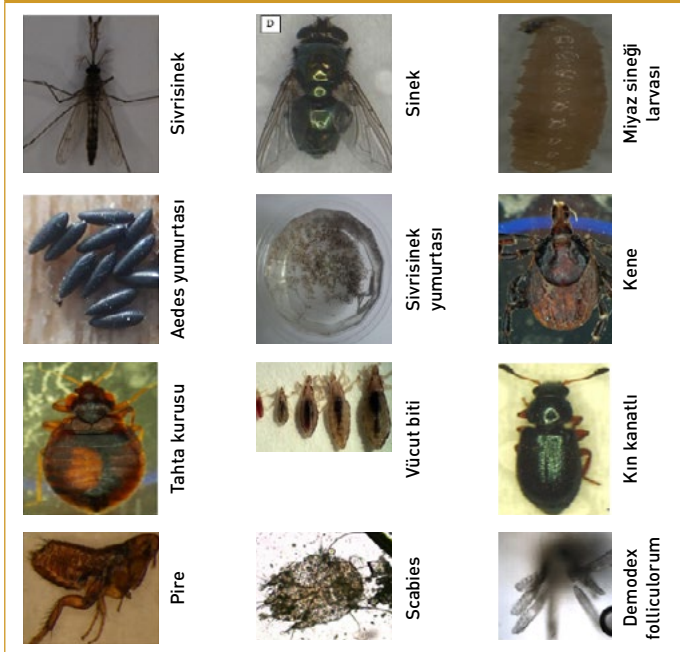
Adli Entomolojinin Tarihi

Adli entomoloji konusunda M.S. 1235'te Song Ci tarafından çince yazılan "Yanlışların Yıkınması" anlamına gelen "The Washing Away of Wrongs" adlı bir kitap yazmıştır. Bu kitapta entomolojik verilerden yararlanarak, adli vakaların nasıl açıklandığı belki de ilk kez doğru olarak anlatılmıştır. Heykeltraşlar, ressamlar, şairler larvaların cesetlerin ayrışmasındaki etkilerini not etmişler ve orta çağdaki (15. yy) dökümanlarda "ölüm dansı" diye adlandırılan resimlerde, cesetler üzerindeki larvaları abartarak çizmişlerdir. Buna benzer bir resim 16. yüzyılda Tumba'nın iskeleti olarak isimlendirilmiş ve tüm iskelet larvalarla kaplıdır (Benecke, 2001-2004; Tüzün & Yüksel, 2007). Entomoloji alanında bilimsel olarak ilk deney 1668'de Francesco L. Redi tarafından yapılmıştır. 17. yüzyılın ortalarında abiyojenez ile ilgili deneyler yapan Redi, "Böceklerin Oluşumu Üzerine Deneyler" adlı eserinde, abiyojenez teorisinin geçersizliğini anlatmıştır (Savran & ark 1994; Benecke, 2001-2004; Aggarwal, 2005; Tüzün & Yüksel, 2007).

Linne 1767 yılında, üç sineğin bir at cesedini bir aslan kadar hızlı parçalayabileceğini ifade etmiştir. Anonymous 1814'te çürümenin başlangıcında cesetlerin sineklerin saldırısına uğradığına dikkat çekmiştir. Orfila 1831'de yaptığı fethi-kabir incelemesinde larvaların cesedin bozulmasındaki önemini fark etmiştir. Bergeret 1855'te ölüm zamanının belirlenmesinde ilk modern adli entomoloji vakasını rapor etmiştir. Böceklerin hayat döngüsü ve çiftleşmesi ile ilgili birçok varsayımdan bahsetmiştir. Brouardel 1879'da yeni doğan çocuk cesedindeki sinek larvalarının türünü ve evresini tanımlayarak ölüm zamanı tespiti ile ilgili rapor hazırlamıştır (Erzinçioğlu, 1983; Benecke, 2001-2004; Tüzün & Yüksel, 2007; Açıköz, 2008).

Şekil 1

Tıpta, Veterinerlikte ve Adli Entomolojide Önemli Olan Arthropodlar (Orijinal)



Reinhard'ın 1881'deki sistematik çalışması adli entomoloji tarihinde önemli bir role sahiptir. Megnin 1894'te insan cesetlerine gelen 8 arthropod saldırı dalgasını ortaya koyan "La Faune Des Cadavres- Application de l'entomologie a la Medicine Legale" isimli kitabını yayımlamıştır. Megnin, ceset üzerindeki böcekleri tanımlayarak, ölüm zamanının güvenli bir şekilde saptanabileceğini açıklamıştır. Hough 1897'de, önceki çalışmaları inceleyip onaylamış, cesede gelen sinek türlerini, ayrıca Amerika ve Avrupa'daki sinek faunalarını karşılaştırmıştır (Benecke, 2001; Karapazarlıoğlu, 2004; Aggarwal, 2005; Tüzün & Yüksel, 2007).

I. Dünya Savaşı sonrası adli entomoloji çalışmaları hız kazanmıştır. Aldrich 1916'da *Sarcophagidae* ailesine ait sinek türlerinin ayırımında erkek sineklerin genital organlarını kullanmıştır. Meixner 1922'de çalıştığı enstitünün bodrumundaki cesetlerin arthropodlar tarafından hızlı ayrıştırıldığını fark etmiş ve bundan dolayı adli entomolojiye olan ilgisi artmıştır. Takip eden birkaç yıl içinde Hermann Merkel, Meixner'in adli entomoloji ile ilgili inceleme raporlarını yayınlamışlardır. Bianchini 1929'da "Cesetlere Gelen Böceklerin Faunasına Dair Çalışmaya Pratik ve Deneysel Katkılar" adlı bir çalışma yayımlamıştır. Kulak, kol, abdominal bölge ve bacaklarında lezyonlar görülen bir ceset ile ilgili sunduğu dava raporunda, karıncaların 24 saatlik bir periyotta bu lezyonlara neden olduğunu bildirmiştir. Knipling 1936'da I. evre larva ve et sineklerinin anahtarını yayımlamıştır. Hubert Hamburg Müzesi ve Zooloji Enstitüsü'nden Caspers 1959'da adli araştırmalarına cesede gelen sinek türlerini incelemekle başlamıştır (Aslan, 2006). Arutjunya 1962'de Azerbaycan'da, kısmen iskeletleşmiş ve ileri derecede dağılmış bir olgu yayımlamıştır. Burger 1965'te *Sarcophaga* cinsine ait sinek türlerinin cesede yılın farklı mevsimlerinde geldiğini göstermiştir (Benecke, 2001). 1960-1980 yılları arasında adli entomolojinin babası sayılan Fransız Hekim Marcel Leclerg ile Zoolog Prof. Pekka Nuorteva'nın çalışmaları sayesinde ölüm zamanı hakkında önemli bilgiler elde etmişlerdir (Aslan, 2006). 1969-1980 yılları arasında adli entomolojideki çalışmalar, tıp doktoru Marcel Leclecq ve Entomolog Prof. Pekka Nuorteva tarafından dava odaklı olarak sürdürülmüştür. Bundan sonra İngiltere, Hindistan, Rusya, US, Kanada, Fransa ve Japonya gibi ülkelerde rutin olarak çalışmalar başlamıştır. Smith 1986'da "A manuel of Forensic Entomology" isimli ilk ders kitabını yazmıştır. Erzinçioğlu 1987'de, ete gelen 10 sinek türünün üçüncü evre larvalarının teşhis özelliklerini tarif etmiş ve 1988'de *Phormia regina*, *Phormia terranova* ve *Borellus atriceps*'i tanımlamıştır (Benecke, 2004).

Türkiye'de Savran ve arkadaşları 1994 yılında "Adli Entomoloji" başlıklı bir makale yayınlamışlardır (Savran & ark 1994). Hancı ve arkadaşları 2000 yılında "Adaletin Gerçekleşmesinde Böceklerin Yeri Var" başlığı ile adli entomolojiye dikkati çeken bir yazı yayınlamışlardır. Daha sonra Açıkgöz ve arkadaşları "Adli Olaylarda Böceklerden Nasıl Yararlanılır" başlıklı bir makale yayınlamışlardır. Ayrıca İstanbul, Samsun, Eskişehir, Erzurum, Edirne, Ankara ve Kayseri'de adli entomolojiye katkı sağlayacak tez çalışmaları yapılmıştır (Pekbey, 2007; Açıkgöz, 2008; Karapazarlıoğlu, 2004-2011; Çoban, 2009; Yuca, 2009; Bana, 2010; Kökdener, 2012).

Arthropodlar

Arthropodlar iki yandan simetrik, omurgasız hayvanlar olup, kiti yapılı bir dış iskelete sahiptirler. Erişkin sinekler çoğunlukla orta büyüklüktedir. Ancak bazıları daha büyük olabilir. Vücut baş

(kaput), göğüs (thorax) ve karın (abdomen) olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Bazılarında baş ve göğüs tek bir parça olarak birleşmiş, bazılarında da baş, göğüs ve karın tek bir parça olarak birleşmiştir. Böceklerde vücut; baş, göğüs ve karın olarak üçe ayrılmış, başta bir çift anten, göğüste 3 çift bacağı olması ile diğerlerinden ayrılırlar. Serbest olan baş kolaylıkla hareket etmektedir. Vücut üzerinde renkli lekeler, tüy veya pul benzeri yapılar bulunmaktadır. Böcekler, eklembacaklılar (Arthropoda) Hexapoda (Insecta) sınıfında yer alır (Merdivenci, 1973; Unat & Samastı, 1995; Demirsoy, 2003; Daldal & Atambay, 2007).

Alem: Animalia (Hayvanlar)

Phylum (Filum): Arthropoda (Arthropodos = Eklembacaklılar)

Class (Sınıf): Insecta / Hexapoda (Insects = Böcekler)

Subclass 1: Apterygota (Kanatlısız)

Subclass 2: Pterygota (kanatlı)

Takım: Diptera (Sinekler)

Takım: Coleoptera (Kırankanatlılar) (Benecke, 2001; Demirsoy, 2003; Yeates & et al 2007).

Diptera Takımı

Dipterler bütün dünyada yaygın olup, yaklaşık olarak 150.000 türü bulunmaktadır. Bu takımın en önemli özelliği, bir çift zar kanata sahip olmasıdır. Gündüz faaliyet gösteren dipterler leş ve cesetlerin ayrışmasında aktif rol oynarlar. Sineklerin; insanların ve hayvanların doku ve organlarına, açıktaki leş ve cesetlere bıraktıkları yumurtalardan çıkan veya canlı doğurdıkları larvalar ile oluşturdukları parazitlik nedeniyle tıp ve veteriner parazitolojide; adli entomolojide önemlidirler. Sinekler; erişkin, larva ve pupalarının özelliklerine göre; *Nematocera*, *Brachycera* ve *Cyclorrhapha* olmak üzere 3 alt takıma ayrılırlar. Tıp parazitolojisinde ve adli entomolojide önemli olan sineklerin hemen hepsi *Cyclorrhapha* alt takımında yer alırlar. Bu alt takımın erişkinleri bitki özümüyle; larvaları ise cansız, çürüyen maddeler, doku parçaları, leş ve cesetler ile beslenirler (Merdivenci, 1973; Unat & Samastı, 1995; Demirsoy, 2003).

Arthropodların Yaşayışı

Böcekler arktik ve antartik buz yığınları dışında dünyanın her yerinde, toprakta, tatlı ve tuzlu sularda yaşarlar. Soğukkanlı olan böceklerin, kışları metabolizmaları azalır ve kışı beslenmeden geçirebilirler. Adli entomolojide kullanılan, insanlarda ve hayvanlarda miyaza neden olan sineklerin erişkinleri doğada serbest yaşamakta olup bitki öz suyu ile beslenir. Erişkin döneminde insan paraziti olmayan; ancak larva evrelerinde insanların, hayvanların doku ve organlarına yerleşerek hastalık oluşturan sinekler tıbbi ve veteriner entomolojide miyaz sinekleri olarak adlandırılırlar. Miyaz sinekleri normal olarak hayvanların leşleri ve bitkisel maddeler ile beslenerek doğadaki dönüşüme yardımcı olurlar. Bazı larvalar ölü dokular ile bazıları ise sağlam taze dokular ile beslenirler. Sadece ölü dokular ile beslenen larvalar (*Calliphoridae* ailesinde yer alan *Lucilia sericata* türü sinek larvaları gibi) yara üzerine konduğunda yarayı temizler (White, 1996; Mumcuoğlu, 2007; Polat, 2017-2020).

Sineklerin en aktif olduğu mevsim yaz ve sonbahar olup 15 °C'nin altında aktivite göstermezler. Adli entomolojide kullanılan, insanlarda ve hayvanlarda miyaza neden olan sinekler kırsal kesimlerde ve hayvancılık yapılan yerlerde daha fazla görülmektedirler. Ayrıca yaz aylarında kent içinde uzun süre toplanmayan çöpler, çöp toplama merkezleri ve hijyenik olmayan çevreler sineklerinin

Kısım 1: Adli Bilimlerde Hayvanlar ve Entomolojik İzler

üremeleri için uygun koşullar oluşturmaktadır (Çalışır & Polat, 1993). Tam başkalaşım gösteren sinekler ovipar olup, çoğalmaları yumurta ile olur; uygun sıcaklık ve nemde yumurtalardan larvalar çıkar. Bunlar *Calliphora*, *Gasterophilus*, *Hypoderma* ve *Lucilia* cinsleri gibi sineklerdir. Bazılarında ise yumurtlama kesesini terk eden yumurtalardan anında larvalar çıkar. Bunlar *Wohlfahrtia*, *Sarcophaga*, *Oestrus* ve *Rhionestrus* cinslerinde olduğu gibi canlı larva doğuran ovipar böcekler olarak isimlendirilirler (Unat & Samastı, 1995; Baykal, 1995; Kökdener & Polat, 2013).

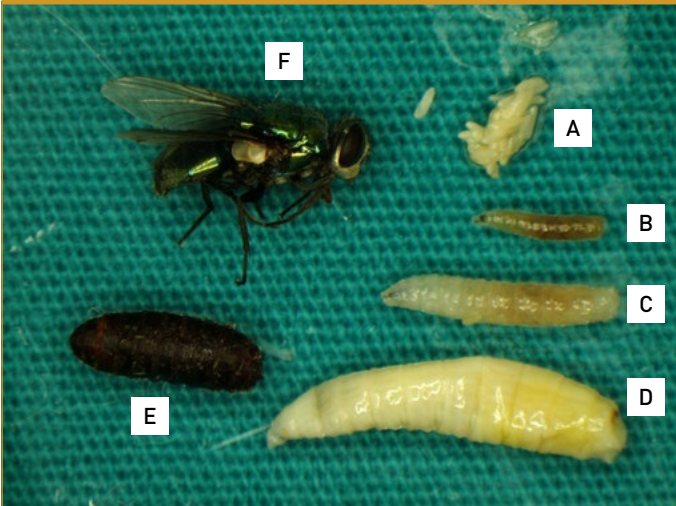
Sinekler yumurtalarını veya canlı doğurdukları larvalarını cesetlere, leşlere, organ parçalarına, canlılarda açık yaralara, kulağa, ağza, buruna ve göze bırakırlar. Çünkü larvaların gelişebilmesi ve yaşam çemberini tamamlaması için organik besinlere ihtiyacı vardır. Bu sinekler Şekil 2'de olduğu gibi morfolojik olarak yumurta, larva, pupa ve erişkin olarak incelenmektedir (Polat, 2017–2020).

Larvalar, kanatsız ve küçük yapıya sahip olup, erişkin şekline hiç benzemez; farklı ortamda ve değişik besinlerle beslenirler. Larvalar üç kez gömlek değiştirerek pupa evresine geçerler. Diptera takımında yer alan sinek larvaları; su, bitkisel atıklar, hayvansal gübre, süt ve tahıl ürünleri gibi değişik ortamlarda gelişir. Bazı larvalar bacaksız, bazılarında ise sayısı farklı olan bacaklar olup 4 tipi vardır (Polat & ark 2010; Kökdener, 2012; Polat, 2017-2020).

- 1. Kampodeid larva:** Çabuk hareket eder, bir çift anteni ve thoraksta üç çift bacağı bulunur. Bu larva tipleri *Coleoptera* ve *Neuroptera* takımlarında görülür.
- 2. Manas tipi larva:** Silindirik yapıya sahip, şişman, vücudu kıvrık ve thoraksta üç çift bacağı bulunur. Bu tip larvalar *Coleoptera* takımı, *Scarabaeidae* familyasında görülür.
- 3. Tırtıl:** Uzun vücutlu olup, toraksta üç çift bacağı bulunur.
- 4. Bacaksız larva:** Baş tiplerine göre üçe ayrılırlar
 - a. Baş gelişmiş larvalar:** *Diptera* takımından *Culicidae* familyasında görülür.
 - b. Baş az gelişmiş larvalar:** *Diptera* takımından *Tipulidae* familyasında görülür.

Şekil 2

L. sericata'nın hayat döngüsü: (A) Yumurta (B) I. evre larva (C) II. evre larva (D) III. evre larva (E) Pupa F. Erişkin [(orijinal)]



Açıklama notu. İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Tübitak Biyoterapi Laboratuvarından alınmıştır.

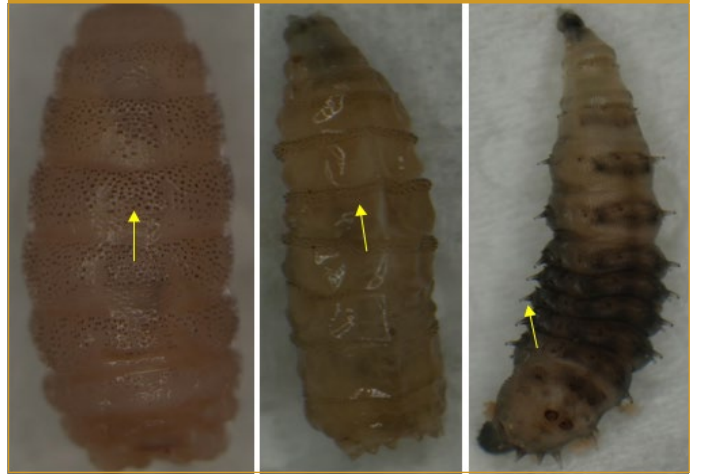
Şekil 3

Gezici larva [(orijinal)]



Şekil 4

Değişik sinek türlerine ait larvaların makroskobik görünümü [(orijinal)]



c. Bacaksız larvalar: *Diptera* takımından *Tephritidae* familyasında görülür.

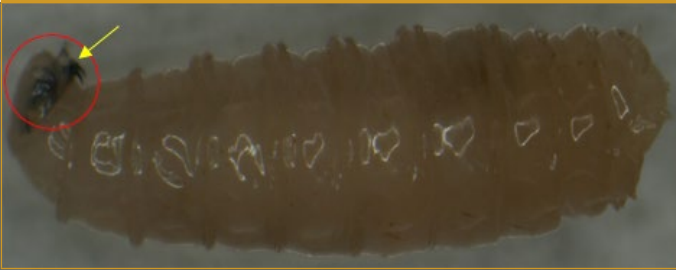
Adli entomolojide kullanılan sineklerin larvaları ve tanıtıcı yapıları

Bu gruptaki sinek larvalarının ön kısmı arka kısmına göre daha ince olup, silindirik görünümdedir. Larvalar 12 segmentli olup, ön kısmında baş, arka kısmında anüs segmenti bulunur. Larvaların baş ve bacakları olmayıp, büyüklükleri larva evrelerine göre değişir; gezici larvalar en büyüğüdür (Merdivenci, 1973; Ferrar, 1987; Dinçer, 1997; Yuca, 2009; Polat, 2017–2020). Larvalar, besin ihtiyaçlarını tamamladıktan sonra toprağa düşerek gezici larva halini alırlar (Şekil 3). Larvaların bazıları tırtıl şeklinde bazıları ise ileri derece yassılaştırmış ve bazılarında birtakım çıkıntılar vardır. Göğüs ve karın segmentleri tüylü olabildiği gibi üzerinde dikenler de bulunabilir. Bunların şekli, pozisyonu, buldukları segment sayısı, dorsal veya ventral yüzde bulunmaları taksonomik açıdan önemlidir (Şekil 4).

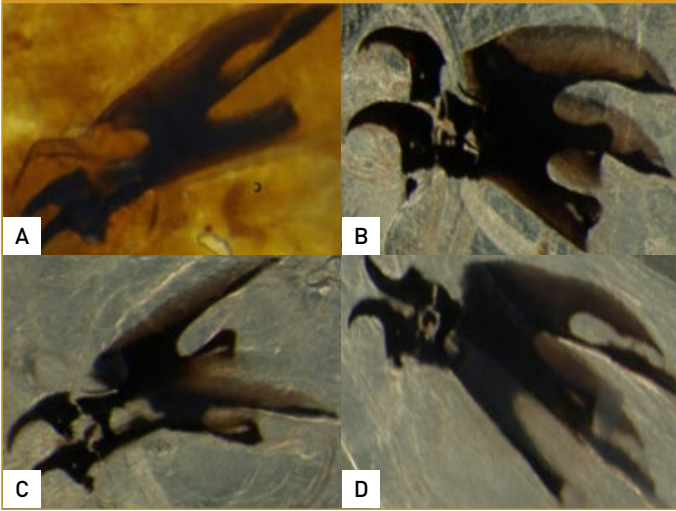
Baş segmentinin karın yüzünde bir çift ağız çengeli veya dudak

Şekil 5

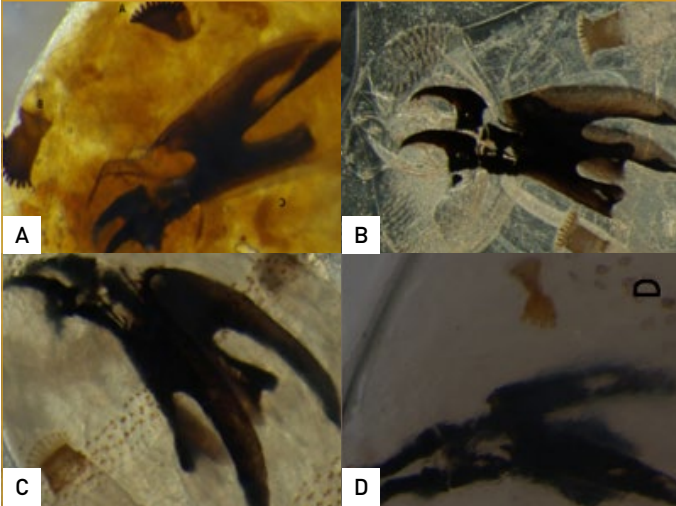
Sinek larvasının ağız çengeli veya dudak skleriti (orijinal)



Şekil 6

Değişik sinek türlerine ait larvalarının dudak ve yutak skleritleri (orijinal) *Sarcophaga* sp., (B) *Calliphora* sp., (C) *Lucilia* sp., (D) *Cordylobia* sp.

Şekil 7

Değişik sinek türlerine ait larvalarının dudak, yutak skleritleri (Head skeleton) ve ön stigmatlar (anterior spiracles) (orijinal) (A) *Sarcophaga* sp. (B) *Calliphora* sp. (C) *Lucilia* sp. (D) *Cordylobia* sp.

skleriti bulunur. Çengel veya pençe şeklinde olan bu yapılar tutunmaya ve dokuları parçalamaya yarar (Şekil 5).

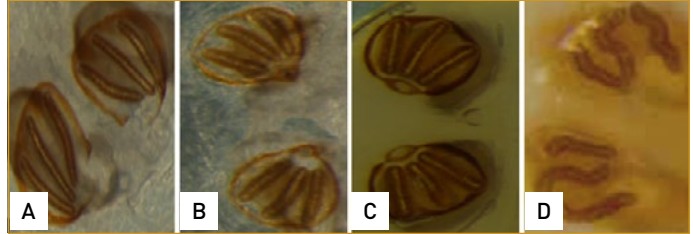
Ağız çengelinden daha geride; biri sırtta diğeri de karın yüzeyinde olmak üzere yutak skleritleri bulunmaktadır. Sinek türüne göre değişik

Şekil 8

Sinek larvasının tüberkülleri ve stigmaları (orijinal)



Şekil 9

Değişik sinek türlerine ait larvalarının arka stigmaları (posterior spiracle), solunum yarıkları ve periterimleri (orijinal) (A) *Sarcophaga* sp., (B) *Calliphora* sp., (C) *Lucilia* sp., (D) *Cordylobia* sp.

Şekil 10

Lucilia sericata pupaları (orijinal)

şekilde olan bu yapılar larvanın tanısında önemlidir (Şekil 6).

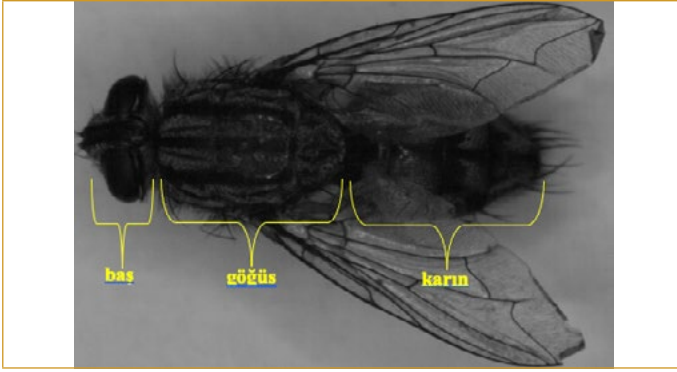
İlk göğüs segmentinin her iki yanında birer adet olmak üzere ön solunum delikleri bulunur. Sinek türüne göre değişik şekilde ve sayıda olan bu yapılar larvanın tanısında önemlidir (Şekil 7).

Larvaların son segmenti küt olup, arka yüzü dışarıya çıkık veya içe doğru çöktür. Üzerinde bulunan tüberküller genelde 12 adettir. Larvanın arka kısmında tanıda önemli olan koyu renkte bir çift solunum deliği (stigma) bulunmaktadır (Şekil 8).

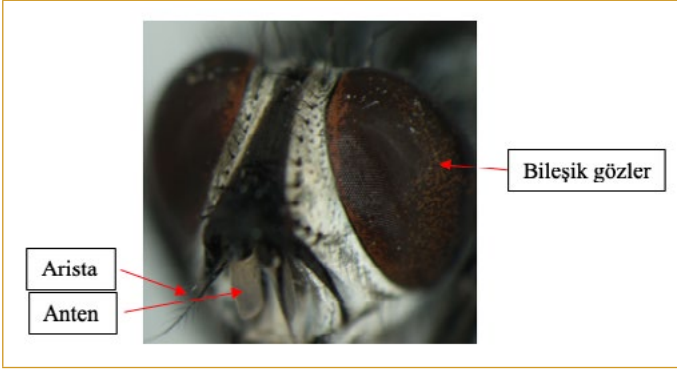
Stigmanın etrafı peritem denen bir halka ile çevrilidir. Peritemin durumu, stigma içinde bulunan solunum yarıklarının şekli larvaların tanımlanması için; sayısı ise evrenin belirlenmesi için önemlidir. Bazılarında peritemde düğme adını alan bir oluşum bulunmaktadır. Düğme peritemin boşluğunda olabildiği gibi peritem ile tamamen çevrilmiş olabilir (Şekil 9).

Gezici larvaların uygun koşullarda etraflarına kahverengi mumsu bir tabaka sararak pupa oluşur (Şekil 10).

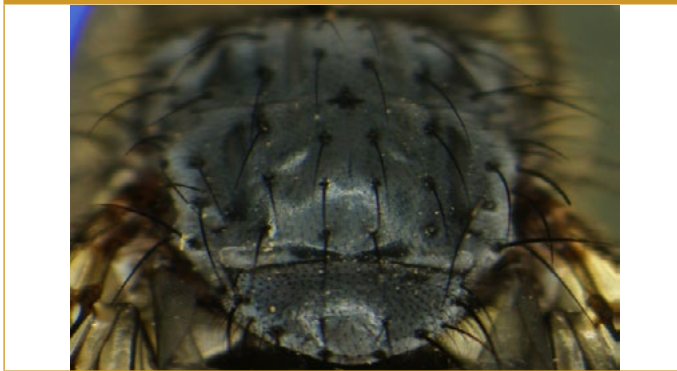
Şekil 11
Erişkin sinek (orijinal)



Şekil 12
Erişkin sineğinin başının yapısı (orijinal)



Şekil 13
Erişkin sineğinin göğsü yapısı (orijinal)

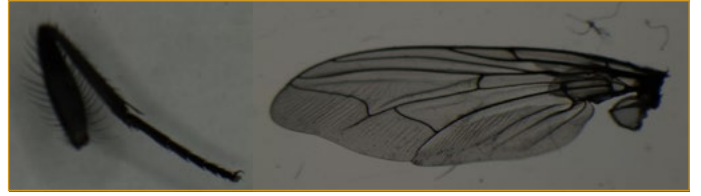


Belirli bir süre sonra pupadan erişkin sinekler çıkar. Sıcak yaz aylarında sinekler evrimlerini 10 gün gibi kısa bir sürede tamamladıklarından yazın 10–12 nesil verebilirler. Yumurtadan çıkan dişiler ilk 24 saatte çiftleşmekte ve 8–12 günde yumurtlamaya başlamaktadır (Merdivenci, 1973; Unat & Samastı, 1995; Polat, 2017-2020).

Erişkin Sineğinin Yapısı

Erişkin sinekler çoğunlukla orta büyüklükte olup, vücutları; baş (kaput), göğüs (thorax) ve karın (abdomen) olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır (Şekil 11). Vücut üzerinde renkli lekeler, tüy veya pul benzeri yapılar bulunmaktadır (Merdivenci, 1973; Polat, 2017-2020).

Şekil 14
Erişkin sineğinin ayak ve kanat yapısı (orijinal)



Baş: Başta, petek gözler, anten ve ağız parçaları yer almaktadır. Başın ön üst bölgesi tepe (*verteks*), arkasında kalan bölge ense (*oksipit*), gözlerin arasında kalan kısım alın (*front*), gözler ve ağız arasındaki bölge yüz (*klipeus*), bunun iki yanı yanak (*gena*) adını alır. Başta üç parçadan oluşan bir çift anten ve üçüncü parçanın sırt tarafında çıplak veya tüylü, sineğin tanımlanmasında önemli olan arista bulunur (Şekil 12). His organı olan antenler, dokunma, koklama ve bazı durumlarda da işitme organı olarak görev görür. Ağız; bir labrum, 1 çift mandibula, 1 çift I. maxilla, 1 çift II. maxilla, 1 hypopharynx ve 1 epipharynx'ten meydana gelmiştir. Palpler alt çenede olup (palpus maxillaris), bazen labium'a bağlı bir çift palpus labialis de vardır. Ağız parçaları böceklerin beslenmelerine göre değişmiş olup; çiğneyici, yalayıcı-emici, emici, sokucu-emici tipdedir. Dipterlerin ağız parçaları sokucu ve emici şeklindedir (Unat & Samastı, 1995; Yuca, 2009; Polat, 2017-2020).

Göğüs: Ön (*prothorax*), orta (*mesothorax*) ve arka (*metathorax*) olarak üç segmentten oluşmuş, her segmentten bir çift bacak çıkmaktadır. Her parça sırtta bir tane *notum*, karında bir tane *sternum* ve yanda iki tane *pleurite* denen sert dış iskelet parçasıyla yani sklerit ile korunmuştur. Kanatlılarda kanatların bulunduğu segmentler daha büyüktür. Kanatlar 2. ve 3. segmentten çıkarlar (Merdivenci, 1973; Unat & Samastı, 1995). Göğüs üzerinden çıkan kıllar ve koyu renkteki şeritler sineğin tanımlanmasında önemlidir (Şekil 13).

Bacaklar: Büyüklükleri ve şekilleri böcek türlerine göre değişmektedir. Kitinden oluşan bacaklar *koksa*, *trokanter*, *femur*, *tibiya*, *tars* gibi kısımlardan oluşur. Tars beş eklemlidir ve son eklemin ucunda bir çift kısıp bulunur.

Kanatlar: Şekli ve damarların yapısı her tür için özel olup, böceklerin tanımlanmasında ilk bakılacak organlardır. İki çift olup *mezotoraks* ile *metatoraksın* dorsalında yer alırlar. Ancak dipterlerde ikinci çift kanatlar körelerek halter denilen denge organı şeklini almışlardır. Bazılarında ön çift kanatlar sertleşmiştir. *Elitira* denilen sert kanatlar uçuş görevi yapmaz. Ayrıca tahtakurusu, bit, pire gibi böceklerde kanat yoktur (Şekil 14).

Karın: Karın normalde 12 segmentli olup, çoğu sinekte 5 segmenti belirgindir. Diğer segmentler dişi ve erkek organları oluşturmaktadır. Son segment erkekte *hipopigium* ve dişide *ovipositor* denen seksüel şeklindedir. Her segmentin küçük bir dorsal *tergumu* ve bir ventral *sternumu* vardır [(Şekil 15)]. (Unat & Samastı, 1995; Polat, 2017-2020)].

Erişkin sineklerin bazılarının vücudu; *Gasterophilidae*, *Hypodermatidae* ve *Oestridae* ailelerinde olduğu gibi kıllı veya çeşitli renklerde olabilir. Hatta erişkin sineğin vücudu başka, başı başka bir renkte görülebilir. *Calliphoridae* familyasında vücut madeni parlaklıkta, *Phormia* cinsinde vücut mavimsi siyah, baş ise siyahtır.

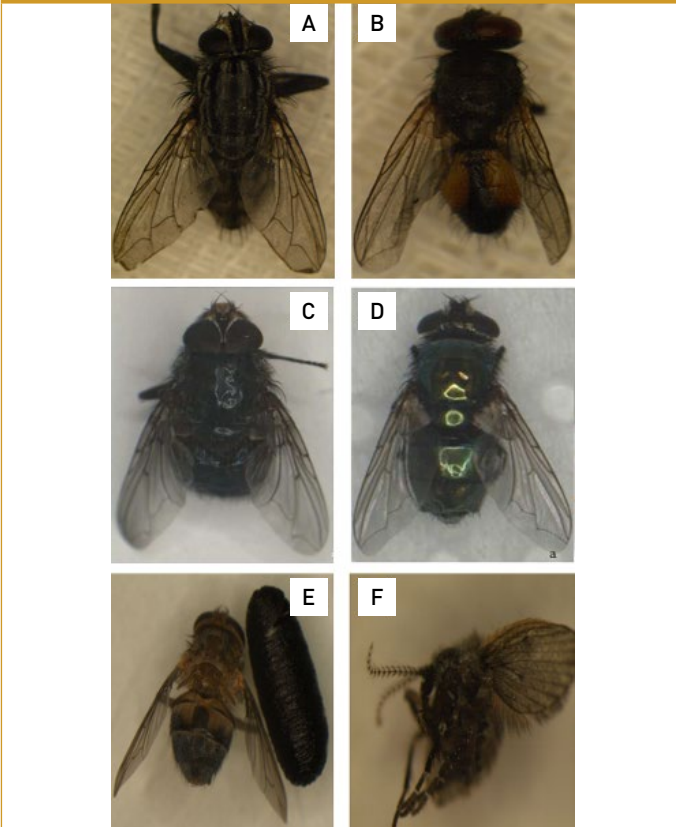
Şekil 15

Erişkin sineğin karın yapısı (orijinal)



Şekil 16

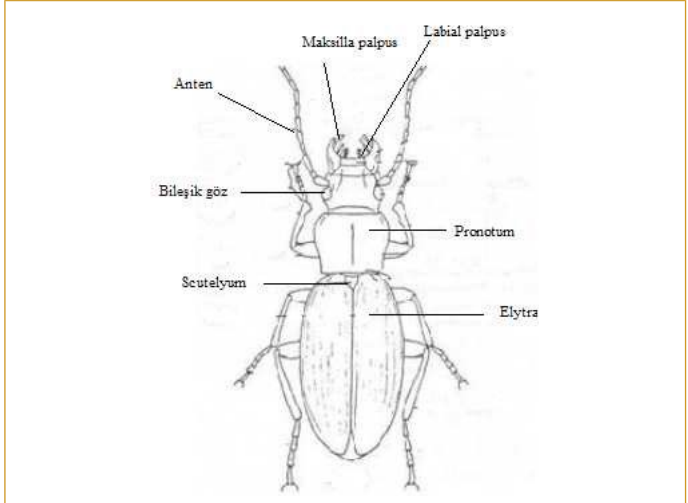
(A) *Sarcophaga* sp., (B) *Musca domestica*, (C) *Calliphora vomitoria*, (D) *Lucilia sericata*, (E) *Cordylobia anthropophaga*, (F) *Psychoda albipennis* (orijinal)



Calliphora türlerinde vücut mavi, baş ise kırmızı veya altın sarısı renktedir. *Phaenicia* ve *Lucilia* türlerinin vücutu yeşil, baş kısmı ise gümüş renktedir. Erişkin sineklerinin karın bölgesinde de değişik şekiller vardır. *Sarcophaga*'larda karın gri ve siyah dama taşı şeklinde iken, *Wohlfahrtia*'larda karın gri renkte olup, üzerinde siyah lekeler vardır. Sineklerinin büyüklükleri farklı olup, *Piophilila* türleri 2-4 mm iken; *Tubifera*, *Gasterophilus*, *Sarcophaga*, *Hypoderma* ve *Oestrus* türleri 10-15 mm büyüklüğündedir [(Şekil 16) (Ferrari, 1987; Dinçer, 1997; Polat, 2017-2020)].

Şekil 17

Erişkin Coleopteranın dorsal görüntüsü



Açıklama notu. Yuca, P.(2009). İstanbul, Pendik İlçesine Akfırat Beldesi'nde Adli Entomolojide Kullanılan Sinek Türlerinin Belirlenmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü kaynağından alınmıştır.

Coleoptera (Kıncanatlılar)

Coleo = kın; *ptera* = kanat demektir; ön kanatların yapısını tanımlar. Coleoptera takımına bağlı böcekleri diğer böceklerden ayıran en önemli özellik ön kanatlarının sertleşerek *elitra*'ya dönüşmesidir. *Elitra* hem abdomenin üst yüzeyini hem de ince olan zarımsı alt kanadı korumakta ve uçuş sırasında alt kanatlardan ayrılıp, açılarak uçuş faaliyetine yardımcı olmaktadır. Bunun dışında basit bir göğüs iskeleti ve az sayıda göğüs kaslarına sahip olmaları da ayırıcı bir özelliktir. Canlılar aleminin en büyük grubu olan Coleoptera takımı permien ve erken trias döneminde farklılaşarak ve birbirlerinden ayrılarak dört alt takımda toplanır. Bu takımlar yaklaşık olarak 400.000 türe sahiptirler.

Erişkinlerin sertleşen başında bulunan antenler 11 segmentli olup uzunluğu ve şekli türlere göre değişir. Gözleri var veya yok, ağız aletleri ısırıcı-çiğneyici şekilde olup, türlere göre değişir. Mandibula çoğu erkeklerde iri ve çatallı yapıdadır (Şekil 17). Diğer böcekler gibi daha kuvvetli yapıda olan bu hayvanlar, darbeler, basınç, nem ve kuraklığa oldukça dayanıklı olup ceset ve leşlerin kuruma evresinde aktif olarak ayrışmaya katkı sağlarlar. Beslenme çeşitliliği çok fazla olup; leş, gübre, bitkisel atıklar ve kokuşmakta olan maddeler ile beslenirler (Ferrari, 1987; Demirsoy, 2003; Yuca, 2009; Kökdener, 2012).

Bu takımda *campodeiform*, *eruciform*, *scarabaeiform* ve *apodous* gibi 4 tip larva vardır. Larvaların başı gelişmiş ve sertleşmiş; toraks ve abdomen segmentleri kolaylıkla ayırt edilebilir. Toraksta bacakları var veya yok; bazılarında *hypermetamorphosis* görülür.

Süksesyon ve Ceset Çürüme Evreleri

Süksesyon

Canlılar öldüğünde, cesete ilk böcekler gelir. Cesetler böcekler için iyi bir besin kaynağıdır. Cesette çok sayıda biyolojik, fiziksel ve kimyasal değişiklikler oluşur. Bu değişiklikler esnasında cesetten çıkan farklı kokular bazı sinek türleri için çok, bazı sinek

türleri için ise az çekici olur. Bundan dolayı ceset üzerindeki sineklerin oluşturabileceği kolonizasyon sırası tahmin edilebilir. Böceklerin belli bir sıra ile cesete gelme olayına böcek veya faunal süksesyon denir. Buda ölümden sonra geçen zamanın belirlenmesinde önemlidir. Güney Afrika'da yapılan bir çalışmada işaretlenen *Chrysomya* cinsine ait bir sinek türü bırakıldığı yerden 63.5 km uzaktaki bir cesette bulunmuştur (Varatharajan & Sen, 2000; Wolff & et al 2001; Hall, 2001; Turchetto & Vanin, 2004; Amendt & et al 2004; Gunn, 2009; Saigus & et al 2009; Lamia & et al 2009; Bana, 2010).

Nem, amonyakça zengin komponentlerin varlığı, feromonlar ve dokunsal uyarılar böceklerin yumurtlamasını etkiler. Dişi sinekler yumurtalarını cesetteki yaralara, doğal boşluklara bırakılırlar; böylece yumurtadan çıkacak larvaların gelişimi için gerekli olan ısı, nem ve besin sağlanmış olur. Smith 1986 yılında cesetteki böcek faunasını; nekrofajlar, saprofajlar (omnivorlar), predatör/parazitik ve tesadüfi türler olarak 4 ekolojik gruba ayırmıştır (Smith, 1986; Savran & ark 1994; Zehner & et al 2004; Yeates & et al 2007).

1. Nekrofajlar: Ölümden hemen sonra cesete gelen ve kolonizasyon oluşturarak beslenen türlerdir. Bu türler mevsimlere, coğrafik bölgelere göre değişmekte olup, ilkbahar ve yaz kışa göre daha zengin olup; *Silphidae*, *Dermestidae*, *Calliphoridae*, *Sarcophagidae*, *Muscidae*, *Nitidulidae*, *Scarabaeidae* ve *Formicidae* (Hymenoptera) aileleri bulunur.

2. Saprofajlar (omnivor): Hem cesetten hem de cesette bulunan diğer arthropodlardan beslenen türlerdir. *Coloeptera*, *Vespidae*, *Formicidae* ve *Blattidae* aileleri bu gruptadır. Saprofajlar ile aynı zamanda cesete gelip, çürüme evresi boyunca cesette kalırlar.

3. Predatörler/parazitler: Cesetle ilişkili en önemli grup olup, direkt olarak ceset ile beslenmeyip cesette bulunan diğer eklembacaklıların larva ve pupaları ile beslenirler. Larva evresinde predatör olan *Schizophagous* türleri, ilk olarak cesetten beslenir (Oytun, 1962; Turchetto & Vanin, 2004; Voss & et al 2009). *Silphidae*, *Staphylinidae*, *Histeridae*, *Cleridae*, *Carabidae*, *Vespidae*, *Fomiculidae*, *Gelastocaridae*, *Syrphidae* ve *Stratiomyidae* ailelerinde olduğu gibidir.

4. Tesadüfi türler: Cesetten beslenmeyen ancak kendilerine uygun barınak, yer ararlarken tesadüfi olarak bulunan türlerdir. *Centipedes*, *Collembola*, *Springtail* (Oytun, 1962; Turchetto & Vanin, 2004) *Hesperidae*, *Coreidae*, *Nitidulidae*, *Passalidae*, *Halicidae* aileleri gibi.

Sükksesyonuna Etki Eden Faktörler

Bölgenin coğrafik yapısı, habitat, sıcaklık, nem ve iklim gibi faktörler böcek sükksesyonunu etkiler (Yuca, 2009; Voss & et al 2009; Kökdener, 2012).

1. Coğrafik yapı: Bölgenin coğrafik konumu, vegetasyonu, toprak tipi, iklimi, bölgede yapılan hayvancılık ve tarım böcek tür çeşitliliği üzerinde etkilidir.

2. Mevsimler: Soğuk ve yağmur böceklerin aktivitesini ve cesetin çürüme hızını etkiler.

3. Sıcaklık ve nem: Böceklerin üreme, gelişim ve cesedin çürüme hızını etkiler (Varatharajan & Sen, 2000).

4. Habitat faktörleri: Bitki örtüsü, yapılaşması, sanayileşmesi böcek türlerini etkiler.

5. Diğer faktörler: Yanan cesetten etrafa yayılan koku böcek kolonizasyonunu erken başlatır. Cesetin sarılması, paketlenmesi, kıyafetlerinin üzerinde olması böcek kolonizasyonunu 2.5 gün geciktir (Goff & Lord, 1994; Yuca, 2009; Voss & et al 2009; Kökdener, 2012).

Cesedin Çürümesi ve Evreleri

Vertebra cesetleri çok sayıda sinek türü için mükemmel bir besin kaynağıdır. İnsan vücudu, ölümden sonra çürümekte ve ekolojik sisteme katılmaktadır. Çürüme insan öldükten sonra bağırsağında ve ağızda bulunan bakterilerin, mantarların ve mikroorganizmaların dokuları ve organları istila etmesiyle başlar. Onları çeşitli türde sinek ve böcek istilası takip eder. Kademeli bir proses olan çürümede cesette fiziksel, biyolojik, kimyasal değişimler oluşur; vücudun farklı kısımları farklı hızda çürür. Reed çürümede 4 evre belirlerken, Goff 5. evreyi ilave etmiştir (iskelet, kuruma evresi). Çürüme evrelerini kesin sınırlarla birbirlerinden ayırmak çok zordur. Çürümenin her evresinde farklı böcek türleri görülür. Bazı arthropod türleri taze dokular ile beslenirken, bazıları ise kurumuş dokular ile beslenir (Van den Oever, 1976; Coc & Curan 1980; Rodriguez & Bass, 1985; Mann & et al 1990; Anderson & Van Laerhoven, 1996; Anderson, 2001; Lamia & et al 2009).

1. Taze evre: Cesetteki morfolojik değişiklikler minimal olup, cesete ilk olarak çayır örümceği, karıncalar, *Sarcophagidae* ve *Calliphoridae*, *Muscidae*, *Silphidae*, *Histeridae*, *Staphylinidae* ailesine ait sinekler gelir. Dıştan taze görülen ceseti içten bakteriler, protozoonlar ve nematodlar istila etmiştir. Ölümden 10-12 saat sonra aynı pozisyonda kalan cesette livor motrisin neden olduğu renk sabitlenir; eğer vücut hareket ettirilirse farklı bir pozisyonda ikinci bir renk formu oluşur. Buda bize cesetin ölümden sonra taşındığını gösterir. Bu dönem sıcaklığa bağlı olarak 1-3 gün sürer; ancak cesette şişme başladığında sona erer [(Şekil 18). (Kökdener, 2012; Kökdener & Polat, 2013)].

Şekil 18
Taze evre



Şekil 19
Şişme evresi



Şekil 20
Aktif çürüme evresi



Şekil 21
İleri çürüme evresi



Şekil 22
Kuruma evresi



2. Şişme evresi: Bağırsaktaki anaerob bakterilerin metabolik aktiviteleri ile oluşan gazlar abdomeni şişirir. Vücut açıklıklarından sıvılar gelir ve belirgin derecede koku duyulur (Şekil 19). Baskın türler *Sarcophagidae*, *Calliphoridae*, *Staphylinidae*, *Muscidae*, *Silphidae*, *Sarcophagidae*, *Histeridae*, *Nitidulidae*, *Dermestidae* ve *Cleridae* ailesine ait türlerdir.

3. Aktif çürüme evresi: *Diptera* takımına ait sineklerin bıraktığı yumurtalardan çıkan larvaların aktivitesi ile siyahlaşan deri yırtılır, cesedin gazı boşalır, koku artar ve çürüme dıştan devam eder (Şekil 20). Cesete en fazla sinek türünün geldiği evre olup; *Calliphoridae*, *Silphidae*, *Histeridae*, *Muscidae*, *Sarcophagidae*, *Nitidulidae*, *Dermestidae*, *Staphylinidae*, *Cleridae*, *Scarabaeidae*, *Phoridae*, *Piophilidae* ailelerine ait erişkin sinekler, larvaları, hamamböcekleri ve karıncalar gelir.

4. İleri çürüme evresi: Sinek larvalarının ceseti terk etmesiyle başlar; en büyük belirtisi sinekler azalırken böcekler artar. Koku zayıflar, ekşimiş peynirimsi bir koku oluşur. Bazı yumuşak dokular tespit edilebilir; iç organların hepsi macunumsu bir hal alır cesetten geriye deri, kırık kemik, bağırsak gibi birkaç kalıntı kalır (Şekil 21). Erişkin sineklerin sayısı çok azalmış olup; *Silphidae* ve *Scarabaeidae* aileleri cesetten ayrılmaya başlarken, *Staphylinidae*

ve *Histeridae* aileleri varlıklarını sürdürürler. *Dermestidae* ve *Nitidulidae* ailelerinin yoğunlukları artmaktadır. Bu evrede *Muscidae*, *Calliphoridae*, *Sarcophagidae*, *Silphidae*, *Staphylinidae* ailelerine ait larvalar bulunur.

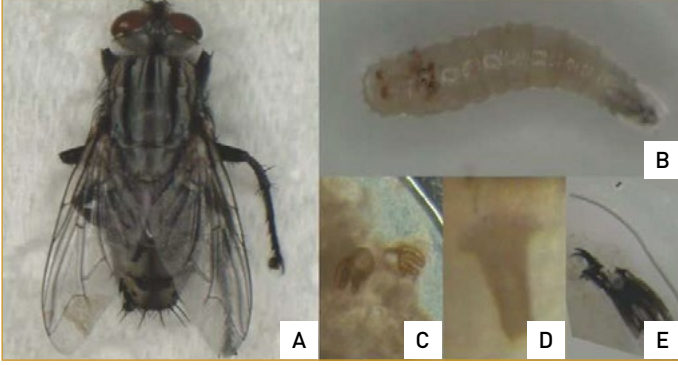
5. Kuruma Dönemi: Çürüme sonlanmış ve ceset kurudur. Karın bölgesi fermantasyondan dolayı küflü olup az miktardaki ıslak kürkün kokusu vardır (Şekil 22). Ancak bu evrenin bitişi diğer evrelere oranla tam olarak belli değildir. Larvalar cesetten uzaklaşarak pupa haline gelmeye başlar ve dönemin sonunda ceset ağırlığının %15-20'si kalır. *Calliphoridae*, *Muscidae*, *Silphidae*, *Sarcophagidae*, *Histeridae*, *Staphylinidae*, *Cleridae*, *Srabaeidae*, *Dermestidae*, *Nitidulidae*, *Carabidae*, *Piophilidae*, *Stratiomyidae*, *Psocidae*, *Trogidae*, *Stratiomyidae*, *Tineidae*, *Pyralidae* ailelerine ait larvalara rastlanır; ancak *Calliphoridae* ailesine ait larvalar yok denecek kadar azdır. Bunun yanında kırkayak, salyangoz ve isopodlar cesetin altında bulunurlar.

Çürüme Hızına Etki Eden Etmenler

1. Yeraltına/toprağa gömülme: Et veya leş sinekleri bir canlı öldükten dakikalar sonra çok uzak mesafeden cesete gelebilirler. Cesetin çürümesinde toprağın tipi, coğrafik bölgenin özelliği,

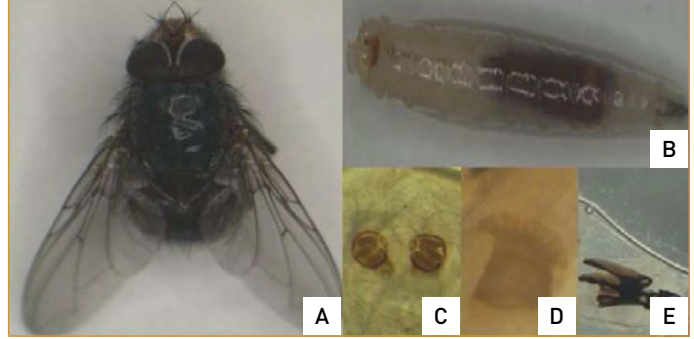
Şekil 23

Sarcophaga haemorrhoidalis (A) Erişkin (B) Larva (C) Arkastigmat (D) Önstigmat (E) Sklerit (orijinal)



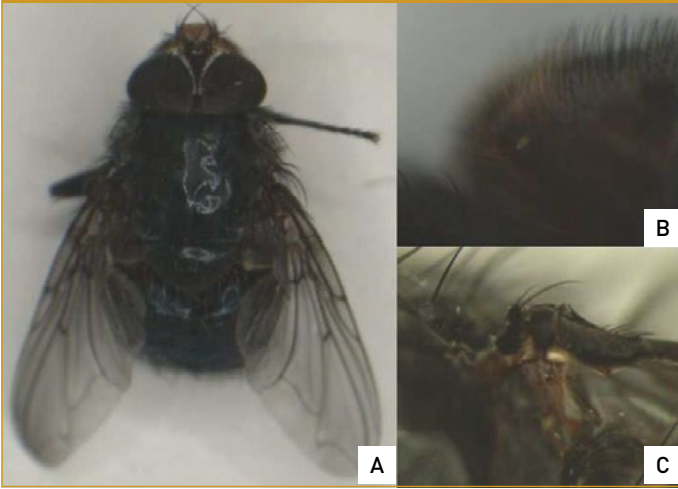
Şekil 25

Calliphora vicina (A) Erişkin (B) Larva (C) Arka stigmat (D) Ön stigmat (E) Sklerit (orijinal)



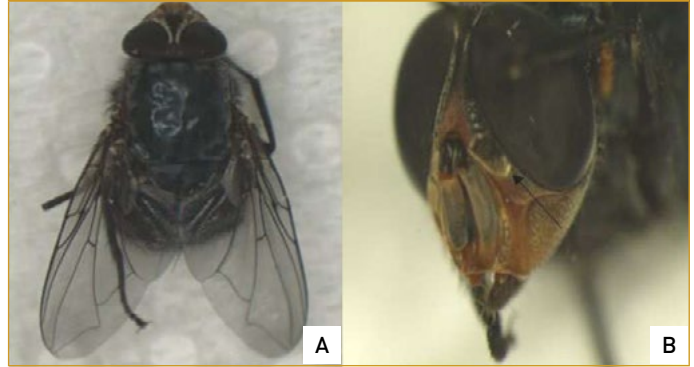
Şekil 24

Calliphora vomitoria (A) Erişkin (B) Postgenadaki sarı tüyler (C) Siyah basicosta (orijinal)



Şekil 26

Calliphora terraenovae (A) Erişkin (B) Başın önden görünüşü ve parafacial kısımdaki altınimsı gümüşü parıltı (orijinal)



cesedin gömülü olup olmaması ve gömülen derinlik önemlidir. Çünkü ceset ne kadar derine gömülürse o kadar uzun süre bozulmadan kalabilir. Gömülü cesete sineklerin ulaşması önlenir; bu da cesedin çürüme hızını etkiler. Ancak tabut sinekleri denen *Conicera tibialis* sinek türleri yerin bir metre altında, hatta çok daha derinlere ulaşır, cesette kolonizasyon oluşturabilirler. Gömülmüş cesedin çürüme hızı gömülmemiş olana göre 4 kat daha yavaştır. Hava almayan konteynir içindeki cesete sineklerin ulaşması engellendiğinden dolayı çürüme hızı yavaştır. Asılı halde olan cesedin çürüme hızı toprak üzerinde olan cesetten daha yavaştır (Zehner & et al 2004; Kökdener, 2012).

2. Su altına gömülme: Su altındaki ceset düşük oksijen seviyesi ve düşük ısı nedeni ile daha yavaş çürür. Derin su altında ve denizde çürüme süresi uzar. Balık, yengeç, denizyıldızı, su altı omurgasızları mikrobiyal çürümeden çok daha önemli olabilir.

3. Ölüm zamanı ve ısı: Cesedin çürümesinde aktif rol oynayan arthropdlar soğukkanlı hayvanlar olduğundan soğuk mevsimlerde aktivite göstermediğinde çürüme yavaş olur.

4. Yanma: Bu konu hakkında çok fazla çalışma olmayıp, bazı çalışmalarda yanan cesete sineklerin geldiği, bazılarında ise çok az geldiği yazılmaktadır (Wolff & et al 2001).

5. Güneş ışığına maruz kalma: Arthropdlar cesedin direkt güneş ışığına maruz kalan bölgelerine yumurtalarını ve larvalarını bırakmazlar.

Adli Entomolojide ve Miyazda Önemli Olan Arthropdların Fotoğrafları

Familiya: *Sarcophagidae* (Etsinekerleri)

Alt familiya: *Sarcophaginae*

Tür: *Wohlfartia magnifica*

Tür: *Sarcophaga haemorrhoidalis*

Tür: *Sarcophaga argyrostoma*

Erişkini kül renginde 10-14 mm boyunda olup, karnının orta lekeleri birleşerek bir şerit oluşturur (Şekil 23). Açık alanlarda yaşayan çiçek nektarı ile beslenen erişkin sinekler sıcağı ve ışığı sevdiğinden yaz aylarında öğle saatlerinde çok aktif olurlar. Vivipar olan bu sinekler larvalarını yarıllara, kesiklere, burun ve kulak boşluklarına bırakırlar. Dokuların altını oyarak giren larvalar evrimlerini tamamladıktan sonra toprağa düşer ve pupaya dönüşür (Polat, 2020).

Familiya: *Calliphoridae* (Yapışkansinekler)

Alt familiya: *Calliphorinae*

Tür: *Calliphora vicina* (Şekil 25).

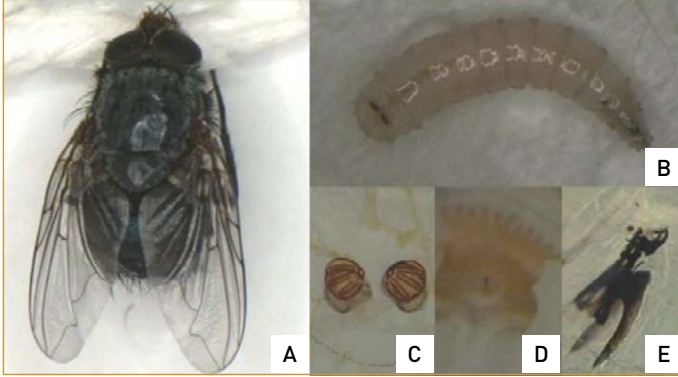
Tür: *Calliphora terraenovae* (Şekil 26).

Tür: *Calliphora vomitoria* (Şekil 24).

Tür: *Cynomyopsis cadaverina* [(Şekil 27) (Yuca, 2009; Polat, 2017-2020)].

Şekil 27

Cynomyopsis cadaverina (A) Erişkin (B) Larva (C) Arkastigmat (D) Önstigmat (E) Sklerit (orijinal)



Familya: *Calliphoridae* (Yapışkansinekler)

Alt familya: *Chrysomyinae*

Tür: *Chrysomya albiceps* Şekil 28).

Şekil 28

Chrysomya albiceps (A) Larva (B) Sklerit ve ön stigmat (C) Arka stigmat (orijinal)



Familya : *Calliphoridae* (Yapışkansinekler)

Alt familya: *Luciliinae*

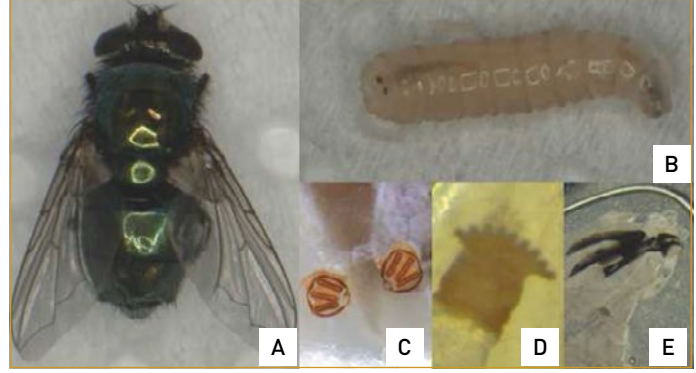
Tür: *Lucilia sericata* (Şekil 29).

Tür: *Lucilia illustris* (Şekil 30).

Tür: *Lucilia caeruleiviridis* [(Şekil 31) (Yuca, 2009; Polat, 2017-2020)].

Şekil 29

Lucilia sericata (A) Erişkin sinek (B) Larva (C) Arkastigmat, (D) Önstigmat (E) Sklerit (orijinal)



Şekil 30

Lucilia illustris (A) Erişkin, (B) Larva, (C) Arka stigmat, (D) Ön stigmat, (E) Sklerit (orijinal)



Şekil 31

Lucilia illustris (A) Erişkin, (B) Larva, (C) Arka stigmat, (D) Ön stigmat, (E) Sklerit (orijinal)



Familiya: *Muscidae* (Karasinekler)

Tür: *Musca domestica* [(Şekil 32) (Yuca, 2009; Polat, 2017-2020)].

Şekil 32

Musca domestica (orijinal)



Boyları 1 mm ile 15 cm arası olup, renk ve biçimleri bakımından farklılık gösterirler. Arka kanatlar, çoğu türde *elitra* ile örtülmüştür. Bazı türlerde ise küçüktür yada bulunmamaktadır. Çoğunda antenler 11 sementli, bazılarında 8-10 segmentli, bazılarında ise 2 segmentlidir. Antenleri; inci, lamelli, yelpaze, dirsekli ve topuzlu şekildedir (Yuca, 2009).

Familiya: *Dermestidae* (Carpet Beetles)

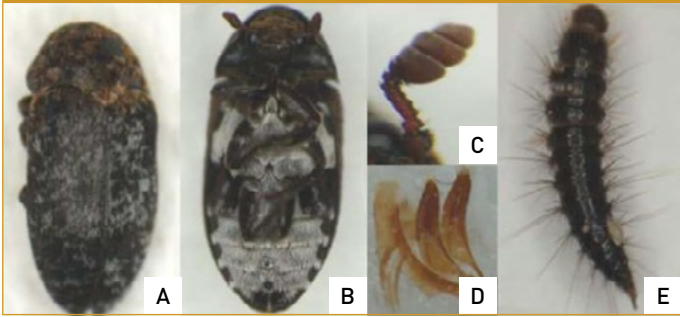
Genus: *Dermestes*

Tür: *Dermestes talpinus* (Şekil 33)

Tür: *Dermestes frischii* [(Şekil 34) (Yuca, 2009; Polat, 2017-2020)].

Şekil 33

Dermestes talpinus (A) Erişkinin sırtan görünüşü, (B) erişkinin karından görünüşü, (C) anten, (D) Erişkinin genital organı, (E) larva (orijinal)



Şekil 34

Dermestes frischii (A) Erişkinin dorsal, (B) Erişkinin ventral görünüşü



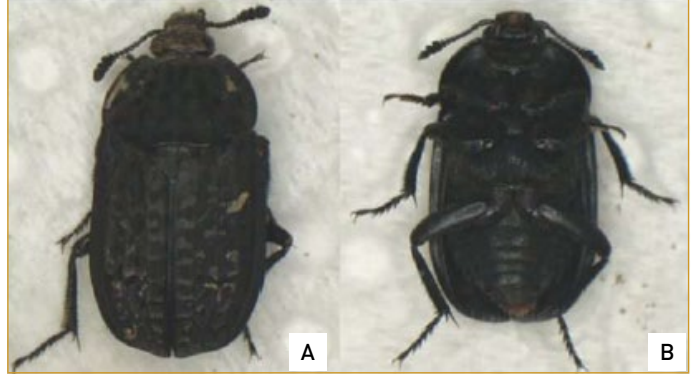
Familiya: *Silphidae*

Genus: *Thanatophilus*

Tür: *Thanatophilus rugosus* [(Şekil 35) (Yuca, 2009; Polat, 2017-2020)].

Şekil 35

Thanatophilus rugosus (A) Erişkinin dorsal, (B) Erişkinin ventral görünüşü (orijinal)



Familiya: *Blattelidae*

Genus: *Necrobia*

Tür: *Necrobia rufipes* [(Şekil 36) (Yuca, 2009; Polat, 2017-2020)].

Şekil 36

Necrobia rufipes (A) Erişkinin dorsal, (B) Erişkinin ventral görünüşü (orijinal)



Ülkemizde Adli Entomoloji Çalışmalarında Nasıl Bir Yol İzlenmelidir?

1. Entomoloji Fen Fakültesinin Biyoloji Bölümlerinde zorunlu ders olarak okutulmalıdır.
2. Entomoloji ve adli entomoloji alanında yüksek lisans ve doktora programları açılarak uzman bilim adamları yetiştirilmelidir.
3. Entomoloji ve adli entomolojide kullanılacak delil arthropodları toplayacak ve laboratuvara bozulmadan getirebilecek, laboratuvarında entomoloğun inceleyebileceği şekilde hazırlayacak deneyimli teknik elamanlar yetiştirilmelidir.
4. Türkiye'nin entomoloji haritası çıkarılmalıdır. Gerçek bir entomoloji haritası ölüm yerinin belirlenmesinde yardımcı olur. Bunun için değişik bölgelerde belirlenen alanlara kafesler içine köpek leşleri konarak sinek faunası belirlenmelidir (Şekil 37, 38).

Şekil 37

Adli entomoloji çalışmalarında kullanılabilecek kafes (orijinal)



Şekil 38

Köpek cesedinin konduğu kafes ve üzerindeki erişkin sinek tuzağı (orijinal)



5. Sahadan toplanan arthropodların; erişkinleri, yumurtaları, larvaları ve pupaları etiketlenerek toplandığı yer, saat, tarih yazılarak laboratuvarında saklanmalıdır (Şekil 39-42).

Şekil 39

Tavuk karaciğeri üzerine alınmış yumurtalar ve larvalar %10 Formaldehitteki larvalar



Şekil 40

Canlı larvaların evrelerini tamamlaması ve erişkin sinek elde edilmesi için kafes modeli (orijinal)



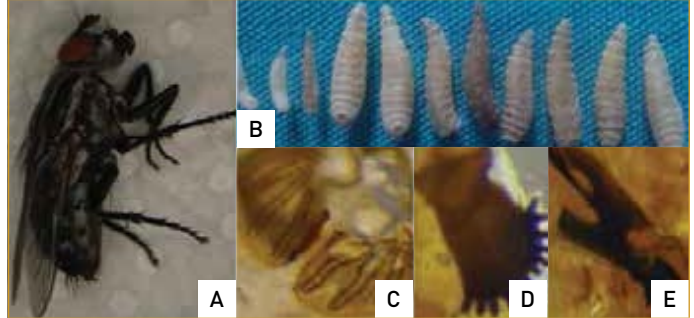
Şekil 41

İkinci ve üçüncü evre larvalar (orijinal)



Şekil 42

Sarcophaga sp. [A] Erişkin, [B] Larvalar, [C] Arkastigmat (Posterior spiracle), [D] Önstigmat (Anterior spiracle), [E] Head skeleton (orijinal)



6. Çalışma süresince çalışmanın yapıldığı bölgenin hava sıcaklığı ve nem oranına ait veriler Devlet Meteoroloji İstasyonlarından alınmalı, internet üzerinden de takip edilmelidir. Arazinin coğrafik yapısına, şehir merkezinden uzaklığına, kurulan kapanların çevreye rahatsızlık vermemesine ve kapanların insanlar tarafından bozulmamasına özen gösterilmelidir.

7. Elde edilen larvaların, erişkin sineklerin ve böceklerin ileri çalışmalar için koleksiyonu oluşturulmalıdır.

Erişkin Sineklerin ve Larvalarının Saklanması

Larvalar kaynar suya daldırılarak öldürülür. %5-10 formaldehit, %70 etil alkolde saklanabilir (Şekil 43). Erişkin sinekler ise hızlı bir şekilde öldürülerek thorax bölgesinden entomoloji iğneleri geçirilerek saklanır (Şekil 44).

Karaciğer Agar Besiyeri Hazırlanması

Tavuk karaciğeri	500 gr
Agar agar	22 gr
Distile su	630 ml

Tavuk karaciğerinin üzerindeki yağlar temizlendikten sonra çeşme suyunda yıkanır ve blender ile homojenize hale gelinceye kadar

Şekil 43

Erişkin ve larva koleksiyonu (orijinal)



Şekil 44

Erişkin koleksiyonu (orijinal)



parçalanır. Distile su içine konan agar agar 100 °C'de ısıtılarak ve karıştırılarak eritilir. Erimiş agar agar homojenize edilmiş tavuk karaciğerinin üzerine konarak iyice karıştırılır. Ağız vidalı kapak ile kapanan 500 ml'lik otoklav şişelerine 250 ml olacak şekilde dağıtılır ve otoklavda 121 °C'de 30 dakika tutularak steril edilir. Otoklavdan çıkarılan şişelerin ağız sıkıca kapatıldıktan sonra +4 °C'lik buzdolabına kaldırılır ve kullanılıncaya kadar buzdolabında tutulur.

Diptera Brachycera Tayin Anahtarı

1. Alın ayıcığı yok; antenin üçüncü parçasının ucu genellikle halkalı; arista yok; antenleri öne doğru uzanır; maksilla iki parçalı; kanatlarının dördüncü damarının ucu çatallı; distal göze kapalıdır 2
- Alın ayıcığı var; antenin üçüncü parçası halkalı değil; arista var; antenler genellikle sarkmış ve alın çukurunda; maksilla bir parçalı; kanat damarlarının uçları atalsızdır..... 3
2. Tepe düz; tarsların ucunda iki pulvillus ile ortada bir empodium vardır..... **Tabanidae**
- Tepede derin bir çukur bulunur; tarsların ucunda bir kılla ayrılmış iki pulvillus vardır **Asilidae**
3. Vena spuria yoktur 4

- Vena spuria vardır 11
4. Denge organları örtülüdür **Calyptera**
- Denge organları açıktır..... **Acalyptera**
5. Hortum sert sokucu; başın altında öne doğru uzanan ince bir stylet vardır; kan emerler..... 6
- Hortum yumuşak ve emici; stylet yok; hortumun ucu geniştir 7
6. Aristanın üst yanı ucuna değin tüylü; kanatların median damarları enine olan damara doğru eğik ve kanat ucunun öne bakan kısmında sonlanır. Aristanın üst yanı ucuna değin yalın kıllı; kanatları median damarı enine olan damara dikey ve ucu biraz eğik olup kanat ucunun geriyebakan kısmında sonlanır **Stomoxydae**
7. Median damarı enine damardan sonra doğru; arista değişik; hipoplöral tarak yoktur..... **Antomyidae**
- Median damar eğik yada enine damardan sonra öne doğru eğri; arista ve hipoplöral tarak değişiktir..... 8
8. Hipoplöral tarak yok; arista ucuna değin kıllıdır..... **Muscidae**
- Hipoplöral tarak var; arista ucuna değin kıllıdır..... 9
- Hipoplöral tarak var; arista ucuna değin kıllı değildir 10
9. Aristanın iki yanı ucuna değin kıllı, madeni parlak mavi, yeşil veya donuk ve sarımsırenktedir **Calliphoridae**
10. Aristanın iki yanı kıllı, ama ucuna değin kıllı değil; donuk boz renkte gövdede uzunlama-sına siyahımsı çizgiler var; karnın üst yüzünde yanardöner refleks gösteren dama kareleri gibi kara gri alacalar(sarcophaga) ya da bakışıklı kara noktalar(wohlfahrtia) vardır..... **Sarcophagidae**
11. Bal arısına benzerler; vücutları parlak; karnın sırt yüzünde kara şeritler var; larvalar uzun kuyrukludur..... **Syrphidae**

Calliphoridae Tayin Anahtarı

1. Posterodorsal yüzeyde, kanattaki R damarının basal kısmında uzun, ince sert kıl..... 2
- Kanattaki R damarının basal kısmı çıplak..... 3
2. Gena sarı/turuncu, çoğunlukla sarı kıllı, anterior spiracle renksiz..... **Cochliomyia macellaria**
- Gena sarı/turuncu değil, anterior spiracle çoğunlukla turuncu sarı **Phormia regina**
3. Pleuron kısmı parlak, kıvrıkcık, sarı sert kıllı **Pollenia türleri**
- Pleuron kısmında parlak, kıvrıkcık, sarı sert kıl yok..... 4
4. Alt calypter kıllı; kanat damarı R5 node'un ilerisinde çıplak; thorax sönük renkte, tozumsu salgı ile kaplı; abdomen parlak, genellikle metalik mavi 5

Alt calypter çıplak; kanat damarı R5 node'un ilerisinde kıllı; thorax ve abdomen parlak ve genellikle metalik yeşil.....	6
5. Kırmızımsı bucca; basicosta sarıdan sarı turuncuya doğru bir renktedir	Calliphora vicina
Bucca tamamen siyah; basicosta siyah	Calliphora vomitoria
6. Kanadın ventral alt kısmının apikal yarımında dikkat çekici siyah kıllı subcostal sklerit	Lucilia illustris
Sadece kanadın ventral alt kısmının apikal yarımında mikro tüyler bulunduran subcostal	
Sklerit.....	7
7. Basicosta siyah; palpus kahverengi	Bufolucilia silvarum
Basicosta solgun renkte; palpus turuncu sarı	8
8. İkişerli, sert ve kalın postacrostichal kıl.....	Phaenicia coeruleiviridis
Üçerli, sert ve kalın postacrostichal kıl	Phaenicia sericata

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The author declares that there are no competing interests

Kaynaklar

- Açıkgöz, A. (2008). *İnsan cesetleri üzerinden toplanan entomolojik delillerle ölüm zamanı tayini*. [Doktora tezi]. Ankara Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü.
- Aggarwal, D.A. (2005). Estimating the post-mortem interval with the help of entomological evidence. A Thesis For MD. Patiala: [Forensic Medicine] Govt. Medical College.
- Amendt, J., Krettek, R., Zehner, R. (2004). Forensic entomology. *Naturwissenschaften*, 91: 51- 65. [Crossref]
- Amendt, J., Campobasso, C.P., Gaudry, E & vd. (2007). Best practice in forensic entomology standards and guidelines. *Int J Legal Med*, 121(2): 90- 104. [Crossref]
- Anderson, G.S & Van Laerhoven, S.L. (1996). Initial studies on insect succession on carrion in southwestern British Columbia. *J. Forensic Sci*, 41: 617- 625. [Crossref]
- Anderson, G.S. (2001). Succession on carrion and its relationship to determining time of death. J. H. Byrd, J. L. Castne. (Ed), Forensic entomology: *The utility of arthropods in legal investigations*. P.201- 242. [Crossref]
- Aslan, A. (2006). *Eskişehir Sarcophagidae (Diptera) Faunası Üzerine Faunistik Çalışmalar*. [Yüksek lisans tezi]. Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Bana, R. (2010). *Edirne İli Trakya Üniversitesi Güllapoğlu (Balkan) Yerleşkesi'nde Adli Entomoloji Yönünden Önem Taşıyan Coleoptera Faunasının Leş Üzerinden Toplanması ve Taksonomik Yönden İncelenmesi*.

[Yüksek lisans tezi]. Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

- Baykal, N.K. (1995). *Bitki koruma*. Demiray, U. (Ed.), Anadolu Üniversitesi basım. 187-190.
- Benecke, M. (2001). A brief history of forensic entomology. *Forensic Science International*. 120: 2-14. [Crossref]
- Benecke, M. (2004). Forensic entomology: Arthropods and corpses. Tsokos, M. (Ed.), *Forensic Path Rev* (Vol II, p. 211-213). *Totowa: Humana Press*.
- Coc, J.I., Curan, W.J. (1980) Definition and time of death. Curran, W. J, McGarry, AL, Petty, CS. (Ed). *Modern Legal Psychiatry and Forensic Science*. (P.141- 177), F. A. Davis Co, Philadelphia.
- Çalışır, B., Polat, E. (1993). İstanbul'un 5 değişik yerindeki çöplüklerde sinek faunasının incelenmesi. *Türk Parazitol Derg*, 1(3-4): 119-129.
- Çoban, E. (2009). Edirne ili Trakya Üniversitesi Güllapoğlu Yerleşkesi'nde Adli Entomoloji Yönünden Önem Taşıyan Diptera Faunasının Leş Üzerinden Toplanması ve Taksonomik Yönden İncelenmesi. Yüksek lisans tezi. *Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*.
- Çetin, E.T. (1983). Tıbbi parazitoloji: Protozoonlar, helmintler, arthropodlar. (s. 377-413). Sanal Matbaacılık.
- Daldal, N., Atambay, M. (2007). Myiasis (Miyaz) Özcel, M.A., Özbel, Y., A.K., M. (Ed). Özcel'in Tıbbi Parazit Hastalıkları. Meta basım.
- Demirsoy, A. (2003). Yaşamın temel kuralları omurgasızlar/böcekler entomoloji. (6. baskı, cilt 2, kısım 2), Meteksan baskı.
- Dinçer, Ş. (1997). İnsan ve Hayvanlarda Myiasis. Özcel, MA, Daldal, N. (Ed). *Parazitolojide Artropod Hastalıkları ve Vektörler*. (s. 169-234). İzmir: Türkiye Parazitol Derneği, 13.
- Erzinçioğlu, Y.Z. (1983). The application of entomology to forensic medicine. *Med Sci Law*, 23(1): 57- 63. [Crossref]
- Ferrar, P. (1987). A Guide to the Breeding Habits and Immature Stages of Diptera Cyclorrhapha. In: Lyneborg, L. (Ed). Entomonograph. (vol. 8., Part 1-2.) *Scandinavian Science Press*. [Crossref]
- Goff, M.L., Lord, W.D. (1994). Entomotoxicology: a new area for forensic investigation. *Am J Forensic Med Pathol*, 15: 51- 57. [Crossref]
- Gunn, A. (2009). Invertebrates in forensic science: Essential Forensic Biology. (2nd edition, 213), *John Wiley and Sons*, West Sussex
- Hall, R.D. (2001) Introduction, Perceptions and Status of Forensic Entomology. Forensic Entomology: The Utility of Arthropods in Legal Investigations. J. H. Byrd, J. L. Castner, (Ed.), (3 rd ed, Vol 1, 1- 12), *CRC Press*. [Crossref]
- Karapazarlıoğlu, E. (2004). Doğal Ortamda Domuz Karkasları Üzerine Gelen Arthroda'ların ve Süksesyonlarının Belirlenmesi. Yüksek lisans tezi. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Karapazarlıoğlu, E. (2011). *Kapalı Ortamda Domuz Karkasları Üzerine Gelen Böcek Türlerinin ve Süksesyonlarının Belirlenmesi ve Bir Örnek Vaka Çalışması*. [Doktora tezi]. Ondokuz Mayıs Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kökdeniz, M.K. (2012). Adli entomolojide kullanılan sinek türlerinin Samsun'da mevsimlere göre durumunun belirlenmesi. Doktora tezi. İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü.
- Kökdeniz, M., Polat, E. (2013). Insect succession on dog (Canis lupus familiaris L.) carcasses in Samsun province, Turkey. *Mu Ent Zool*, 9: 858-69.
- Lamia, A.A., Galal, M.D., Hameed, S.Y. (2009). An initial study of arthropod succession on exposed human left over parts in Assiut, Egypt. *J Forensic Med Clin Toxicol*, 17(1): 55- 74. [Crossref]
- Lord, W.D. & J.R. Stevenson, 1986. Directory of Forensic Entomologist, Defense Pest Management Information Analysis Center, *Walter Reed Army Medical Center*, Washington, D.C., 42.
- Mann, R.W., Bass, W.M., Meadows, L. (1990). Time since death and decomposition of the human body: variables and observations in case and experimental field studies. *Journal of Forensic Sciences*, 35: 103- 111. [Crossref]
- Merdivenci, A. (1973). Miyaz sinekleri. *Tıbbi Entomoloji*. İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesi.
- Mumcuoğlu, K.Y. (2007). Biotherapy laboratory protocol department of parasitology. Israel: Hebrew University-Hadassah Medical School Jerusalem.

Kısım 1: Adli Bilimlerde Hayvanlar ve Entomolojik İzler

- Oytun, H.Ş. (1962). *Tıbbi entomoloji*. (2. Baskı). Güzel İstanbul Matbaası.
- Pekbey, G. (2007). Erzurum İli Sarcophagidae (Diptera) Türleri Üzerinde Faunistik Çalışmalar. Yüksek lisans tezi. Atatürk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Polat, E., Çakan, H., İpek, T. (2010). Larva Debridman Tedavisi (LDT). *Türk Aile Hek Derg*, 14: 188-91. [\[Crossref\]](#)
- Polat, E. (2017). MIYAZIS (Diptera: Brachycera / Calliphoridae). Özbel, Y. (Ed). *Vektör Artropodlar ve Mücadelesi*. S.283- 310. Türkiye Parazitoloji Derneği yayın no: 25.
- Rodriguez, W.C., Bass, W.M. (1985). Decomposition of buried bodies and methods that may aid in their location. *Journal of Forensic Sciences*, 30: 836-852. [\[Crossref\]](#)
- Saigus, K., Matsumasa, M., Yashima, Y & vd. (2009). Practical applications of molecular biological species identification of forensically important flies. *Legal Medicine*, 11: 344-347. [\[Crossref\]](#)
- Savran, B., Koç, S., Çetin, G & ark. (1994). Adli entomoloji. *Adli Tıp Derg*. 10: 143-152.
- Smith, K.G.V. (1986). A Manual of Forensic Entomology. London: British Museum of Natural History, Cornell University Press.
- Turchetto, M., Vanin, S. (2004). Forensic entomology and climatic change. *Forensic Science International*, 146: 207-209. [\[Crossref\]](#)
- Tüzün, A., Yüksel, S. (2007). Postmortem intervalin saptanmasında adli entomoloji. Türkiye Klinikleri, *J Foren Med*, 4: 23-32.
- Unat, E.K., Samastı, M. (1995). *Tıp Entomolojisi*. Unat, E.K., Yücel, A., Altaş, K., Samastı, M. (Ed). Unat'ın tıp parazitolojisi insan ökaryonlu parazitleri ve bunlarla oluşan hastalıkları. (5. Baskı) Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Vakfı Yayınları.
- Yeates, D.K., Wiegmann, B.M., Courtney, G.W. vd. (2007). Phylogeny and systematics of Diptera: Two decades of progress and prospects. *Magnolia Press*.
- Yuca, P. (2009). İstanbul, Pendik İlçesine Akfırat Beldesine Adli Entomolojide Kullanılan Sinek Türlerinin Belirlenmesi. [Yüksek Lisans Tezi]. İstanbul Üniversitesi Adli Tıp Enstitüsü.
- Van den Oever, R. (1976). A review of the literature as to the present possibilities and limitations in estimating the time of death. *Med Sci Law*, 16: 269-276. [\[Crossref\]](#)
- Varatharajan, R., Sen, A. (2000). Role of entomology in forensic sciences. *Current Science*, 78(5): 544- 546.
- Voss, S.C., Spafford, H., Dadour, I.R. (2009). Annual and seasonal patterns of insect succession on decomposing remains at two locations in Western Australia. *Forensic Science International*, 193: 26- 36. [\[Crossref\]](#)
- White, G.B. (1996). Myiasis. Manson's Tropical Disease. Bahr, M. (Ed). 20 th ed WB. (p. 1526-1532), *Sounders co*.
- Wolff, M., Uribe, A., Ortiz, A. (2001). A preliminary study of forensic entomology in Medellín in Colombia. *Forensic Science International*, 120: 53-59. [\[Crossref\]](#)
- Zehner, R., Amendt, J., Svenja, S., Sauer, J., Krettek, R., Povolny, D. (2004). Genetic identification of forensically important flesh flies (Diptera: Sarcophagidae). *Int J Legal Med*, 118: 245-247. [\[Crossref\]](#)

KISIM 2
BİTKİLERİN GÖLGESİNDEKİ SIRLAR: ADLİ
BOTANİK VE ZEHİRLİ BİTKİLER

BÖLÜM 1

ADLI BOTANİK

Elif YÜZBAŞIOĞLU

Eda DALYAN

İbrahim Sırrı YÜZBAŞIOĞLU

Adli Botanik

Forensic Botany

BÖLÜM HAKKINDA

Adli bilimler, bilimsel bilgi ve teknolojiyen yararlanarak fiziksel kanıtları tanımlamakta ve suçların çözülmesine yardımcı olmaktadır. Biyoloji, kimya, fizik gibi temel bilim dallarının alt disiplinlerini kullanan adli bilimlerde botanik kanıtların kullanımı son yıllarda artış göstermiştir. Biyoloji temel bilimi kapsamındaki botanik bilimi çok sayıda alt disiplinden oluşmaktadır. Bitkilerin büyüme ve gelişmelerini araştıran fizyoloji; bitkilerin yapısını araştıran morfoloji; bitkilerin iç yapısını araştıran anatomi; bitkilerin isimlendirme ve sınıflandırması ile aralarındaki ilişkiyi araştıran sistematik; bitki hücrelerinin yapısını ve işlevini araştıran sitoloji; bitkinin genetik yapısı ve işlevini araştıran moleküler biyoloji; bitkilerin geçmişte, günümüzde ve gelecekte kullanımını araştıran ekonomik botanik; bitkilerin yaşadıkları ortam ile ilişkisini inceleyen ekoloji; fosil biyolojisi ve evrimini araştıran paleobotanik bu alt bilimler arasındadır. Adli bilimler alanında botanik biliminin kullanılması ile birçok vakada kanıt olarak gösterilen bitki örnekleri olayların çözümüne katkı sağlamıştır. Bu bitki örnekleri, mağdur ve şüphelilerin üzerinden ve olay yeri mahallinden toplanmaktadır. Örneğin, giysi yapımında kullanılan pamuk gibi bitki lifleri vaka çözümlerinde katkı sağlamaktadır. Bitki polenleri olayların aydınlatılmasında coğrafi konum ve mevsimsel ilişkiler için kullanılmaktadır. Midede bulunan bitkisel kaynaklı gıda maddeleri ölüm zamanının belirlenmesine yardımcı olmaktadır.

Bitki materyalinin insan hayatında yaygın olarak kullanımı, adli bilimler alanında adli botanik kavramının oluşmasına neden olmuştur. Bu bölümde, adli bilimler alanında çalışan araştırmacıların bitkileri tanıması, temel bitki biyolojisi, bitki çeşitliliği ve kanıt olarak bitki materyali hakkında bilgi edinmeleri amaçlanmıştır.

Anahtar kelimeler: Bitki biyolojisi, bitkisel kanıt, taksonomi

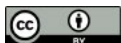
ABOUT the CHAPTER

Forensic science uses scientific knowledge and technology to identify physical evidence and help solve crimes. The use of botanical evidence in forensic sciences, which use subdisciplines of basic sciences such as biology, chemistry and physics, has increased in recent years. Botany consists of many sub-disciplines within the scope of the basic science of biology. Physiology, which investigates the growth and development of plants; morphology, which studies the structure of plants; anatomy, which studies the internal structure of plants; systematic, which investigates the naming and classification of plants and the relationship between them; cytology, which studies the structure and function of plant cells; molecular biology, which studies the genetic structure and function of the plant; economic botany, which studies the past, present and future uses of plants; ecology, which studies the relationship of plants with the environment in which they live; Paleobotany, which investigates fossil biology and evolution, is among these sub-sciences. With the use of botany in the field of forensic sciences, plant samples shown as evidence in many cases have contributed to the solution of the cases. These plant samples are collected from victims and suspects and from the crime scene. For example, plant fibers such as cotton used in making clothes contribute to case solutions. Plant pollen is used to shed light on events, geographical location and seasonal relationships. Plant-derived food substances found in the stomach help determine the time of death. The widespread use of plant material in human life has led to the formation of the concept of forensic botany in the field of forensic sciences. In this chapter, it is aimed for researchers working in the field of forensic sciences to get to know plants, to obtain information about basic plant biology, plant diversity and plant material as evidence.

Keywords: Plant biology, plant evidence, taxonomy

Bitki Biyolojisi

Bitkilerin dünya üzerinde yayılışı yaklaşık 3,5 milyon yıl önce fotosentezin ortaya çıkması ile başlamıştır. Bitkilerin güneş enerjisini kullanarak kendi besinlerini üretmeleri ve farklı üreme yöntemleri sayesinde her türlü koşula uyum sağlamaları çeşitliliğin artmasına neden olmuştur. Buldukları ekosistem içinde doğal besin kaynağı olan bitkiler çeşitli yaşamsal ihtiyaçları karşılamak için kullanılmıştır (Evert & Eichhorn,2016).



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



Elif Yüzbaşıoğlu

Eda Dalyan

İbrahim Sırrı Yüzbaşıoğlu

İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Botanik Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-posta: aytmka@istanbul.edu.tr
ekaplan@istanbul.edu.tr
yuzbasis@istanbul.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as: Yüzbaşıoğlu, E., Dalyan E., Yüzbaşıoğlu, İ. S. [2024]. Adli botanik. G. Filoğlu & Ö. Bütül (Ed). *Adli biyoloji: Doğanın izleriyle adaletin peşinde I* (s. 35-43). İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.

Bir canlının bitki olarak tanımlanması için;

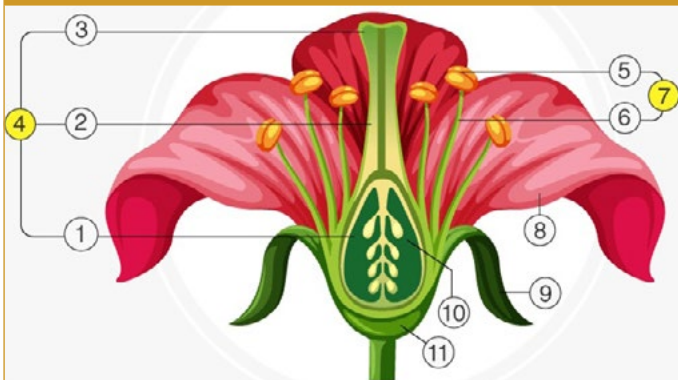
- Çok hücreli yapıdan oluşması,
- Selüloz bakımından zengin bir hücre duvarına sahip olması,
- Klorofil içermesi ve fotosentez yapması (fotosentetik olmama durumunda fotosentetik atalarından türemeleri),
- Karasal yaşama uyum sağlaması (sucul olmaları durumunda karasal atalarından türemeleri) gerekmektedir.

Bitkiler hayat döngüsüne tohum çimlenmesi ile başlamaktadır. Tohumun çimlenmesini ardışık kök, gövde, yaprak, çiçek, meyve ve tohum oluşumu izlemektedir. Tohum içinde bulunan embriyodan bazal sürgün gelişimi ile kök, apikal sürgün gelişimi ile gövde oluşmaktadır. Kök, bitkinin toprağa tutunmasını ve ortamdan su ile erimiş minerallerin alınmasını sağlamaktadır. Gövde ise yaprak sürgünlerini taşıyarak, bitkinin toprak üstü kısmını oluşturmaktadır. Yapraklar, bol kloroplast içeren hücreleri ile bitkiye organik madde sentezi yapan fotosentetik organlardır. Bitki türlerine göre morfolojik ve anatomik olarak farklılık göstermektedirler. Çiçek, gövde ucunda bulunan meristematik dokunun farklılaşması ile oluşan üreme organıdır. Çiçek parçaları reseptakulum (çiçek tablası) üzerinde bulunmakta ve dairesel bir diziliş göstermektedir. En dıştan içe doğru; yeşil renkli yapraklar kaliks (her bir yaprak sepal), renkli yapraklar korolla (her bir yaprak petal), erkek organları oluşturan stamenler ve pistil denilen dişi organlar olarak sıralanmaktadır (Şekil 1). Çiçekte oluşan polenlerin tozlaşması sonucu, ovaryumda bulunan yumurta döllenerek zigotu oluşturmaktadır ve sonrasında embriyo gelişmektedir. Döllenmeye ardışık, ovaryum çeperinin (karpel) farklılaşması ile tohumu saran meyve oluşmaktadır. Meyve oluşumuna farklı çiçek yapıları da katılabilir. Örneğin, enginar bitkisinin yenilen kısmı, çiçek tablasının genişlemesi ile oluşmuştur. Ayrıca, döllenme olmadan da meyve oluşumu gerçekleşebilmekte ve bu tip meyveler partenokarpik meyve olarak tanımlanmaktadır. Muz ve çekirdeksiz üzüm partenokarpik meyveye örnek olarak verilebilir. Meyve ve tohum eş zamanlı olgunlaşarak, bitkinin hayat döngüsünü tamamlar.

Bitki organlarının birincil görevlerinin yanı sıra çevresel koşullara uyum sağlamak için farklı işlevler kazanabilmektedirler. Bu işlevsel değişiklikler bitki organlarında morfolojik ve anatomik olarak gözlenmektedir. Havuç, şeker pancarı ve tatlı patates gibi bazı bitkilerde yenilen kök dokusu besin depolamak için özelleşmiştir.

Şekil 1

Çiçek boyuna kesit. 1:ovaryum, 2:stilus, 3:stigma, 4:pistil, 5:anter, 6:filament, 7:stamen, 8:petal, 9: sepal, 10:ovül, 11: reseptakulum



Açıklama notu. Flower – Parts and Functions. BYJU's. <https://byjus.com/biology/flower/> kaynağından alınmıştır.

Toprak altı gövdesi olan patates yumrusu ve soğan besin depolamaktadır. Asma da tutunmaya yarayan sülükler ve kaktüsün iğne şeklinde görünen yapraklar, farklı görevler üstlenmiştir. Meyveler farklı çiçek yapılarının değişimi ile çeşitli tiplerde oluşmaktadır (Yentür, S., & Cevahir-Öz,2013).

Bitkilerin İsimlendirilmesi ve Tanımlanması

Bitkilerin yayılım gösterdiği bölgede yaşayan halk tarafından yerel isimler verilmektedir. Bu nedenle aynı bitki dünyanın birçok bölgesinde farklı şekilde isimlendirilmektedir. Bir bitkiye ait çok sayıda isimlendirme olması, bitkinin tanımlanması açısından belirsizlik ve karışıklık yaratacağından bitkilere 'bilimsel isim' verilmektedir. Bir bitki türünün adı iki Latince kelimeden oluşmaktadır. Bunlardan birincisi türün ait olduğu cins ismidir ve ilk harfi büyük yazılır. İkinci kelime ise türü belirtir ve küçük harfle başlar. Bu ikinci kelimeye "epitet" denir. Özetle bir tür, iki kelimenin oluşturduğu bir kombinasyon şeklinde ifade edilmektedir. Bitki türlerinin bu şekilde iki kelimeyle adlandırılması ilk defa 1753'te Linneaus ile başlamış ve kural olarak kabul edilmiştir. Linneaus tarafından ortaya çıkarılan bu kurala ikili adlandırma anlamına gelen "binominal" kuralı denir. Bir türe ait bu ikili ismin sonuna, bu türü bilimsel şekilde ilk defa yayınlamak üzere dünyaya tanıtan yazar veya yazarların adı tam veya kısaltılmış olarak eklenir. *Trifolium campestre* Schreb., *Trifolium boissieri* Guss. ex Boiss. örneklerinde görüldüğü üzere ilk isim cinsi, ikincisi türü belirtmektedir. Bunların sonunda yer alan isimler ise yazarların kısaltılmış adlarıdır. Epitetler türün özelliğinden, habitatlarından, coğrafi bölgelerinden veya bir kişi adından kaynaklanabilmektedir (Simpson, 2012).

Bilimsel olarak tanımlanmış bitki örnekleri, koleksiyonlar halinde herbaryum olarak isimlendirilen kurumuş bitki koleksiyonlarında bulunmaktadır. Herbaryumlar genellikle kişisel ya da özel kuruluşlara, araştırma enstitülerine, botanik bahçelerine, müzelere ve üniversitelere ait ulusal ve uluslararası nitelikte olabilmektedir. Dünyanın pek çok bölgesinden toplanmış ve uzman kişilerce teşhis edilmiş çok sayıda bitki örneği ile herbaryumlar referans kütüphanesi gibi hizmet vermektedir. Herbaryumda bitki örnekleri, sıkıştırılarak kurutulmuş, iyi kalite kartonlara yapıştırılmış olarak muhafaza edilmektedir. Bu örneklerin üzerinde bitkinin adını, nereden, ne zaman, kim tarafından toplandığını ve kim tarafından teşhis edildiğini belirtilen etiketler bulunmaktadır (Şekil 2). Aktif bir herbaryum, genellikle bilinmeyen türlerin tayin merkezi olarak çalışmaktadır. Böyle herbaryumlar büyük, uluslararası nitelikte ve çok sayıda örneğe sahiptir. Kew, British Museum Herbaryumu, Edinburgh Royal Botanic Garden, Leningrad ve Viyana Tabiat Tarihi Müzesi Herbaryumu bunlardan bazılarıdır. Ülkemizde de tanınmış, çok sayıda örneğe sahip ulusal herbaryumlar Ankara, İstanbul, Ege, Hacettepe ve Gazi Üniversitelerinin bünyesinde bulunmaktadır.

Bitkileri tanımlamak için tayin anahtarları başvurulabilecek kaynaklardan biridir. Tayin anahtarları bitkinin ait olduğu grubun morfolojik karakterlerine göre tanımlamalar içermektedir. Her ülkenin doğal florasının kayıtlı olduğu kaynak kitaplardaki tayin anahtarlarından faydalanarak bitkilerin tanımlanması yapılmaktadır. Floralarda yer alan anahtarları kullanarak bitki teşhis etmek terminolojiye hakim olmak yanında belirli bir seviyede uzmanlık isteyen bir iştir. Özellikle bazı grupların teşhisinde (Poaceae, Orchidaceae, Apiaceae) konunun uzmanına danışmak olası hataları önlemek adına faydalı olacaktır (Graham vd., 2004).

Şekil 2

Edinburgh herbaryumunda bulunan, 1957 yılında Malatya'dan toplanmış bir gelincik türü



Açıklama notu. Herbarium catalogue. Royal Botanic Garden Edinburgh. <https://data.rbge.org.uk/search/herbarium/> kaynağından alınmıştır.

Bitkilerin Sınıflandırılması

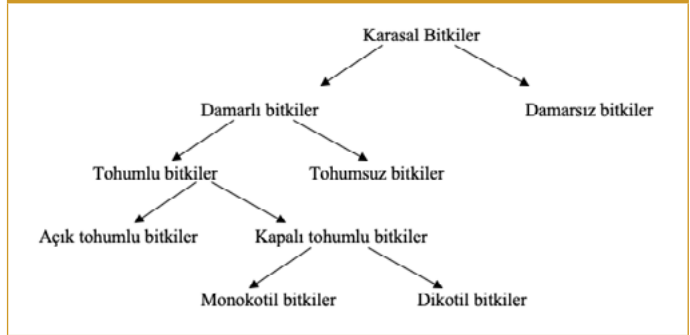
Karasal bitkiler damarsız bitkiler ve damarlı bitkiler olarak iki ana gruba ayrılmaktadır. Damarlı bitkiler kendi içinde tohumlu ve tohumlu bitkiler olarak gruplandırılmaktadır. Tohumlu bitkilerde, açık (gymnosperm) ve kapalı (angiosperm) tohumlu bitkiler olarak iki gruptan oluşmaktadır. Kapalı tohumlu bitkiler ise monokotil ve dikotil bitkiler olarak ayırım göstermektedir (Şema 1).

Damarsız Bitkiler (İletim Demeti Olmayan Bitkiler)

En ilkel bitki grubunu oluşturan damarsız bitkiler, damarlı bitkilerdeki su ve besin maddelerini taşıyan floem ve ksilem dokularını içermemektedir. Anatomik yapıları oldukça basit olan bu bitkiler, yaprak benzeri yapılara sahiptir ve kök benzeri rizoid denilen ince tüpsü yapılar ile yüzeye bağlanmaktadır. Damarsız bitkiler, çiğnerotları (Bryofitler), karayosunları ve boynuzsu otlar olmak üzere

Şema 1

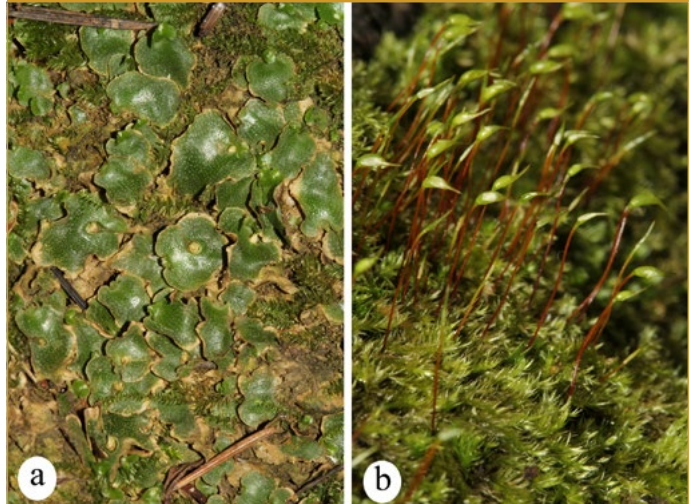
Bitkilerin sınıflandırılması



üç gruba ayrılmaktadır (Şekil 3). Yapraksız küçük bitkiler olarak bilinen bu grup çoğunlukla ılıman bölgelerin nemli kısımlarında, sulak alanlarda ve akarsu kenarlarında yaşamaktadır. Özellikle ağaç kenarlarında ve taş aralarında kolaylıkla yeşil bir örtü oluşturan bu grup halk arasında yosun olarak da bilinmektedir (Evert & Eichhorn, 2016). Karayosunları adli soruşturmalar için oldukça yararlı kaynak oluşturmaktadır. Adli vaka incelemelerinde, basit yapılarından dolayı karayosunu parçalarının kolaylıkla ayakkabı ve giysilere tutunabildiği görülmüştür. Margiotta vd. (2015) yaptıkları vaka çalışmasında, kurbanın ölümünün nasıl gerçekleştiğini giysilerinin ve ayakkabısının üzerinde bulunan karayosunu parçaları ile saptamışlardır.

Şekil 3

Çiğnerotu örneği *Marchantia* sp. (a) ve karayosunu örneği *Dicranella* sp. (incelik) (b)



Damarlı Bitkiler (İletim Demetli Bitkiler)

İletim sistemine sahip olan damarlı bitkiler ksilem ve floem dokularını içermektedir. Bu bitkiler, ksilem aracılığıyla alınan su ve mineral besinleri toprak üstü organlara taşırken, floem vasıtasıyla da fotosentez sonucu yapraklarda oluşan besinleri bitkinin diğer kısımlarına ulaştırmaktadır.

Damarlı Tohumlu Bitkiler

Bu gruba ait bitkiler kibritotları, atkuyruklular ve eğrelti otlarını içermektedir (Şekil 4). Devonyen döneminde gelişip zenginleşen iletim demetli tohumlu bitkiler, fosil yakıtların önemli bir kısmını

oluşturmaktadır. Bu grubun en gelişmiş ve bilinen üyesi eğrelti otlarıdır. Eğrelti otları, diploid (2n) sporofit ve haploid (n) gametofitik evreden oluşan yaşam döngüsüne sahiptir. Hem vegetatif olarak hem de sporlarla üreyebilmektedirler.

Sekil 4

Eğrelti otu: *Polystichum setiferum* (kızılpilunç)



Damarlı Tohumlu Bitkiler

İletim demetli bitkilerin en gelişmiş grubunu oluşturmaktadırlar. Spermatophyta olarak da isimlendirilen tohumlu bitkilerin en önemli özelliği, gametofit dölün çok indirgenmiş olması ve tohum oluşturmalarıdır.

Açık Tohumlu Bitkiler (Gymnospermler). Açık tohumlu bitkilerde, tohumları çevreleyen meyve yapısı yoktur. Açık tohumlularda ovüller (dişi üreme yapıları) kozalak üzerinde bulunan kozalak pullarının yüzeyinde bulunmaktadır. Kozalak, polen ve tohumu oluşturan üreme organıdır. Kozalaklar monoik (tek cinsiyet) ya da dioik (iki cinsiyet) olabilmektedir. Dişi üreme sisteminde stigma, stilüs ve ovaryum yoktur. Açık tohumluların polenleri (erkek üreme yapıları) ovüle rüzgâr yardımı ile taşınmakta ve böylece tozlaşma gerçekleşmektedir. Polen doğrudan ovül tepesinde çimlenmekte ve dölleme sonrası tohum kozalak pullarının arasında açıkta yerleşmektedir. Açık tohumlu bitkiler genel olarak odunlu, her zaman yeşil ağaç ve çalılarından oluşmaktadır. Ancak Ginkgo (Şekil 5a) gibi bazı bitki grupları yapraklarını dökmektedir. Yaprakları genellikle iğnemi ya da pulsu yapıda olmakla birlikte daha ilkel grubu olan Cycas (Şekil 5b) bitkilerinde eğreltilere benzer yapı görülmektedir. Bitkiler genellikle reçine kanalı içermektedir. Günümüzde üyeleri yaşayan açık tohumlu bitkiler, Koniferler (iğne yapraklılar), Cycadlar, Ginkgolar ve Gnetofitler olmak üzere dört grupta toplanmaktadır [Yıldız & Aktoklu, 2012].

Kapalı Tohumlu Bitkiler (Angiospermler). Kapalı tohumlu bitkiler diğer bir ifadeyle çiçekli bitkiler günümüzde gelişmiş bitkiler sınıfının büyük bir kısmını oluşturmaktadır. Ağaçlar, çalılar, buğday, mısır, meyve ve sebzeler, kaktüsler, yabani bitkiler ve adını saymadığımız pek çok tür çiçekli bitkiler sınıfını temsil etmektedir. Çiçekli bitkiler karasal yaşama çok iyi uyum sağladıkları için çok çeşitlilik göstermektedir. Kapalı tohumluların diğer bitki gruplarından en önemli farkı, çiçek organına sahip olmalarıdır. Çiçek,

Sekil 5

Ginkgo biloba (a) ve *Cycas revoluta* (b)



stamen (polen üreten) ve karpelleri (ovülleri içeren) içermektedir. Erkek ve dişi üreme organlarını çevreleyen farklılaşmış yapraklar, sepal ve petal olmak üzere iki kısma ayrılmaktadır. Sepaller çiçeğin diğer kısımlarına destek ve koruma sağlayan kaliks kısmını; petaller tozlaşmada cezbedici olarak iş gören korolla kısmını oluşturmaktadır (Şekil 1). Çiçek yapısındaki çeşitlilik farklı tozlaşma (çiçeğin dişi organına polen taşınması) yöntemlerinin ortaya çıkmasına olanak sağlamaktadır (Yentür, S., & Cevahir-Öz, 2013).

Çiçekli bitkiler meyve üretebilme yeteneğindedir. Meyveler çiçeğin ovaryumundan gelişen yapılardır. Meyve tohumu korumaya ve yayılmasına yardımcı olmaktadır. Kapalı tohumlu bitkilerin diğer bir özelliği de zigot oluşurken çifte dölleme olmasıdır. Dölleme sırasında bir spermin yumurtayı döllemesi ile zigot oluşmaktadır. Bu sırada bir diğer sperm de dişi gametofit içinde bulunan iki nükleus ile birleşip, triploid nükleus içeren endosperm dokusunu oluşturmaktadır. Endosperm dokusunda besin maddesi birikmektedir. Bu nedenle, tohum çimlenmesinden başlayarak ilk yapraklar fotosentez yapana kadar enerji kaynağı olarak kullanılmaktadır. Örneğin, mısır ya da fasulye yendiğinde, bu bitkilerin endosperm dokuları besin olarak tüketilmektedir (Yentür, S., & Cevahir-Öz, 2013).

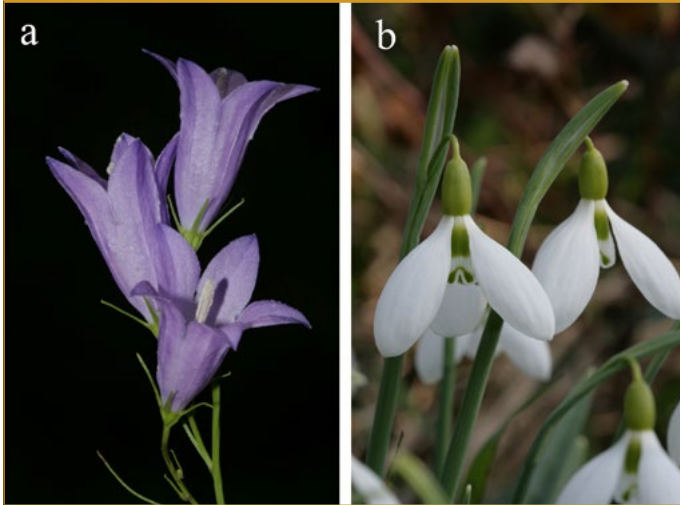
Çiçekli bitkiler endospermdeki kotiledon sayısına göre dikotil (çift çenekli) ve monokotil (tek çenekli) bitkiler olmak üzere iki gruba ayrılmaktadır. Dikotil bitkilerin tohumlarında endosperm dokusu iki kotiledon içermektedir. Bu bitkilerin en belirgin özelliği, çiçek yapılarında üreme organlarını çevreleyen kaliks ve korolla kısımlarını içermeleridir (Şekil 6a). Fasulye, ayçiçeği benzeri bitkiler dikotil bitkiler arasındadır. Monokotil bitkilerin tohumlarında ise endosperm dokusu tek kotiledondan oluşmaktadır. Bu bitkilerin büyük çoğunluğunda tuber, rizom ve soğan gibi yer altı gövdeleri bulunmaktadır. Çiçek yapısında kaliks ve korolla ayrımı yoktur. Üreme organları tepal denen farklılaşmış yapraklardan oluşan tek bir yaprak örtüsü perigon tarafından çevrelenmiştir. Mutfak soğanı, lale, kardelen, mısır ve buğday gibi bitkiler monokotil bitkiler grubuna dahildir (Şekil 6b) (Yentür, S., & Cevahir-Öz, 2013).

Çiçekli bitkiler yaşam ortamlarına bağlı olarak çeşitli adaptasyonlar geçirmiş ve türlerin sürekliliği sağlanmıştır. Örneğin, kaktüs

türleri fotosentez mekanizmalarını değiştirerek ve yapraklarını diken şeklinde indirgeyerek kurak bölgelere uyum sağlamıştır. Su mercimeği (*Lemna minor*) gibi su bitkileri suda yaşamaya adapte olmuştur. Tropik ormanlarda yaşayan orkideler topraktan bağımsız olarak epifitik şekilde ağaç kabuklarında yaşam formu geliştirmiştir. Bazı çiçekli bitkiler fotosentez ile besin üretme yeteneklerini kaybettiği için parazit (canavar otu) ya da yarı-parazit (ökse otu) olarak bir başka bitkinin üzerinde yaşamaktadır (Evert & Eichhorn, 2016).

Şekil 6

Dikotil çiçek [a]: *Campanula rotundifolia* (meryemanaeldiveni). Monokotil çiçek [b] *Galanthus plicatus* subsp. *byzantinus* (istanbulkardeleni)



Botanikçiler Tarafından Bitkiler Dışında Sınıflandırılan Gruplar

Sistematik sınıflandırmaya göre mantarlar, algler ve likenler bitkiler dışında ayrı bir grup olarak kabul edilmektedir.

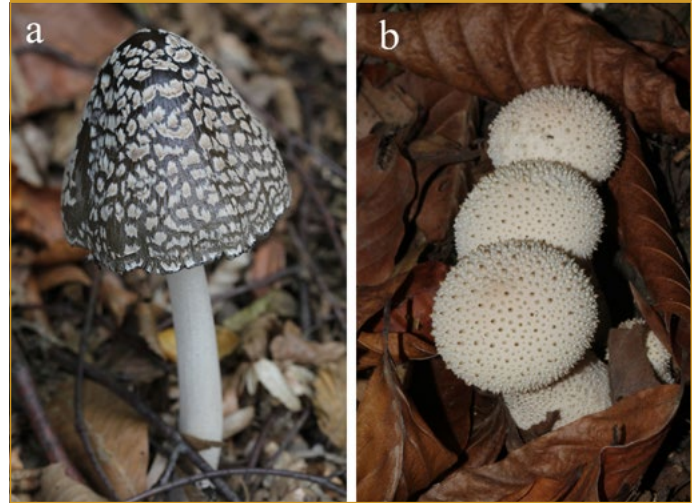
Mantarlar (Fungiler)

Mantarlar heterotrofik, belirgin iplikli yapıya sahip, kitinden oluşmuş hücre duvarı içeren ve sporlar ile üreyen makroskopik ya da mikroskopik ökaryotik organizmalardır. Mantarlar ekosistem içinde önemli rollere sahiptir. Doğada organik maddelerin ayrıştırma işlemini gerçekleştirerek, azot ve fosfat minerallerinin doğaya geri dönüşümünü sağlamaktadırlar. Ayrıca, bitkiler ile simbiyotik (karşılıklı fayda) ilişkiye girerek bitki köklerinde mikoriza denilen yapıları oluşturmakta ve bitkilere mineral madde alımını sağlamaktadırlar. Bunun yanı sıra insan yaşamı içinde, fermantasyon yapan mantarlar ekmek ve peynir yapımında kullanılmaktadır. İlaç endüstrisinde penisilin antibiyotiği *Penicillium* mantarından izole edilmektedir. Mantarlar faydalarının yanında insanlarda ve bitkilerde çeşitli hastalıklara neden olabilmektedir. Besin değeri ve lezzeti yüksek olan makro mantarlar insanlar için değerli bir gıda maddesi olarak tüketilmektedir (Şekil 7). Ancak, birçok mantar türü zehirli maddeler içermektedir. Mantar zehirlenmeleri, organ kaybı ve ölüme yol açacak kadar tehlikeli olabilmektedir. Doğal ortamda mantar türlerini birbirinden ayırt etmek oldukça zor olduğundan uzman kişiler tarafından toplanmayan mantar türlerinin yenilmesi tavsiye edilmemektedir. Türkiye’de mantar ölümcül zehirlenmelerinin büyük çoğunluğu *Amanita phalloides* (Evcik

kıran, köy göçüren) türünün tüketilmesi ile gerçekleşmektedir. Mantarların diğer zararlı etkisi, depolanmış tahıl ve baharat gibi bitki ürünlerinde aflotoksin denen ve karaciğer hasarına yol açan toksinleri üretmeleridir. Mantarların içerdiği diğer bazı bileşikler de insan sinir sistemine etki ederek halusinojenik etki gösterebilmektedir. Sihirli mantar olarak bilinen *Psilocybe* bu mantarlara örnek olarak verilebilir (Mat, 2000).

Şekil 7

Coprinus picaceus [a], *Lycoperdon perlatum* (puf mantarı) [b]



Algler

Algler, fotosentetik kloroplast içermesi, hücre duvarı bulunması, organik besin depolanması gibi özellikleri ile bitkilere benzemektedir. Karasal yaşama uyum sağlamamış olmaları, bitkilerle aralarında görülen en önemli farktır. Algler okyanus ve tatlı sular gibi sucul habitatlarda yaşamaktadır. Alglerin bir bölümü mikroskopik algler olarak bilinen, koloni şeklinde ya da tek hücreli olarak yaşayan fitoplanktonlar ve mavi-yeşil alglerdir. Heterotrofik olan bu organizmalar, okyanus ve tatlı sularda besin zincirinin ilk halkasını oluşturmaktadır. Alglerin diğer bölümü, çıplak gözle görülebilen makroskopik algler olarak tanımlanmaktadır. Makroskopik algler kahverengi, kırmızı ve yeşil algler olarak üç gruba ayrılmaktadır. Alglerin kloroplastlarında bulunan klorofil molekülü ve yardımcı pigmentler yapısal olarak bitkilerdekinden farklılık göstermektedir. Bu yardımcı pigmentler farklı renkte oldukları için algler kırmızı ve kahverengi olarak görülmektedir. Farklı renkte yardımcı pigmentlerin varlığı, ışığın çok az ulaştığı derin denizlerde farklı dalga boylarındaki enerjiyi yakalamaya yardımcı olmaktadır (Evert & Eichhorn, 2016).

Likenler

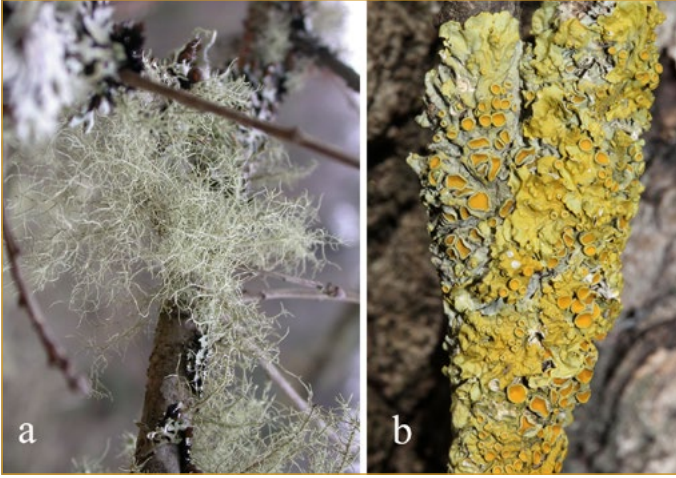
Likenler, ototrof ve heterotrof iki farklı organizmanın ortak yaşaması sonucu ortaya çıkan bir yaşam formudur. Bir mantar ile tek hücreli ya da iplikli alg ya da siyanobakteri hücrelerinden oluşmaktadır (Şekil 8). Likenin mantar bileşenine mikobiyont, alg ya da siyanobakteri bileşenine fotobiyont adı verilmektedir. Algler mantara fotosentez sonucu üretilen besin ve oksijen; mantar da alglere su ve mineral madde ile yüksek ışıktan korunma sağlamaktadır. Likenler çöl bölgelerinden arktik bölgelere kadar çok zorlu koşullarda yaşayabilmektedir. Ancak, algler bitkiler gibi

Kısım 2: Bitkilerin Gölgesindeki Sırlar: Adli Botanik ve Zehirli Bitkiler

kütikula ile kaplı yüzeye sahip olmadığı için havadaki kirlilikten doğrudan etkilenmekte ve bu nedenle likenler şehirleşmenin fazla olduğu yerlerde sınırlı yayılış göstermektedir. Likenler kayalar ve ağaç dallarının yüzeylerinde yavaş büyüyerek uzun yıllar yaşayabilmektedir. Kuraklık gibi stres koşullarında dormant hale geçebilmekte, uygun koşullar oluşana kadar alg fotosentezi durdurmakta ve mantar algî kurumaya karşı koruyabilmektedir. Likenlerin radyoaktif maddeleri biriktirme özelliği de vardır. Çernobil kazasından sonra komşu ülkelerde likenlerin çok fazla radyoaktif madde içermeleri, liken ile beslenen ren geyiklerinin etinde ve sütünde yüksek oranda radyoaktif madde bulunmasına

Şekil 8

Liken örnekleri *Usnea* sp. [a], *Xanthoria* sp. [b]



sebeptir (Evert & Eichhorn, 2016).

Yasal Soruşturmalarda Botanik Kanıtların Kullanılması

Bitkilerin adli bilim alanındaki potansiyel faydalarını anlamak için yaygın kullanım alanlarını incelemek gerekir. Pamuk ve keten gibi bitkiler, tekstil endüstrisinde önemli bir yer tutmaktadır. Ayrıca, eski dönemlerden beri bitkilerin zehir ve tedavi amaçlı kullanımı oldukça yaygındır. Adamotu, güzelavrat otu, zehirli baldıran en yaygın bilinen zehirli bitkilerdendir. Bununla birlikte, birçok bitkiden elde edilen bileşikler ilaç endüstrisinde kullanılmaktadır. Örneğin, *Colchicum* (acı çiğdem) (Şekil 9a) türlerinden elde edilen kolşisin ve *Papaver* (haşhaş) (Şekil 9b) türlerinden elde edilen morfin ilaç hammaddesidir. Son yıllarda bitki kaynaklı gıda takviyelerinin kullanımı da önem kazanmıştır. *Ginkgo biloba* (mabet ağacı) yapraklarından elde edilen yaprak ekstraktları hafızayı güçlendirmeye yardımcı olmaktadır. Çörek otu tohumundan elde edilen yağ, alerji semptomlarının giderilmesinde kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra, bitkilerin salgıladıkları uçucu bileşikler, şampuan, sabun, kozmetik ve parfüm endüstrisinde önemli bir yere sahiptir. Ayrıca, park ve bahçelerin peyzajında, mobilya ve inşaat alanlarında da bitkilerin yaygın kullanımı görülmektedir. Bu hammaddelerin herhangi birinin kullanıldığı yapıların kanıt olarak bulunması, adli bir vaka için önemli ipuçları sağlamaktadır (Coyle, 2005).

Kişisel suçlarda botanik kanıtların tanımlanmasının yanı sıra yetiştirilmesi, kullanılması ve satılması yasak olan bitkilerin tanımlanması da adli soruşturmalarda bakımından büyük önem

Şekil 9

Colchicum micranthum (a) (acı çiğdem); *Papaver somniferum* (b) (haşhaş)



taşımaktadır. Yetiştirilmesi yasal olarak suç sayılan bitkilere, uyuşturucu elde edilen kenevir ve haşhaş ile istilacı tarımsal yabancı otlar örnek olarak verilebilir. Bu nedenle ülkelerin giriş noktalarında tohum, yaprak gibi bitki parçalarının tanımlanması önem kazanmaktadır (Hall & Byrd, 2012).

Bitki kanıtları, birçok suç olayında gerçeğin ortaya çıkmasında büyük katkı sağlamaktadır. Bitkilerin habitatları (yaşam alanları) ve yaşam döngüleri bir bölgeye veya alana göre özgünlük içerebilmektedir. Bu nedenle nesnelere veya kişiler, bitki kanıtları ile belli bir konuma bağlanabilmektedir. Örneğin, bir aracın altında ya da giysi üzerinde bulunan bitki parçaları, suçun yeri ile ilişkilendirilebilir. Ayrıca bu kanıtlar, aracın veya kişinin daha önce nerede olduğunu da gösterebilir. Suçla ilgili hareketi göstermek için çeşitli konular birleştirilebilmekte; sonuç olarak kurbanlar ve şüpheliler kolayca bir suç mahalline bağlanabilmektedir (Hall & Byrd, 2012).

Bitkiler bir olayın ne zaman meydana geldiğine dair bir gösterge verebilmektedir. Bitkiler yaşam döngülerini vejetatif (büyüme evresi) ve generatif (çiçeklenme evresi) olmak üzere iki aşamada tamamlamaktadır. Bitkilerin yaşam döngüleri tek yıllık (annual), iki yıllık (biannual) ve çok yıllık (perennial) olarak üç gruba ayrılmaktadır. Fasulye, domates, mısır gibi tek yıllık bitkiler tek mevsimde tohumdan çimlenerek büyümekte ve çiçeklendikten sonra tohum üreterek yaşam döngüsünü tamamlamaktadır. Çuha çiçeği gibi iki yıllık bitkiler, birinci yıl büyüme evresini geçirip ikinci yıl çiçek açarak tohum üretimini sağlamaktadır. Birçok ağaç türünde olduğu gibi her mevsim çiçek ve tohum üreten bitkiler de çok yıllık yaşam döngüsüne sahiptir. Bununla birlikte, çok yıllık bazı bitkiler yaşam döngüsünde bir kez çiçeklenip meye verir ve ölürlür. Örneğin, yüz yıl bitkisi (*Agave americana*) 10-30 yıl vejetatif büyümeyi takiben çiçeklenmekte, meyve verdikten sonra tohum oluşturarak yaşam döngüsünü sonlandırmaktadır. Ayrıca, bitkiler mevsim ve iklim özelliklerine göre de morfolojik ve anatomik farklılıklar göstermektedir. Örneğin, kış mevsiminde ağaçlar yapraklarını dökmektedir. İlkbahar mevsiminde bitkide yeni sürgünler oluşmaktadır. Ağaçların odun dokusunda iletim sisteminin birikimi ile oluşan yaş halkalarının anatomik yapıları da ilkbahar ve sonbahar mevsiminin iklim özellikleri hakkında bilgi vermektedir (Şekil 10). Odun dokusunda bulunan bir yaş halkası ağacın bir yaşına karşılık gelmektedir. Böylece mezar üzerinde ya da iskeletten büyüyen dal parçasındaki yaş halkaları sayılarak tahmini ölüm zamanı belirlenebilmektedir (Taiz vd., 2019).

Olay yerinde bitkilerin hareketleri kanıt olarak kullanılabilir. Bitkiler hareketsiz canlılar olarak bilinmekle beraber, çeşitli uyartılara karşı tropizma (yönelme) hareketleri gösterebilmektedir. Örneğin, ayçiçeği tarlalarında, çiçeklerin güneşe doğru yönelmesi ışığa yönelme (fototropizma) olarak tanımlanmaktadır. Fotosentez yapan bitki organları ışığa doğru yönelirken, kök organı ışıktan kaçan bir hareket göstermektedir. Bitki gövdeleri yerçekimine zıt yönde hareket ederken (negatif geotropizma), kökler yerçekimi ile aynı yönde hareket etmektedir (pozitif geotropizma). Bir bitki gövdesini yan yatırdığınızda, bir süre sonra gövde yerçekimini algılayarak, dik bir şekilde büyüme göstermektedir. Bazı bitkiler dokunma uyartısına karşı da hareket etmektedir. Örneğin küstüm otu yaprakları, dokunma uyartısına cevap olarak kapanmaktadır. Böcek kapan bitkilerde çiçek içine böcek geldiğinde yapraklarını kapatarak, böceğin kaçmasını engellemektedir (Taiz vd., 2019).

Şekil 10
Odun dokusunda yaş halkaları



Bitki Kanıtlarının Toplanması ve Saklanması

Olay yerinde kanıt toplama sırasında, bitki örnekleri toplanmadan önce bitkinin yaşadığı habitatın özellikleri, bulunduğu bölgenin iklim bilgisi, çiçek ve yaprak rengi ve özellikleri, boyu, meyve özellikleri gibi kurduğunda kaybolacak karakterleri mutlaka kayıt altına alınmalıdır. Bitki delilleri kurutulmadan önce, olay yerinde gözlenen fiziksel özelliklerinin fotoğraf ile belgelenmesi çok önemli bir yöntemdir. Bitkilerin toplam biyokütlesinin büyük bir kısmını su oluşturduğu için topraktan koparılan bitkilerde su kaybı ile birlikte solma, klorofil kaybı ve yapıda bozulma gerçekleşmektedir. Bitkiler uygun koşullarda kurutulduklarında morfolojik karakterlerini kaybetmediklerinden uzun yıllar boyunca saklanabilmektedir. Botanikçiler bitki örneklerini presleme denilen bir teknik ile kurutarak saklamaktadır. Olay yerinden toplanan bitki örnekleri, içinde kurutma kağıtları bulunan iki tahta blok arasında morfolojik tüm karakterleri (kök, yaprak, gövde, çiçek, meyve ve tohum) belirgin olacak şekilde sıkıştırılmalı ve suyunu kaybetmesi sağlanmalıdır. Bitki tamamen kuruyana kadar kurutma kağıtları düzenli olarak değiştirilmelidir. Kuruyan bitki örneklerinin tür tanımı yapılmalıdır. Kurutulmuş bitki örnekleri, künyesini oluşturan lokasyon, toplayıcı, taze haldeki özellikleri ve tür tanımı içeren etiketleri ile herbaryumlarda saklanmalıdır (Şekil 2.1.2) (Coyle, 2005; Hall & Byrd, 2012).

Bitki Kanıtlarının Tanımlanması

Olay yerinden delil olarak toplanan bitki materyallerinin cins ve tür tanımlanması, olayın geçtiği ülkenin flora bilgisini içeren kaynakları kullanarak yapılabilir. Bu tanımlamanın en doğru sonucu vermesi için uzman bir botanikçi tarafından yapılması gerekmektedir. Bunun yanı sıra bütünlüğünü koruyamamış bitki kanıtlarının tanımlanmasında, genetik bilginin ve teknolojinin uygulama alanlarından da sıklıkla yararlanılmaktadır. Tüm bitki karakterlerinin bulunmadığı durumlarda, bitki DNA'sı bitkinin kimliğini belirlemeye yardımcı olmaktadır. Bitkisel örneklerin kanıt olarak kullanılmasında genetik araçlar büyük ölçüde veri oluşturmaktadır. Bütün organizmalarda genetik materyali oluşturan DNA tüm yaşam için (RNA virüsleri hariç) evrenseldir. Bu sayede DNA tüm canlıları birbirine bağlamakta, aynı zamanda DNA'nın değişimine neden olan mutasyonların tarihini de kaydetmektedir. Genomun bazı bölümleri diğerlerinden daha hızlı değiştiği için bilim insanları genomun farklı bölgelerini kullanarak farklı düzeyde karşılaştırma yapabilmektedir. Genetik analizler ile tür tanımlanması yapılarak materyalin orijini belirlenebilmekte ve iki örnek arasında genetik kimliklendirme yapılabilir (Hall & Byrd, 2012).

DNA Analizi İçin Örnek Tipleri ve Örneklerin Toplanması

Genetik analiz yöntemlerinde tüm bitkisel dokular kullanılabilir. Adli soruşturmalarda tüm bitki parçaları daha sonra değerlendirilmek üzere toplanmaktadır. Genetik analizler için genellikle yaprak kullanılmaktadır. Taze yaprakla çalışılacaksa çürük, enfeksiyon içeren ve böcek izi olmayan sağlıklı yapraklar tercih edilmelidir. Bu tür çalışmalarda en az 0,1 gr taze yaprak örneği toplanmalıdır. Genetik analiz öncesi yaprak örneği akan suyun altında gerekirse deterjanlı su ile yıkanmalıdır. Taze yaprak örneğinin bulunmadığı durumlarda kurumuş örneklerden de genetik materyal izolasyonu yapılabilir. Canlı ve kurumuş çiçek dokuları ile çürüyen odun dokusunda da DNA izolasyonu mümkün olmaktadır. Ancak odun dokusu, lignin, suberin gibi sekonder kalınlaşmaya neden olan polisakkaritleri içerdiğinden DNA elde etmek zorlaşmakta ve elde edilen miktar diğer dokulara göre daha düşük olmaktadır. Tohum, meyve ve kök dokularından da DNA izolasyonu yapılabilir. Özetle, tüm bitkisel dokular DNA izolasyonu için kullanılabilir (Zaya & Ashley, 2012). Ancak başarılı bir izolasyon için dokunun yaşı, durumu ve orijinal DNA içeriğine katkısı göz önünde bulundurularak uygun doku seçimi yapılmalıdır. Genetik analiz için bitkisel örnekleri silika jel içinde kurutma işlemi örneklerin korunması bakımından çok önemlidir (Coyle, 2005). Örnekten nemin alınması, hücresel bileşenleri parçalayacak olan enzimlerin çalışmasını engellemektedir. Kurumuş örnekler mantar enfeksiyonuna karşı hassas olduğu için numune olarak alınan yaprak örneği kilitli plastik bir torbada üzerine birkaç gram silika jel eklenerek saklanabilir. Silika jel bitki örneğindeki nemi aldıkça renk değiştirmektedir. Bitkisel örnekten nem tamamen uçana kadar silika jel değiştirilmelidir. Silika jelde kuruyan materyal oda ısısında saklanabilmektedir. Kurumuş örneklerden DNA izolasyonu çok uzun yıllık herbaryum örneklerinde (150 yıllık), arkeolojik alanlarda elde edilen tohumlardan, hatta fosil örneklerden de yapılmıştır (Hall & Byrd, 2012). Öte yandan, bitkisel örnekleri sıvı azot içinde dondurarak -80 °C'lik dolaplarda saklamak da DNA izolasyonu için kullanılan yöntemlerdendir.

Bitki Kanıtlarının DNA Analizleri

Bir bitki türünün morfolojik ve anatomik olarak tanımlanması mümkün olmadığında DNA dizilerini kullanarak tür teşhisi yapmak mümkündür. Bitki genomunun belirli bir bölümündeki DNA bazlarının sırasındaki benzerlikler ve farklılıklar tür tanımlamada kullanılmaktadır. DNA barkodlama sistemi, standartlaştırılmış bir DNA bölgesi setinin sıralandığı ve bilinen örneklerin bir veritabanında karşılaştırılması sonucunda bilinmeyen bir örneğin (genellikle türlere göre) tanımlandığı hızla gelişen bir alandır (Cheng-Lung vd., 2020). Bitkilerde DNA barkodlama çalışmalarında yaygın olarak ribozomal genleri kodlayan ITS (Internal Transcribed Spacer) ve kloroplast genomundaki diziler tercih edilmekle birlikte *rbcL*, *matK*, *trnH-psbA* gibi gen bölgeleri de kullanılmaktadır (Cheng-Lung vd., 2020). Bir DNA barkodlama süreci; örnekten DNA'nın ekstraksiyonu, korunmuş bölgeleri içeren bölgelerin ilgili primerler ile PCR amplifikasyonu, bu bölgelerin Sanger sekans ile dizilenmesi, elde edilen dizilerin NCBI (National Center for Biotechnology Information GenBank database) gibi uluslararası veri tabanlarında tanımlanması işlemlerini içermektedir.

Adli botanikte kanıt olarak bitki örneklerinin tür teşhisini yapmak kadar, bitki türlerinin hangi popülasyondan geldiğini belirlemek de büyük önem taşımaktadır (Lee vd., 2020). DNA dizi polimorfizmine dayanan genetik analizler ile bitki örneğinin popülasyon orijini ve iki bitki örneğini arasındaki genetik benzerlik tanımlanabilmektedir. Bir bitki örneğinin orijini olan popülasyonu ve yayılış gösterdiği bölgenin belirlenmesinde RFLP (Sınırlı Parça Uzunluk Polimorfizmi), AFLP (Çoğaltılmış Parça Uzunluk Polimorfizmi), SNP (Tek Nükleotid Polimorfizmi) ve mikrosatellit gibi DNA markör yöntemleri sıklıkla kullanılmaktadır. Hangi markör sisteminin kullanılacağı, bitki türlerinin genetik özelliklerine göre değişmektedir. Moleküler markör teknikleri genom içinde belli bir DNA parçasındaki farklılıkları ortaya çıkarmak için kullanılan polimeraz zincir reaksiyonuna dayanan genetik çeşitlilik belirlenmesini kolaylaştıran bir yöntemdir (Filiz ve Koç, 2011). Herhangi bir DNA markör sistemi seçiminde, yakın akraba olsalar bile bireyleri ayırt etmek için bir popülasyonda yeterince değişken olacak markörlerin seçilmesi kritik önem taşımaktadır. Adli tıp uygulamalarında bitki DNA'sının yaygın olarak uyuşturucu madde yapımında kullanılan *Cannabis sativa* örneklerinin tanımlanmasında kullanılmasıdır (Coyle, 2005). Diğer uygulamaları şüpheli ile suç mahallini bağlamak için fiziksel kanıt üretmek için bitki DNA profilinin kullanılmasıdır. Örneğin, cinayet mahali ve şüphelinin aracında bulunan Palo Verde ağacının (*Cercidium* sp.) tohum kabukları, RAPD markör tekniği ile genetik profil eşleştirilmesi yapılarak kanıt olarak kullanılmıştır (Craft vd., 2007).

Adli Botanikte Vaka Çalışmaları

Kanıt olarak bitkilerin kullanılması "bir kişi ile nesne", "bir kişi ile olay yeri", "bir şüpheli ile mağdur" arasında bağlantı kurulmasına yardımcı olmaktadır. Biyolojik kanıtın az ya da yetersiz olduğu durumlarda, mikroskopik polen taneleri veya gözden kaçan küçük tohumlar olayların çözümünde önem kazanmaktadır (Coyle, 2005). Bitkilerin biyolojik kanıt olarak kullanılabileceği örnek olaylar:

- Cinsel saldırıdan sonra elbisede çimen lekeleri
- Cinayet mahallinde esrar örnekleri
- Bitkinin yetiştirme ortamı referans alınarak bir bitki örneğinden coğrafi profil oluşturma

- Bir aracın altından toplanan yaprak gibi bitki parçaları ile kurbanın cesedinin atıldığı ikincil bir olay yerinin belirlenmesi
- Hırsızlık olaylarında, olay yerinden kaçan bir hırsızın pantolonuna takılan tohumlar
- Ölüm zamanını desteklemek için kurbanın bitkisel maddeler içeren mide içeriğinin belirlenmesi
- Toplu mezarda iskelet kalıntılarının gömülme mevsimini gösteren polenlenme süreci

Vaka çalışması-1: Bir kadın nemli özellikte ormanlık alanda cinsel saldırıya uğramıştır. Olay yeri etrafındaki bitki örtüsü örneklendirilmiştir. Mağdurun ifadesine göre olayda kullanılan battaniye bulunmuştur. Şüphelinin ifadesine göre battaniye ailesi tarafından piknik yapmak için çimenlik bir ortamda kullanılmıştır. Battaniye üzerinden toplanan tohum ve çiçek parçaları incelenmiştir. Battaniye üzerinden alınan bitki materyallerinin bir kısmı, olay yerinden toplanan bitki örnekleri ile uyum sağlamıştır. Olay yerinde toplanan bitkiler nemli bir ortamda yetiştikleri için, çimenlik kuru ortamdaki bitkilerden farklılık göstermiştir. Olayda; (i) bitkilerin boy uzunluğunun nemli bir ortamda yetiştiklerini göstermesi, (ii) bitki çeşitliliğinin nemli bir ortamda daha fazla olması, (iii) battaniye ve olay mahallindeki bitki örneklerinin eşleşmesi bitki kanıtlarının olay çözümlenmesinde kullanılması örnek olarak verilmiştir (Hall & Byrd, 2012).

Vaka çalışması-2: Washington Eyaletinde 14 yaşında bir kız çocuğu kaybolmuştur. Kız çocuğu en son kendinden 10 yaş büyük bir erkek ile görülmüştür. Kapsamlı bir arama sonucu kızın kaybolması ile ilgili hiçbir kanıt bulunmamıştır. Kızın kaybolmasından iki gün sonra, şüpheli tutuklanmıştır. Şüphelinin tutuklanmasından sonra kızın cesedi evinin yakınında çimenlik alanda haliya sarılı halde bulunmuştur. Cesedin ne kadar zamandır halıda sarılı halde olduğunu bulmak için adli botanik uzmanından yardım istenmiştir. Cesedin sarılı olduğu hal çimenlerde renk değişikliğine neden olmuştur. Olay yerindeki çimen örtüsü güneş ışığına maruz kalmadığı için klorofil yıkımı gerçekleşmiştir. Adli botanik uzmanı, klorofil yıkımı ile kaç günde olaydaki renk değişikliğine ulaşacağını belirlemek için bir deney tasarlamıştır. Deneyde, olay yakınındaki çimenlik alana 30 adet çöp kutusu yerleştirmiştir. Çöp kutuları olaydaki cesedin sarılı olduğu hal ile benzer yapıda tasarlanmıştır. Her gün bir çöp kutusunu kaldırıp, çimenlik alanın fotoğrafını çekmiştir. Yedinci günde gözlenen klorofil kaybı, vaka bulunduğunda çimenlik alanın görüntüsü ile eşleşmiştir. Böylece cesedin hali içinde atıldıktan yedi gün sonra bulunduğu belirlenmiştir (Hall & Byrd, 2012).

Vaka çalışması-3: 2011 yılının temmuz ayında, yol bakım çalışması sırasında, bir ana yola bitişik ekilmemiş bir alanda insan iskelet kalıntıları bulunmuştur. İlk olarak yerel bitki örtüsü ve insan kalıntılarında elde edilen örnekler arasında karşılaştırmalı bir analiz yapmak için bir örnekleme stratejisi uygulanmıştır. Kurbanın kafatasında, sağ akustik deliğe giren büyük bir kökün varlığı tespit edilmiştir. Kurbanın sol ayakkabısının altında diken türüne ait *Rubus* sp. bulunmuştur. Aynı şekilde, sağ ayakkabı ve ayakkabının delikleri boyunca gelişen ve tüm ayakkabıyı sıkıca çevreleyen bir *Phytolacca americana* kökü saptanmıştır. Saptanan örneklerin incelenmesi sonucunda, omur tarafındaki köklerin 1 yıllık gelişim, sol ayakkabıda bulunan örneğin 3 yıllık büyüme ve sağ ayakkabıdaki köklerin ise 6 yıllık bir gelişimsel büyüme gösterdiği bulunmuştur. Elde edilen sonuçlar ölüm sonrası geçen zaman (PMI, Post-mortem interval) tahmininde kullanılmış ve cesedin 2003 yılında kaybolan bir adama ait olduğu saptanmıştır (Hall & Byrd, 2012).

Sonuç

Bitkilerin her yerde bulunması, adli bilimlerde destekleyici kanıt olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır. Bir adli vakada botanik kanıtların tanımlanması, coğrafi kökenini belirlemek, olay yeri ve bireyler arasında bağlantı kurmak, mazeretlerin test edilmesi, bulundurulması ve ticareti yasaklanmış bitki türlerinin tespit edilmesi gibi olayların çözümlenmesine yardımcı olmaktadır. Bu nedente, Adli Botanik bölümünde adli bilimler ile ilgilenen bilim insanlarına temel bitki konularını anlamaya yönelik cevaplar verilmiştir. Bu bölüm kapsamında, bitkinin tanımı ve sınıflandırılmasının yanı sıra yasal soruşturmalarda bitkilerin kanıt olarak kullanılması açıklanmıştır. Ayrıca, bir bitkinin morfolojik özellikleri ile tanımlanmasına ek olarak, DNA barkodlama ve DNA markör yöntemleri ile tür özelliklerinin ve popülasyon benzerliğinin belirlenmesi vurgulanmıştır.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declare that there are no competing interests

Kaynaklar

- Cheng-Lung L, Yi-Hsin Huang, Ian C. Hsu, vd. (2020). Evaluation of plant seed DNA and botanical evidence for potential forensic applications. *Forensic Sciences Research*, 5(1), 55-63. [Crossref]
- Coyle H.M. (2005). Forensic botany: principles and applications to criminal casework. *CRC Press*, Boca Raton, Florida.
- Craft K.J., Owens J.D., & Ashley M.V. (2007). Application of plant DNA

markers in forensic botany: Genetic comparison of Quercus evidence leaves to crime scene trees using microsatellites. *Forensic Science International*, (165), 64-70. [Crossref]

Evert, R.F., & Eichhorn, S.E. (2016). *Raven bitki biyolojisi*. Çeviri Ed. İsmail Türkan. Palme Yayınları, Ankara.

Ferri G, Alù M, Corradini B, & Beduschi G. (2009). Forensic botany: species identification of botanical trace evidence using a multigene barcoding approach. *International Journal of Legal Medicine*, (123), 395-401. [Crossref]

Filiz E., & Koç İ. (2011). Bitki Biyoteknolojisinde Moleküler Markörler. *GOÜ, Ziraat Fakültesi Dergisi*, 28(2), 207-214.

Flower - Parts and Functions. BYJU'S. <https://byjus.com/biology/flower/>

Graham, L.E., Graham, J.M., & Wilcox, L.W. (2004). *Bitki biyolojisi*. Palme Yayınları, Ankara.

Hall, D.W., & Byrd J. (2012). *Forensic botany : a practical guide*. Wiley-Blackwell, UK. [Crossref]

Herbarium catalogue. Royal Botanic Garden Edinburgh. <https://data.rbge.org.uk/search/herbarium/>

Lee C-L, Huang Y-H, Hsu I.C. & Lee H.C. (2020). Evaluation of plant seed DNA and botanical evidence for potential forensic applications. *Forensic Sciences Research*, 5(1), 55-63. [Crossref]

Margiotta, G., Bacaro, G., Carnevali, E, vd. (2015). Forensic botany as a useful tool in the crime scene: Report of a case. *Journal of Forensic and Legal Medicine* (34), 24-28. [Crossref]

Mat A. (2000). *Türkiye'de mantar zehirlenmeleri ve zehirli mantarlar*. Nobel TıpYayınları.

Simpson M.G.(2012). *Bitki Sistematiği*. Çeviri Ed. Zeki Aytaç. Nobel Akademik Yayınevi, Ankara.

Taiz L., Zeiger E., Moller I.M., vd. (2019). *Bitki fizyolojisi ve gelişimi*. Çeviri Ed. İsmail Türkan. Palme Yayınları, ISBN 978-605-282-283-8, Ankara.

Yentür, S., & Cevahir-Öz, G. (2013). *Bitki anatomisi*. İstanbul Üniversitesi Fen Fakültesi Yayınları, İstanbul.

Yıldız, B., & Aktoklu, E. (2012). *Bitki sistematiği ilkin karasal bitkilerden bir çeneklilere*. Palme Yayınları, ISBN 978-605-582-986-5, Ankara.

Zaya D.N., & Ashley M.V. (2012) Plant Genetics for Forensic Applications. In: Sucher N., Hennell J., Carles M. (eds) *Plant DNA Fingerprinting and Barcoding. Methods in Molecular Biology (Methods and Protocols)*, vol 862. Humana Press. [Crossref]

BÖLÜM 2

ADLİ BİLİMLERDE ZEHİR VE/VEYA PSİKOAKTİF MADDE İÇEREN BİTKİLER VE MANTARLAR

Beril ANILANMERT
Fatma ÇAVUŞ YONAR

Adli Bilimlerde Zehir ve/veya Psikoaktif Madde İçeren Bitkiler ve Mantarlar

Plants and Mushrooms Containing Toxins and/or Psychoactive Substances in Forensic Sciences

BÖLÜM HAKKINDA

Toksinler, bitkilerin/mantarların kendilerini tehditlere karşı savunmak için ürettiği metabolitlerdir. Bitkilerde bulunan başlıca zehirli maddeler alkaloidler, kardiyak ve siyanojenik glikozitler, diterpenler, oksalatlar, proantosyanidinler, fenilpropanoidler, flavonoidler, tanenler, lignanlar, nitrojen içeren bileşikler, reçineler ve bazı proteinler veya amino asitler gibi organik bileşiklerdir. Bu toksik ikincil metabolitlerin doğası, farklı menşei yerleri ve çevresel koşullara göre değişebilmektedir. Bazı bitki/mantar toksinlerine maruz kalmak hastalıklara ve ölümlere neden olabilmektedir.

Bazı zehirli bitkiler/mantarlar; insanlar ve hayvanlar üzerindeki olumsuz etkilerine rağmen, tıbbi ve nutrasötik potansiyele sahip olup yaşamı tehdit eden bazı hastalıkları dahi tedavi edebilecek faydayı sağlayabilmektedir. Doğrudan zehirlenme vakalarına ilaveten, zehirli bitki/mantarların şifalı bitkilerle kazara karıştırılması da istenmeyen durumların gözlenmesine neden olabilir. İntihar, hırsızlık vb. suçlarda silah olarak kullanılabilen türlerin yanısıra, olay yerinde tespit edilen bitki ve mantar emareleri delil niteliği taşıdığından adli öneme sahiptir. Bu bölümde adli botanik ve adli farmakognosi perspektifinden zehirli bitkiler ve mantarlar ele alınmaktadır. Zehirli bitkilere ve mantarlara ilişkin spektrum çok geniş olup, bu yazı hafif ve ağır zehirlenmelere sebep olan ve bilinmesi gereken en temel bitki ve mantar türlerini, içerdikleri toksinler/psikoaktif maddeler ve zehirlenme belirtilerini sunmayı amaçlamaktadır.

Anahtar kelimeler: Zehirli bitkiler ve mantarlar, kazara ve kasıtlı zehirlenme, bitkisel ilaçlar ve çaylar, psikoaktif bileşenler, toksik alkaloid ve glikozidler

ABOUT the CHAPTER

Toxins are metabolites produced by plants/fungi to defend themselves against threats. The main toxic substances found in plants are organic compounds such as alkaloids, cardiac and cyanogenic glycosides, diterpenes, oxalates, proanthocyanidins, phenylpropanoids, flavonoids, tannins, lignans, nitrogen-containing compounds, resins and some proteins or amino acids. The nature of these toxic secondary metabolites may vary according to different places of origin and environmental conditions. Exposure to some plant/fungal toxins can cause illness and death.

Some poisonous plants/mushrooms (despite its negative effects on humans and animals) have medicinal and nutraceutical potential and can even provide benefits that can treat some life-threatening diseases. In addition to direct poisoning cases, accidental mixing of poisonous plants/mushrooms with medicinal plants may also cause undesirable situations.

In addition to the species that can be used as weapons in crimes as suicide, theft, etc., plant and fungal traces detected at the scene have forensic importance as evidences. In this chapter, poisonous plants and mushrooms are discussed from the perspective of forensic botany and forensic pharmacognosy. The spectrum of poisonous plants and mushrooms is very wide, and this article aims to present the most basic types of plants and mushrooms that cause mild and severe poisoning that should be known, the toxins/psychoactive substances they contain and the symptoms of poisoning.


Keywords: Poisonous plants and mushrooms, accidental and intentional poisoning, herbal medicines and teas, psychoactive components, toxic alkaloids and glycosides

Giriş

Bitki ve mantar zehirlenmeleri genellikle; tıbbi amaçlı kullanılan bir bitki ya da mantarın terapötik dozun üzerinde alınması, yerine benzer zehirli bir türünün kullanılması, gıda olarak tüketilen bitkilerin (maydanoz yerine yanlışlıkla baldıran yaprağının yenmesi) zehirli olanlarının toplanıp yenmesi gibi durumlarda, zehirsiz mantar yerine zehirli türlerinin toplanarak yenmesi, çocuk düşürmek veya intihar amacıyla zehirli bitkilerin kullanılması, bitkinin meyve, kök, tohum, yumru, sürgün vb. gibi organlarının zehirli olduğu bilinmeksizin özellikle çocuklar tarafından yenmesiyle gerçekleşir. Hem kasıtlı hem de kaza sonucu ölüm için kullanılan baldıran otu, kurtboğan, belladonna (ölümcül it



Beril Anılanmert 

Fatma Çavuş Yonar 

İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü, Fen Bilimleri Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-posta: beril.anılanmert@iuc.edu.tr
fatma.cavus@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Anılanmert, B., Çavuş Yonar, F. (2024). Adli bilimlerde zehir ve/veya psikoaktif madde içeren bitkiler ve mantarlar. G. Fitoğlu & Ö. Bülbül (Ed). *Adli biyoloji: Doğanın izleriyle adaletin peşinde I* içinde (s. 45-60). İstanbul: İÜC Üniversitesi Yayınevi.



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

üzümü), tütün (nikotin), nux vomica ağacı (strychnine), yüksük otu (digitalis) ve hint fasulyesi (risin) gibi zehirli bitkilerin listesi oldukça uzundur (Coyle, 2004).

Bitki biliminin geçmişte çok az ilgi gören, ancak özellikle adli bilimlerde yararlı olabilecek çeşitli yönleri bulunmaktadır (Bock vd., 2016). Bitkilerin delil değeri olabilmesi için önce çok yönlü [bitki isimleri, anatomi (bitki hücreleri), morfoloji (bitki yapıları), ekoloji (çevredeki organizmalar)] eğitim ve deneyimine sahip, mümkünse de eczacılık, kimya ve genetik (DNA) bilgileriyle de eğitimi desteklemiş botanikçi tarafından yorumlanmalıdır (Hall vd., 2012). Tüm botanikçiler böyle bir eğitime sahip değildir. Genellikle psikoaktif bitkilerin bir kısmı hariç kolluk kuvvetlerinin eğitiminin dışında olup, konunun uzmanlarına sıklıkla ihtiyaç duyulur.

Psikoaktif madde, kullanıcılarda stimulan, hipnotik, halüsinojen, sedatif etkiler meydana getiren maddelerdir (Lande, 1962). Bazı zehirli bitki ve zehirli mantarların da içerisinde yer aldığı bu maddeler, merkezi sinir sistemini (MSS) dolayısıyla beyni etkileyerek algıda, ruh hâlinde, bilinç durumunda ve davranışta geçici değişikliklere neden olurlar. Yerli ve ulusal yönetmelikler, esrar gibi psikoaktif etkili bitkilerin bulundurulmasını, üretimini, ekimini, kullanımını, nakliyesini, kabul edilmesini veya ticaretini yasaklamıştır (Berber, 2021). Bu sebeple psikoaktif etkili zehirli bitkilerin delil olarak bulunduğu olaylarda, kolluk kuvvetleri, olay yeri inceleme uzmanları ve adli bilimcilere olay yerinde bulunan bitkilerin tanımlanmasında önemli sorumluluklar düşmektedir.

Zehirli bitkiler, etkilerine göre şu şekilde sınıflandırılabilir: Kardiyak etkililer, antikolinergikler, santral sinir sistemi (SSS) etkililer, lokal iritanlar, kemik iliği baskılayıcılar, hepatotoksikler, mineralokortikoid etkililer, hipoglisemikler, siyanojenikler, antikoagülan etkililer. Ayrıca; biyolojik olarak farklı aktif fitokimyasallar arasında sinerjizm, antagonizma veya kimyasal reaksiyon da meydana gelebilmektedir (alkaloidler, glikozitler, terpenoidler), ve bu sebeple bilinmeyen etkiler de görülebilir. Bu etkileşimlerin sağlığa yararı veya zararı olabilir (Alotaibi vd., 2021). Bu fitokimyasallardan bazıları geniş bir güvenlik aralığına sahiptir. Biyolojik fonksiyonu olumsuz etkilemezler, ancak düşük terapötik indekse sahip ya da doğrudan zarar verici bileşenler içeren bitkiler konusunda ise dikkatli olunmalıdır. Zehirli bitkiler akut (etkisini hızlı bir şekilde gösterir) veya kronik (uzun süreli maruziyet sonrasında etki gösterir) toksisite gösterebilmektedir. Farklı bitkiler doğal olarak alkaloidler, glikozitler, proteinler, terpenler ve steroidler gibi çeşitli bileşenler üretmektedir. Bazı bitkiler ve bileşenleri aşırı derecede toksik olabilir, bu nedenle bilinçsizce tüketiminden kaçınılmalı veya tıbbi gözetim altında kullanılmalıdır (Salem vd., 2021). Bitki ile zehirlenme vakaları, yanlışlıkla veya planlı bir kriminal davranışın sonucu olarak ortaya çıkabilir (Bock vd., 2016). Hem modern hem de geleneksel tıpta; bitkisel ürünler ciddi tıbbi hastalıkları tedavi etmek için de kullanılır. Bu bitkilerin dozunun ayarlanmaması, aynı sentetik ilaçlarda olduğu gibi, kazayla zehirlenmeler, hatta ölüme sebep olabilir. Bitkilerle zehirlenmeler; yıllara, maruziyet şekline ve bitki kısımlarına bağlı olarak değişebilmektedir.

Psikoaktif madde, merkezi sinir sistemine etki ederek stimulan, hipnotik, halüsinojen veya sedatif etkiler meydana getiren maddelerdir (Lande, 1962). Bazı zehirli bitki ve zehirli mantarlarda da bulunabilen bu maddeler, algıda, ruh hâlinde, bilinç durumunda ve davranışta geçici değişikliklere neden olurlar. Yerli ve ulusal

yönetmelikler, esrar gibi psikoaktif etkili bitkilerin bulundurulmasını, üretimini, ekimini, kullanımını, nakliyesini, kabul edilmesini veya ticaretini yasaklamıştır (Berber, 2021). Bu sebeple psikoaktif etkili zehirli bitkilerin delil olarak bulunduğu olaylarda, kolluk kuvvetleri, olay yeri inceleme uzmanları ve adli bilimcilere olay yerinde bulunan bitkilerin tanımlanmasında önemli sorumluluklar düşmektedir.

Bazı sapkalı mantarların içerdiği zehirli bileşiklerin sebep olduğu hastalık belirtileri "mantar zehirlenmesi" ya da "misetismus, misetizm" olarak tanımlanır (Yafet-Aji vd., 1997). Belirtilerin şiddeti yenen mantar miktarına göre değişiklik göstermektedir. Zehirli mantar yemekten korkanlarda "hayali zehirlenme" olarak nitelendirilen psikosomatik zehirlenme belirtileri de görülebilir. Yorgunluk, çarpıntı, terleme, karın ağrısı, bulantı, kusma gibi gastrointestinal belirtileri gerçek bir zehirlenmeden ayırtmak imkansızdır. Kültür mantarı gibi yenebilen mantarların uygun olmayan şartlarda saklanması bazı bakteri ve küflerin üremesine yol açabilir. Oluşan toksik metabolitler zehirlenmeye sebep olduğundan genç ve taze mantarların tüketilmesinde fayda vardır.

Çoğu mantar zehirlenmesi vakası, insanların yabani mantarları toplamasından ve zehirli mantarları yenilebilir türlerle karıştırmamasından kaynaklanır (Bock vd., 2016; Dasgupta, 2019). Zehirli yabani mantarların yenmesinden kaynaklanan ciddi toksisite vakaları bulunmaktadır. Bunun yanı sıra cinayet olaylarında zehirli mantarların toksinlerinin kullanımı da söz konusudur. Bu tip olaylarda sıklıkla amatoksin içeren özellikle *Amanita* mantar türleri kullanılır. Mantar toksinleri genellikle aşağıda belirttiğimiz şekilde gruplandırılmaktadır:

Mantarlarda bulunan en tehlikeli bileşiklerden olan siklopeptitler aminoasitlerden meydana gelmiş sıklık yapıda bileşiklerdir (Mat, 1997). Sitotoksik etkili amatoksinler, fallotoksinler ve virotoksinler bu grupta olup karaciğerde nekroza sebep olmaktadır. Orellanın, böbrekler üzerine etki ederek glomerüler fitrasyonu azaltır. (Kirchmair vd., 2011). Giromitritin ve homologlarının mide asiditesinde parçalanmasıyla açığa çıkan hidrazinler karaciğerde nekroz yapar ve Gyromitra sendromuna sebep olurlar (Patočka vd., 2012). İbotenik Asit ve müsımol de bazı mantarlarda bulunan zehirlendendir. Mantarda yalnızca ibotenik asit bulunur ve kurutma sırasında bu bileşiğin dekarboksilasyonu veya fotokimyasal reaksiyon ile muscimol ve muskazon oluşur. İbotenik asit ve müsımol santral sinir sistemi üzerine etkili bileşiklerdir ve pantherina sendromuna neden olurlar. Muscimol ibotenik asitten 5 kez daha aktiftir. Kimyasal yapısı GABA (α -aminobutirik asit)'e benzediğinden santral sinir sistemi hücrelerinde GABA reseptörlerini stimüle edebilir ve dolayısıyla GABA benzeri etki gösterir. Bir başka mantar zehirli olan L-(+)-muskarin de santral sinir sistemi üzerine etkili bir bileşiktir. Muskarin sendromuna sebep olur. Psilosibin ve psilosin de mantar zehirlendendir. Psilosin ise psilosibinin hidroliz ürünüdür ve kolaylıkla okside olarak inaktif bileşikler verirler. LSD benzeri halüsinasyonlara yol açarlar. Koprın vücutta alkölün yıkımını inhibe ederek asetaldehit safhasında durdurur ve coprinus sendromuna sebep olur (Mat, 1997).

Adli botanik ve adli farmakognozinin bir bölümünü oluşturan adli bilimlerde zehirli bitkilere ve mantarlara ilişkin spektrum, aşağıda bahsedileceklerle sınırlı olmayıp; bu bölümde temel olarak, çoğunlukla Türkiye'de, bir kısmı da yurtdışında yetişen, hafif ve

ağır zehirlenmelere sebep olan önemli bitki ve mantar türleri, içerdikleri toksinler/psikoaktif maddeler ve zehirlenme belirtileri anlatılacaktır.

Tıbbi ve Zehirli Bitki Cinslerinden Seçilmiş Örnekler

Apiaceae

- *Conium maculatum* (Baldıran)

Baldıran (*Conium maculatum* (hemlock)), maydanozgiller ailesinin üyesidir. Hem insanlarda hem de hayvanlarda şiddetli zehirlenmelere neden olmaktadır [Buyuk vd., 2013]. Özellikle genç yaprakları (Şekil 1) ve olgunlaşmamış meyveleri başta olmak üzere tüm bitki zehirli alkaloid olan "koniin" içerir. Bunun yanı sıra metil koniin ve konisein ismi verilen alkaloidler de bulunmaktadır. 6-8 gr taze yaprak bir kişiyi ölüm ile sonuçlanabilecek derecede zehirler. Bu bitkinin genç yaprakları *Petroselinum crispum* (maydanoz)'un yapraklarına çok benzediğinden bazen karıştırılabilmekte ve ölümle sonuçlanan zehirlenmeler görülebilmektedir.

Koniin, iskelet kasında sinir uçlarındaki asetilkolin reseptörlerinde blokaj meydana getirmekte ve paraliği oluşturmaktadır. Başlangıçta oluşan nikotinic aktivasyon, SSS'nde stimülasyona dolayısıyla başağrısı, ataksi, salivasyon, diaforez ve taşikardide sebep olmaktadır. Şiddetli zehirlenme olgularında bu faz bradikardi, asendan motor paraliği gibi bulgularla karakterize olan depresan bir fazla devam etmektedir. SSS'nde depresyon ve özellikle nöromusküler kavşakta non-depolarizan blokajla solunum felci ve ölümle sonuçlanmaktadır.

- *Cicuta virosa* (Su baldıranı)

Su kenarlarında veya bataklıklarda yetişir [Schep vd., 2014]. Cicutoksin isimli çok zehirli bir bileşik taşımakta olup yenilmesi durumunda zehirlenmeye bağlı ölüm görülebilmektedir.

GABA reseptör antagonistidir. Ani bulantı, kusma ve nöbet yapar (Şekil 2).

Apocynaceae

- *Nerium oleander* (Zakkum ağacı)

Zakkum, günümüzde alternatif tıpta ve modern tıpta antidiyabetikten antitümör ilaçlarına kadar birçok alanda denenmektedir [Patil vd., 2023]. Zakkum bitkisi oleandrin, digitoxigenin gibi kardiyak glikozidler içerir. Oleandrin hidroliz sonunda aglikon olarak oleandringenin (16-asetildigitoksigenin) ve şeker olarak da oleandroz (cimarin'in izomeri) verir. Oleandringenin *digitalis* (yüksükotu) türlerinde rastlanan digitoksigenin'e yakın yapıdadır. Digoksin zehirlenmesi tablosu ile büyük benzerlik göstermektedir. Bu bitkinin dallarından özellikle pikniklerde yapılan tahta kebab şişlerinde pişirilen et benzeri besinlerin tüketilmesi veya çiçeklerindeki hoş kokulu nektar salıntısının özellikle çocuklar tarafından emilmesi ya da yaprakları ve çiçeklerinin içme suyuna düşmesi ile bu bitki ile temas eden suların içilmesi sonucu ağır zehirlenme ile ölüme varan vakalar görülebilir (Şekil 3). Yenildiğinde; bulantı, kusma, mide ağrısı, baş dönmesi, güçsüzlük, uyuşukluk, tremor, şuur kaybı, nabız atışlarında zayıflama ve düzensizlik, göz bebeklerinde büyüme, kanlı ishal, akciğerlerde felç ve buna bağlı ölümlü vakalar görülür [Okuda vd., 2024]. Genelde akut klinik kötüye giden

Şekil 1
Conium maculatum



Açıklama notu. Native Plant Trust Go Botany, (2024), *Conium maculatum*-poison-hemlock, <https://gobotany.nativeplanttrust.org/species/conium/maculatum/> kaynağından alınmıştır.

Şekil 2
Cicuta virosa



Açıklama notu. Nard, P., (2021), *Cicuta virosa*, <https://identify.plantnet.org/tr/k-world-flora/observations/1011528655> kaynağından alınmıştır.

Şekil 3
Nerium oleander



aritmilere neden olur. Bu bitkiyi yiyerek ölmüş hayvanların etleri de zehirlidir. Gastrointestinal zehirlenme bulguları ile birlikte, kardiyotoksosite (özellikle bradiaritmik hastalar) ve elektrolit bozukluğu olan hastalarda, zakkum zehirlenmesi akla gelmelidir. Akut zehirlenme tanısında, öyküde bitkisel ve alternatif ilaç alımını sorgulamak yararlı olacaktır. Lokal uygulama sonrası ağır yanık benzeri lezyonu olan hastalarda, ayırıcı tanıda zakkum bitkisi akla gelmelidir. Zakkum bitkisine lokal deri temaslarında kontakt dermatit benzeri lezyonlar izlenebildiği gibi, literatürde çok ağır kimyasal yanık tablosuna neden olduğunu bildiren birkaç yayın bulunmaktadır.

Araceae

Bu familyada, içerdikleri oksalat kristalleri sebebiyle (Pang vd., 2010) *Alocasia* (dev fil kulağı), *Agave*, *Philodendron*, *Symplocarpus*, *Anthurium*, *Aglaonema*, *Begonias* gibi mukoza irritanı olan bitkiler mevcuttur (Cuéllar-Cruz vd., 2020; Wink, 2010).

- *Monstera deliciosa* (Devetabanı)

Bu bitki, ısırıldığında, çiğnendiğinde veya yenildiğinde ağız, dil ve sindirim sisteminde yoğun yaralanmalara neden olabilir (Wang vd., 2020). Özsuyu zehirlidir. Toksikite, bitkinin içindeki sularda çözünmeyen oksalat kristallerinden kaynaklanır. Bitkiye dokunmak ellere zarar vermese de ellerdeki özsü dudaklara, ağıza veya dile temas ettiğinde tahriş edebilir (Şekil 4). Bitkinin olgun meyvesi yenilebilir olmakla birlikte olgunlaşmamış meyve o kadar çok oksalik asit içerir ki, ani ve ağırlı kabarcıklara, tahrişe, şişmeye, kaşıntıya, mukoza zarında hasara ve ses kaybına neden olurarak ölüme yol açabilir.

Şekil 4

Monstera deliciosa



-*Dieffenbachia* Türleri (Difenbahya)

Dieffenbachia, Araceae familyasındaki ve *Arum* cinsindeki geniş bir tropikal bitki grubunu temsil eder (Cumpston vd., 2003). En yaygın iki ana türü *Dieffenbachia pincta* ve *Dieffenbachia seguine*'dir. Hücrelerinde iğne şeklinde kalsiyum oksalat kristalleri ile proteinlerin çökmesine neden olan bazı enzimleri içeren zehirli bir bitkidir. Bu bitkinin yapraklarının ağızda çiğnenmesi, ağız mukozasında tıpkı cam kırığı yenmiş gibi bir mekanik yıkım ortaya çıkarmakta ve iğne uçlu kristaller dokuya saplanmaktadır (Şekil 5). Yakıcı ve şiddetli

Şekil 5

Dieffenbachia sp.



bir ağrıyla beraber, ağız içi, dil, boğaz ve yutak kısımlarında ödem oluşmasının akabinde nefes darlığı ile beraber zamanında müdahale edilmemesi ölümlü sonuçlanan vakaların ortaya çıkmasına neden olur.

Araliaceae

- *Hedera helix* (Duvar sarmaşığı)

Bitkinin tümü özellikle olgunlaşmış meyveleri zehirli saponin bileşikleri olan hederacoside c, hederagenin, ve alfa hederin içerir (Şekil 6) (Kılıç vd., 2020). Meyvelerinden biraz yenilmesi tehlikeli olmayan hafif zehirlenmeye neden olurken, fazla tüketilmesi de nefes darlığı ile seyreden ve koma haline dönüşen ağır zehirlenmelere sebep olur (Gaillard vd., 2003).

Şekil 6

Hedera helix



Cannabaceae

- *Cannabis sativa* (Kenevir)

Anavatanı Hindistan olup, Anadolunun birçok bölgesinde lif, tohum veya esrar elde etmek için yetiştirilmektedir. [Anadón vd., 2018]. Kurutulmuş dişi çiçekleri toz haline getirildikten sonra elenmesi sonucu, yeşil renkli ince toz "Esrar" ismiyle tanınmakta ve

uyuşturucu (psikotrop) olarak kullanılmaktadır (Şekil 7). Kenevir bitkisinde, en önemli uyuşturucu etkiye sahip Δ -1-tetra-hidro-kannabinol bileşiği başta olmak üzere 50 kadar kannabinoid bileşik bulunmaktadır. Dumanı da zehirleyicidir.

Şekil 7
Cannabis sativa



Caprifoliaceae

- *Sambucus nigra* (Mürver ağacı)

Meyveleri "siyanidin" glikoziti içermektedir (Şekil 8). Bu bitkinin az miktarda yenilmesi dahi ağır zehirlenme vakalarının ortaya çıkmasına sebep olur (Knudsen vd., 2015).

Şekil 8
Sambucus nigra



Ericaceae

- *Rhododendron ponticum* (Ormangülü, Komar)

Bitkinin tümü ve daha fazla miktarda yaprakları ve çiçekleri, zehirli bileşik olarak grayanotoksin I. (andromedotoksin, asebotoksin, asetilandromedol, rodotoksin) isimli toksik bir glikozit içerir (Milne, 2017). Özellikle yaprakları ve çiçekleri yenildiğinde; kusma, ishal, ağız, göz ve burunda sulanmalar, nabız atışlarında zaıflama, tansiyon düşmesi, sara nöbeti benzeri kasılmalar, felç ve

Şekil 9
Rhododendron ponticum



ölüm görülür. *Rhododendron* türlerinde zehirlenmeler sıklıkla bu türlerin nektarlarından yararlanılarak yapılmış olan balların yenmesi sonucu meydana gelmektedir (Koca vd., 2007). Bal arıları tarafından alınan ve bu balözü ile yapılmış ballar Karadeniz yöresinde "deli bal, acı bal veya tutarbal" olarak bilinir; bu balın fazla miktarda tüketilmesi bulantı, kusma ve ishal belirtileri ile ortaya çıkan zehirlenmelere neden olur. Bilhassa taze bal zehirlenmeye sebep olmakta, eskimiş veya kaynatılmış ballarda zehirlenme görülmemektedir (Başgöl, 2003).

Euphorbiaceae

- *Ricinus türleri: Ricinus communis* (Hintyağı bitkisi)

Lektin (karbonhidrattan zengin protein ve toksalbumin) içeren toksik bir bitkidir (Şekil 10) (Bock vd., 2016). Geçmişte, infeksiyon ve inflamasyonda ayrıca laxatif olarak ta kullanılmıştır. Yağ asidi risinoleik asidi endüstride çok kullanılır. Tohumları bir toksalbumin olan ve "risin" adı verilen tehlikeli bir sitotoksin içerir (Bock vd., 2016). Ricin, protein sentezini inhibe eder, alyuvarları aglutine ederek zehirlenmeye sebep olur. İnhalasyon ya da yutma durumunda letal doz kg vücut ağırlığı başına 22 μ g olup, oral letal dozu ise 1 mg/kg'dır. Çocuklarda daha düşük dozlarda daha hızlı zehirlenmeler görülebilir. Tohumları sıkıştırılıp organik gübre olarak ta kullanılır ancak hayvanlar yerse zehirlenir. Alınan toksin miktarı ile semptomların şiddeti artar (Worbs vd., 2011). Semptomlar, alım veya enjeksiyondan 3 ile 20 saat sonra ortaya çıkar. Fiziksel semptomlar karın ağrısı, kusma, kanlı veya kansız ishal, kas ağrısı, uzuvlarda kramplar, dolaşım kollapsı, dispne ve dehidratasyondur. Birkaç gün süren şiddetli dehidratasyonla birlikte idrar miktarı azalır ve kan basıncı düşer (Ahmad vd., 2016). Karaciğer ve böbreklerde işlev bozukluğuna yol açar. Ölümcül vakalarda otopsielerde, bağırsaklarda ve kalpte hemorajik nekroz ve akciğerlerde ödem gösterilmiştir. Tohum çiğnenmeden yutulursa

Şekil 10

Ricinus communis



sindirim sisteminden zarar vermeden geçer. Ancak çiğnenir veya kırılır ve ardından yutulursa, risin toksik maddesi bağırsaklar tarafından emilir.

Fabaceae

Türkiye’de yetişen *Genista* (Boyacı katırtırnağı), *Laburnum* (Sarısalkım), *Lathyrus* (Müdürmük), *Lotus* (Boynuzluyonca), *Lupinus* (Acıbakla), *Psoralea* (Katranyoncası), *Robinia* (Salkım çiçeği), *Sarothamnus* (Süpürge katırtırnağı), *Spartium* (Katırtırnağı), *Wisteria* (Morsalkım), *Vicia faba* (Bakla) türlerinin zehirlenmelere neden olduğu çeşitli yayınlarda belirtilmiştir (Küçükler, 2012). Bilhassa taze tohumların yenmesi sonucu "Favizm" denilen bir tür zehirlenme meydana gelir (Erkul vd., 2021; Köse vd., 2021). Kalıtsal G6PD enzim eksikliği ve yetersizliği sebebiyle bakla yemesinin akabinde favizm hastalığı ortaya çıkmaktadır. Favizme bakla tohumlarındaki visin ve konvisin sebep olmaktadır. Bu tür zehirlenmeye bilhassa Akdeniz ülkeleri, Kuzey Afrika ve Yakınoğu’da rastlanmaktadır. Tohumlarda bulunan visin, kovisin gibi bazı bileşikler genetik sebeplere bağlı olarak, eritrositlerde glikoz-6 fosfat dehidrogenaz enzimi noksanlığı karşısında, hızlı bir hemolizle akut hemolitik anemi meydana getirir. Bu sebeple, zehirlenmiş kişilerde kansızlık, sarılık ve kanlı idrar yapma zorluk görülür. Ülkemizde özellikle İzmir bölgesinde bu tip zehirlenmelere rastlanmaktadır.

- *Abrus precatorius*

Tropikal ve subtropikal alanlarda yaşayan bir bitkidir (Ninan vd., 2019). Çok güçlü toksinlerden abrin ve lektin içerir. Abrin protein sentezini inhibe etmekle birlikte, ricinden daha toksiktir (Bock vd., 2016). Yetişkin letal dozu oral alımda 10 dan 1000 µg/kg a kadar değişebilmektedir. Tohumların ezilmesi ve çiğnenmesi toksini serbest bırakır ve öldürücü olabilir (Şekil 11). *Abrus* tohumları

Şekil 11

Abrus precatorius



Açıklama notu. Schmitz, P., (2015), *Abrus precatorius* <https://identify.plantnet.org/tr/k-world-flora/observations/1017409921> kaynağından aynen alınmıştır.

bütün olarak alındığında zehirsizdir. Ancak tohumların çiğnenmesi toksini serbest bırakır ve böylece protein sentezinin inhibisyonuna ve ardından hücre ölümüne neden olur. Bir immün modülatör olan Abrin, humoral yanıtı aktive eder ve bazen immün aracılı demiyelinizasyona neden olabilir.

- *Melilotus officinalis* (Tas yoncası)

Melilotus officinalis (Şekil 12), silajdaki bazı mantarların güçlü bir antikoagülan olan dicoumarol'e metabolize edebildiği kumarin adı verilen tatlı kokulu bir bileşik üretir (Bock vd., 2016). Bu bitkiyi yiyen sığırların kanları pıhtılaşamayacağı için, ölüm kan kaybıyla gerçekleşir.

Şekil 12

Melilotus officinalis



Hippocastanaceae

- *Aesculus hippocastanum* (At kestanesi)

Bu bitkinin tohumları (Şekil 13) toksik etkili "eskulin" glikoziti içerir (Yi vd., 2021). Tohumlardan çok fazla yenilmesi özellikle çocuklarda derin koma halinin görülmesine, daha ileri vakalarda ölüme sebebiyet verebilir. Meyvesi Kore kestanesi (*Castanea crenata*) ile benzerlik gösterdiğinden, yanlışlıkla yenmesi sonucu zehirlenmeler gerçekleşebilmektedir.

Şekil 13

Aesculus hippocastanum



Liliaceae

- *Convallaria majalis* (İnciçiçeği, Müge)

Tüm bitki toksik etkili "konvallotoksin", "konvallosid" ve "konval-lamarin" glikozitlerini içerir (Şekil 14). Özellikle meyvelerini yiyenlerde mide bulantısı, karın ağrısı ve kusma ile başlayan, ileri vakalarda bilinç kaybı ile düzensiz veya yavaş kalp atımlarıyla ortaya çıkan zehirlenme tablosu görülür. Nadiren de olsa ağır zehirlenmelere ve ölümlere rastlanmaktadır.

Şekil 14

Convallaria majalis



- *Colchicum türleri* (Acı Çiğdem, alt familia: Colchicaceae)

Bitkinin her organında alkaloid bulunsa da özellikle tohumları "kolşisin" içerir (Şekil 15). Bunun yanı sıra demekolsin, kolşisein ve başka alkaloidler de saptanmıştır. Yenildiğinde, 2-3 saat kadar sonra ağızda yanma, kusma, kanlı ishal, idrar kesesinde ağrı ve kanlı idrar, susuzluk, nabız atışlarında zayıflama, kan dolaşımında bozukluk, omurilik felci ve 7 saat-2 gün arasında solunum sistemi felci nedeni ile ölüm vakaları görülebilir (Brvar vd., 2004; Finkelstein vd., 2010)

Colchicum autumnale toksisitesi arsenik zehirlenmesine benzerdir (S. Khajja vd., 2011). Bu bitkiler, günümüzde gut, artrit ve kabızlığın baskın olduğu irritabl bağırsak sendromunun tedavisi için zaman zaman reçete edilen kolşisinin kaynağıdır (Bock vd., 2016). Kolşisin hücre bölünmesini inhibe eder. Bilinen bir panzehiri olmadığı için yanlış kullanıldığında kolşisin ölümcül olabilir. Ölümcül dozun tüketilmesinden 24-72 saat sonra çoklu sistem hasarları meydana gelir.

Şekil 15

Colchicum autumnale



- *Veratrum album* (Çöpleme)

Bitkide etkili bileşiklerin en önemlileri jervin ve protoveratrinlerdir (Küçükler, 2012). *Veratrum* (Şekil 16) alkaloidleri kalp ve solunum merkezi depressörü olarak etki gösterirler (Farzaei vd., 2020). İshal yapıcı ve kusturucu bir bitkidir. Yenildiğinde ağız ve dudaklarda

Şekil 16

Veratrum album



Kısım 2: Bitkilerin Gölgesindeki Sırlar: Adli Botanik ve Zehirli Bitkiler

yanma, salya artması, kusma, ishal, soğuk terleme, titreme ve devamlı nabız yavaşlaması, vücut ısısının düşmesi, şuur kaybı, solunum yolları felci ile ölüm gibi belirtiler görülür. Alkaloid bakımından en zengin organı rizomlarıdır (Patocka, 2018). Rizomların su ile kaynatılması sonucu elde edilen çözelti, dış parazitleri durmede özellikle hayvan derisine sürülmek sureti ile kullanılır. Hayvan derisindeki çatlaklar ya da yara sebebi ile bu alkaloidler kana geçerek zehirlenmeye sebep olur.

Liliaceae

- *Urginea maritima* (Adasoğanı)

Kurutulmuş tozları 13. yüzyıldan beri kemirgenlerin kontrolü için kullanılmıştır (Gupta, 2018). Zehirli alkaloidlerinden en önemlisi "scilliroside" dir (Manganyi vd., 2021). Digoksin benzeri etkisi vardır.

Adasoğanı (Şekil 17), kardiyak glikozidler ile benzer zehirlenme bulguları oluşturur: bulantı, kusma, karın ağrısı, letarji, bradikardi, iletim bozuklukları, ventriküler aritmiler, hiperkalemi. vb. Klinik belirtilerle birlikte digoksin düzeyinin de tayin edilmesi gerekir. Halk arasında eklem ağrısı, ödem, göz kapağı şişliği, bronşit akciğer iltihaplanması, deri üzerindeki kaşıntılar ve lekeler gibi rahatsızlıkların tedavisinde lokal olarak kullanılır. Tazeyken acı ve zehirleyici olması sebebiyle kurutulmadan kullanılmaz, çayı içilmez. Görünümü sebebiyle *Pancratium maritimum* (kum zambağı) ile de karıştırılmaktadır.

Şekil 17

Urginea maritima



Açıklama notu. Sarmiento, L., (2024), *Urginea maritima*, <https://www.jardineriaon.com/cebolla-albarrana-urginea-maritima.html> kaynağından aynen alınmıştır.

Linaceae

- *Linum usitatissimum* (Keten)

Bitkinin yaprakları ve tohumları "linamarin" isimli bir glikozit içerdiğinden bu bitkinin kontrolsüz tüketimi zehirlenmelere neden olmaktadır (Şekil 18) (Roulard vd., 2017).

Şekil 18

Linum usitatissimum



Loganiaceae

- *Strychnos nux-vomica* (Kargabüken)

Dünyanın en zehirli bitkileri arasında yer alan bu bitkinin tohumları (Şekil 19) çok zehirli olan "striknin" ve "brusin" alkaloidlerini içermekte olup, sinir sistemi üzerine stimulan etkisi vardır (Bock vd., 2016; Küçüker, 2012). Striknin, iskelet kaslarında kolinerjik reseptörleri bloke eden güçlü bir alkaloid nörotoksindir (Bock vd., 2016). Aşırı doz alınımında, solunum kaslarının felç olmasına neden olarak asfiksi ve ölümlle sonuçlanabilir. İnsanlar için öldürücü doz 32 mg/kg dir.

Farklı türleri de bulunmaktadır (Aniszewski, 2007). Tropik Afrika bölgesinde bulunan *Strychnos usambarensis* ve Amazon bölgesinde bulunan *Strychnos guianensis* türlerinde bir ok zehiri olan kürar alkaloidi bulunmaktadır.

Şekil 19

Strychnos nux-vomica



Açıklama notu. kishorenath, (2021), *Strychnos nux-vomica*, <https://uk.inaturalist.org/observations/96472538> kaynağından aynen alınmıştır

Loranthaceae

- *Viscum album* (Ökseotu)

Bu bitkinin yaprakları ve gövdesi ile özellikle meyveleri "Viskotoksin A ve B" olmak üzere toksik proteinler içerir (Şekil 20) (Majeed

vd., 2021; Urech vd., 2015). Sedef veya inci beyazı rengindeki güzel görünümlü meyvelerinin süsleme/dekor amacı ile evlerde tutulması ve çocukların bu meyveleri yemesi ile zehirlenme meydana gelir. Meyvelerinden birkaç tanesinin yenmesi hafif mide ağrılarına neden olurken, yapraklarının da yenmesi ciddi sindirim sistemi bozukluklarına, mide kramplarına ve ağır zehirlenmelerde kanlı ishal ve ölüme sebebiyet verebilir.

Şekil 20
Viscum album



Papaveraceae

- *Papaver* türleri (Haşhaş)

Bu ailenin üyeleri sayıca fazla olup, 40 cins ve 800 kadar türü bulunur L-tirozinden türemiş morfin, kodeine, tebaine, papaverin, narkotin, narsein, izoboldin ve salsolinol içerir (Aniszewski, 2007). Bu familyanın en önemli üyesi *Papaver somniferum* (Afyon Haşhaşı)'dur (Şekil 21). Toksik kısımları, soyulmuş ve kurutulmuş kapsülleri, taç yaprakları ve tohumlarıdır (S. Khajja vd., 2011). Olgunlaşmamış kapsüllerin çizilmesi ile elde edilen sütün kuruması ile bir alkaloid drogu olan

Şekil 21
Papaver sp.



Açıklama notu. Ethelberg, S., (2022), *Papaver somniferum*, <https://www.inaturalist.org/photos/223924155> kaynağından alınmıştır.

afyon (opium) meydana gelir. SSS'ne baskılayıcı etkisi bulunur ve bağımlılık yapar. Başlıca alkaloidleri morfin ve kodeindir. Alışık olmayanlarda 0.12 g'lık bir miktar ile zehirlenme belirtileri görülebilir (Bnouham vd., 2006; Küçüker, 2012; Martínez vd., 2019). Tohumlarında alkaloid bulunmadığı belirtilmektedir.

Ranunculaceae

- *Aconitum* türleri

Kurtboğan, kaplanboğan, zehrin kraliçesi gibi isimler taşıyan farklı *Aconitum* türleri (Şekil 22), geleneksel Çin Tıbbında kullanılmıştır (Y.-T. Chan vd., 2021). Kas güçsüzlüğü, kalp ritim bozukluğu (aritmisi), karıncalanma, uyuşma, düşük tansiyon, bulantı, kusma, ishal gibi belirtilere sebep olur. Beş *Aconitum* türünün ok zehiri olarak ta kullanıldığı tespit edilmiştir: *A. carmichaelii*, *A. nagarum*, *A. ouvardianum*, *A. stylosum*, and *A. episcopale* (Bisset, 1981). Yüksek toksisiteli bu bitkinin tuberleri (*Tubera aconita*) çok zehirli bir alkaloid olan "akonitin" maddesini içermektedir (T. Chan, 2014; Nyirimigabo vd., 2014). *Aconitum*'un ilaç olarak anti-inflamasyon, antiaritmik, analjezik ve diğer bazı etkileri vardır (Y.-T. Chan vd., 2021). Ancak aritmik etkisi, gastrointestinal yan etkisi ve tetraplejiye ve ölüme neden olan kardiyotoksikite riski bulunmaktadır. Düz kasları felç eder.

Şekil 22
Aconitum sp.



- *Helleborus* türleri (Çöplemecik)

Helleborus orientalis ve *Helleborus vesicarius* türleri (Şekil 23) tehlikelidir (Küçüker, 2012). Bu bitki türlerinde saponinler ve glikozitler (hellebrin ve helleborein) bulunur (Maior vd., 2013). Etkisi bilhassa kalp üzerindedir (Yılmaz vd., 1995). Zehirlenmeler ilkbaharda genç sürgünleri yiyen hayvanlarda görülmektedir (Maior vd., 2013). Bu bitkiyi hayvanlar yanlışlıkla yediğinden özellikle Karadeniz bölgesinde bu bitki "Danakıran" olarak tanınır (Öztürk, 2020). Bu bitkinin köklerinden hazırlanan dekoksyonlar hayvanların derilerindeki parazitleri yok etmek içinde kullanılır; hayvana sürülen dekoksyon, derideki yara veya çatlaklardan kana karışarak zehirlenmelere sebep olabilir

[Yılmaz vd., 1995]. Zehirlenmeler özellikle hayvanlarda ve zehirlenmiş hayvanları yiyen insanlarda görülür. Zehirlenen hayvanlarda sancı, ishal, kusma, idrar tutukluğu, kramp ve felç görülür.

Şekil 23
Helleborus sp.



Rosaceae

- *Prunus* türleri

Prunus türleri (Şekil 24) siyanogenetik glikozitler taşıması sebebiyle toksikoloji yönünden büyük bir öneme sahiptir (Bock vd., 2016). Bazı *Prunus* türlerinin (kayısı, şeftali, zerdali ve acıbadem) tohumlarında siyanhidrik asit (HCN) bulunmaktadır. (Küçükler, 2012). Siyanogenetik glikozitler taşıyan bitkilerin tohumlarının yenmesi sonucu açığa çıkan HCN (hidrosiyanik asit) genellikle ölüme sebep olur. Siyanür, mitokondriyal enzim sitokrom c oksidazı inhibe eder ve dakikalar içinde hücre sel solunumu durdurur (Bock vd., 2016). *Prunus amygdalus* (acıbadem); bu türün tohumları ülkemizde öksürük kesici, kurt düşürücü ve şeker hastalığında tedavi edici olarak kullanılmaktadır (Küçükler, 2012). 8-10 tohum ile zehirlenme belirtileri görülür. Zehirlenmede; miyozis, kusma, şiddetli karın ağrısı, periferik kolaps ve şok görülmektedir. Amygdalin, *Prunus dulcis*'in badem meyvelerinde bulunur (Bock vd., 2016). Elma, şeftali, armut, ahududu, kiraz, kayısı ve erik gibi yenilebilir birçok meyvede bulunur, ancak bunlar özellikle tohumlarda yoğunlaşır. Bu tohumlar yutulursa, genellikle sindirim

Şekil 24
Prunus sp.



sisteminden dokunulmadan geçerler. *Prunus armeniaca* (zerdali) çekirdekleri bilhassa çocuklar tarafından yenmekte ve ölüme sonuçlanan zehirlenmelere sebep olmaktadır (Küçükler, 2012).

- *Laurocerasus officinalis* (Taflan, Karayemiş)

Yaprakları ve meyveleri zehirlidir (Şekil 25) (Dursun, 2010). Bitkinin yapraklarından elde edilen Taflan suyu (aqua laurocerasi) kontrollü olarak ekspektoran ve sedatif şeklinde kullanılmaktadır. Aksi durumlarda çok zehirli bir bileşik olan "prunasin" glikoziti nedeniyle zehirlenmelere neden olabilmektedir (Elmastas vd., 2013). Amigdalin glikozitini de içermektedir (Dursun, 2010). Amigdalin glikozitinin hidrolizasyonu sonucu açığa çıkan hidrosiyanik asit solunumda rol alan bazı enzimlerin etkisiz hale gelmesine yol açarak zehirlenmelere neden olabilir.

Şekil 25
Laurocerasus officinalis



Scrophulariaceae

- *Digitalis purpurea* (Yüksükotu)

Bitkinin tamamı zehirli glikozitler taşımakla birlikte özellikle yaprakları kardiyotonik olan "digitalin" glikozitlerini içermektedir (Şekil 26). Yaklaşık 20 tür yüksük otu (*Digitalis spp.*) vardır (Bock vd., 2016). Etkin glikozitleri dijitalis glikozitleri genel adıyla bilinir. Bunlarda digoksin, yüksük otundan ekstrakte edilen bir kardiyak

Şekil 26
Digitalis purpurea



glikozittir. Konjestif kalp yetmezliği ve atriyal aritmi tedavisinde kullanılır. Terapötik indeksi düşük olduğundan, *Digitalis*'in aşırı dozda verilmesi ölümlle sonuçlanabilir. En yaygın kullanılan digitalis türevi olan digoksin, digoksinin glikozit öncüsü olan lanatoside-C'den olduğu gibi *Digitalis lanata*'dan (beyaz yüksükotu) elde edilir. Digitoksin, *D. purpurea*'dan elde edilen saf bir glikozittir; etki digitoksin, digoksin veya lanatosid-C'den daha geç başlar ve çok daha uzun yarı ömrü vardır ki bu da vücutta birikiminin daha fazla olduğu anlamına gelir. Aynı zamanda saf bir glikozit olan ouabain (strophanthin-G), genellikle *Strophanthus gratus*'tan elde edilir, ancak diğer bitkisel kaynaklardan da elde edilebilir.

Kimi zaman digitalis ile DNA hasarına, mutasyona ve kansere neden olan karakafes (*Symphytum spp.*, Borganinaceae) ile karıştırılmaktadır (Mei vd., 2010). Digoksin ile zehirlenmenin; kazara, doz aşımıyla veya kasıtlı kullanım sonucu olabileceğinin adli açıdan göz önünde bulundurulması gerekir.

Solanaceae

Solanaceae bitki ailesi, yenilebilir meyveler (yani, domates, kabuklu domates, acı biber, patlıcan), yumru kökler (yani, patates) ve tütün gibi bitkileri kapsar (Kinder vd., 2017). Bu familyada, tropan alkaloidi taşıyan, *Atropa belladonna*, *Datura stramonium*, *Hyoscyamus niger*, *Brugmansia* gibi türler de bulunur. Bunlar halüsinojenik etki de gösterir. Tropan alkaloidleri, Solanaceae, Erythroxylaceae (örn., *Erythroxylon coca*, kokain) ve Convolvulaceae dahil olmak üzere bir dizi familyada bulunur (Smolinske vd., 2007). Bu familyadaki ortak alkaloidler; antimuskarinik olan skopolamin, atropin ve hiyosiyamindir. *Skopolamin*, antidepresan ve bulantı önleyici ilaç olarak kullanılır (Kerchner vd., 2020). Antikolinerjik ve antimuskariniktir. Aşırı dozlar depresyona neden olabilir. Halüsinojeniktir ama deneyimler genellikle tatsızdır. *Atropin*, gözbebeği genişlemesine neden olan antikolinerjik, antimuskarinik bir ilaçtır. Kalp hızı ve tükürük salgısını artırır. Ölümcül dozu >10 mg olup, skopolaminin ise 2-4 mg'ı toksiktir. Hiyosiyamin atropinin levorotator izomeridir ve aynı zamanda sentezinin prekürsörüdür. Etkisi skopolamin ve atropine benzer. SSS depresyonu oluşturur. *Brugmansia* ve *Datura* ya maruziyet genellikle yetişkinlerde halüsinojenik etkisi için istismar edilmesiyle gerçekleşmektedir. Küçük çocuklarda ve yetişkinlerde yanlış kullanımdan dolayı kazara maruziyetler de görülebilmektedir. Son yıllarda *Brugmansia* ve *Datura*'nın cinsel suçlar ve hırsızlık suçlarında etkisizleştirici ajan özellikleri çiçek ve tohumlarından kaynaklansa da yapraklara ve çiçek nektarına maruz kalmak da zehirlenmeye neden olabilir.

- *Atropa belladonna* (Güzelavrat otu)

Bitkinin bütün kısımları tropanol türevi ester alkaloidler olan çok zehirli "hiyosiyamin", "atropin" ve "skopolamin" alkaloidlerini içerir (Cebeci vd., 2020). Ancak en yüksek alkaloid içeriği olgun meyve ve yeşil yapraklarında bulunur (Şekil 27) (Demir vd., 2006). Antispazmodik etkisi sebebi ile lokal uyuşturucu olarak tıpta sıklıkla kullanılır.

Zehirlenmeler bu bitkinin içerdiği atropin ve skopolaminden kaynaklanmaktadır. Antikolinerjik etkisiyle zehirlenme oluşturur. Bitkinin içerdiği alkaloidler (L-atropine, DL-hyoscyamine ve hyoscyine) sebebiyle konfüzyon veya akut psikoz gelişebilmektedir (Demir vd., 2006). Zehirlenmenin temel belirtileri hem halüsinasyon ve delüzyon hem de yüksek ateş, taşikardi ve antikolinerjik etkiler

Şekil 27

Atropa belladonna



Açıklama notu. Zell, H., [2009], *Atropa belladonna*, Solanaceae, Deadly Nightshade, fruits; Botanical Garden KIT, Karlsruhe, Germany, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/Atropa_belladonna_003.JPG kaynağından alınmıştır.

iken, ağır vakalarda hipertansiyon, konvülsiyonlar ve koma görülebilir. Nabız 140-160 seviyelerinde seyrederken, bir zaman sonra dudaklar morarır; baygınlık, uyku hali ve şiddetli koma ortaya çıkar. Ölüm SSS felci ve solunum durması sonrası meydana gelir. Bu bitkiyi yemiş olan hayvanların etlerinin yenmesi insanlar için zehirlidir.

- *Mandragora autumnalis* (Adam otu)

Eski zamanlardan beri, adama benzer görüntüsünden, ayrıca narkotik ve zehirli özelliklerinden dolayı bu bitkinin bir afrodisyak olduğuna ve sihirli özellikleri olduğuna inanılmıştır. *Mandragora autumnalis* (Şekil 28), *Mandrake* ya da merkezi nörotoksitite ve kalıcı periferik nörotoksititeye sebep olan Podophyllotoxin içeren *Podophyllum peltatum* ile karıştırılmamalıdır. *Mandragora autumnalis*, gastrointestinal tahrişe neden olan, değişen konsantrasyonlarda solanum alkaloidleri ve antikolinerjik özelliklere sahip olan tipik ve bazen de şiddetli atropin benzeri semptomlar oluşturan tropan alkaloidleri içerir. Birkaç yaprak, tohum, çilek veya kök parçasının yutulması; bulantı ve kusma, oryantasyon bozukluğu, deliryum veya zihinsel durum depresyonu, midriyazis, taşikardi, kızamık ve kuru cilt, ağır kuruluğu, gastrointestinal motilitede azalma ve idrar retansiyonu ile karakterize bir zehirlenmeye

Şekil 28

Mandragora autumnalis



neden olabilir (Piccillo vd., 2002). Şiddetli zehirlenme nöbetlere ve komaya neden olabilir ve potansiyel olarak yaşamı tehdit eder. *Mandragora autumnalis* uzman olmayan toplayıcılar tarafından *Borago officinalis* ile de karıştırılabilmektedir.

- *Hyoscyamus* türleri (*Banotu*, *Batbatotu*)

Yaprakları tropan türevi ester alkaloidler olan "hiyosiyamin", "skopolamin" ve "atropin" alkaloidlerini içermekte olup sedatif, analjezik ve antispazmodik etkilidir (Taban Akça vd., 2021). Ülkemizde özellikle Doğu Anadolu bölgesinde görülen bitki zehirlenme vakalarına sebebiyet verir. Genel etkileri ve zehirlenme belirtileri *A. belladonna* türü için belirtilenlerle aynıdır (Küçükler, 2012). Yenildiğinde; bulantı, göz bebeklerinde büyüme, adale ağrıları, nabız atışlarında zayıflama, ateş, sayıklama ve ölüm görülür.

- *Hyoscyamus niger*

Türkiye'de yetişen *en yaygın tür H. niger*'dir (Şekil 29). Bu bitkinin özellikle kökleri yanlışlıkla yabancı havuç veya hindiba diye yenilebilmektedir. Bitkinin yaprakları, tohumları ve kökleri dahil tüm kısımları, hiyosiyamin, atropin, tropan ve skopolamin gibi bazı alkaloidleri içerir (Jun vd., 2011). Eczacılıkta kullanımı olmakla birlikte, akut zehirlenmenin semptomları çok geniş olup, midriyazis, taşikardi, aritmi, ajitasyon, konvülsiyon ve koma, ağız kuruluğu, susuzluk, konuşma bozukluğu, konuşma güçlüğü, disfaji, sıcak kızamık cilt, ateş, mide bulantısı, kusma, baş ağrısı, bulanık görme ve fotofobi, idrar retansiyonu, mesanenin şişmesi, uyuşukluk, hiper refleksi, işitsel, görsel veya dokunsal halüsinasyonlar, kafa karışıklığı, oryantasyon bozukluğu, deliryum, saldırganlık ve kavgacı davranış gibi semptomlar görülür.

Şekil 29

Hyoscyamus niger



Açıklama notu. Bruskov, D., (2024), *Hyoscyamus niger*, <https://www.dreamstime.com/photos-images/hyoscyamus-toxic.html> kaynağından alınmıştır.

- *Datura* türleri (*Boruçiçeği*)

Atropin, skopolamin ve hiyosiyamin gibi tropan alkaloidleri içeren bitkinin SSS uyarıcı özelliği vardır (Nalbantoğlu vd., 2017). Çok kuvvetli antispazmodik etkilidir (Al-Snafi, 2017). Zehirlenmeler genellikle tohumların yenmesi ile meydana gelir (Şekil 30). Tohumları bazı bölgelerde uyuşturucu olarak kullanılmıştır (Küçükler, 2012). Halüsinojenik etkileri de vardır (Spina vd., 2007).

Yüksek miktarda *Datura stramonium* alımı zehirlenmeye neden olabileceği gibi; genelde delirium (halüsinasyona karşıt olarak), hipertermi, taşikardi, tuhaf davranış ve ciddi midriyazisle sonuçlanarak birkaç gün sürecektir ağır fotofobi ortaya çıkabilir. *Datura* tohumları, kırmızı biber tohumlarıyla karıştırılarak yanlışlıkla yutulabilmekte ve kazara zehirlenme meydana gelebilmektedir (Kerchner vd., 2020). *Datura* ile kirlenmiş yaban arısı balının tüketilmesi de *Datura* zehirlenmesine neden olabilir. Son zamanlarda suç amaçlı kullanımı artmıştır. *Datura* ya benzeyen trompet şeklindeki kabak (*Cucurbita sp.*) çiçekleri veya *B. suaveolens* çiçekleri ile karıştırılması sonucu İtalya'da ve Türkiye'de kazara zehirlenme vakaları bildirilmiştir.

Şekil 30

Datura sp.



Açıklama notu. Zengin vd., 2013 kaynağından alınmıştır.

Taxaceae (Porsukgiller)

- *Taxus Baccata* (*Porsuk Ağacı*)

Taxus baccata'nın yapraklarının özleri hem cinayetler hem de intiharlar için kullanılmıştır (Perju-Dumbrava vd., 2013). Tohum, kabuk ve yaprakları zehirlidir (Şekil 31). Nadiren de olsa insanlar için ölümcüldür. Zehirlenme belirtileri ağız kuruluğu, kusma, baş dönmesi, karın ağrısı, dispne, aritmi, hipotansiyon ve bilinç kaybıdır. Kanser tedavisinde faydalı etkileri olduğu gösterilmiştir.

Taxus baccata, fenolik bileşenler (örn. 3,5-dimetoksifenol), alkaloidal olmayan diterpenoidler (örn. 10-deactetilbakatin III), alkaloidal diterpenoidler (örn. paklitaksel, taksin B) veya flavonoidler

Şekil 31

Taxus baccata



Açıklama notu. Filirovska, J., *Taxus baccata*, <https://www.pexels.com/photo/branches-of-yew-8258356/> kaynağından alınmıştır.

(örn. mirisetin) ve biyoflavonoidler dahil olmak üzere karmaşık bir bileşik karışımı içerir (örneğin bilobetin) (Perju-Dumbrava vd., 2013). *Taxus* yapraklarının yutulması baş dönmesine, mide bulantısına, kusmaya, yaygın karın ağrısına, kalp durmasına, solunum felcine ve ölüme neden olabilir. Genel olarak, *Taxus* toksinleri ölümcül aritmiye sebep olmaktadır.

Zehirli Mantarlar

Mantarların sindirilmeleri güçtür, bu sebeple mantar zehirlenmeleri geç belirti verir (Coşkun vd., 2020). Kriminal ve zehirlenme olgularında mantarların tespitinde postmortem örneklerde özellikle mide muhteviyatına bakılması gerekmektedir (Gürpınar vd., 2006). Elde edilen bulgular neticesinde suçun/olayın gerçekleştiği yer tespit edilebilir.

Literatürde yer alan bazı zehirli mantarların içinde bufotenin (*Amanita citrina*), higro-aurinler (*Hygrocybe türleri*), krustilinol (*Hebeloma crustuliniforme*), illudin s (*Omphalotus olearinus*), melleoid (*Armillaria mellea*), dermosibin, dermorubin (*Dermocybe sanguinea*), konnatin, liofillin (*Lyophyllum connatum*), kserokomik asit, variegatik asit (*Boletus satanas*), sterilvelutinal, nekatoron (*Lactarius helvus*), fasikulol E ve nematolin (*Hypholoma fasciculare*) gibi toksinler bulunmaktadır (Mat, 1997).

- *Amanita muscaria* (Gelin mantarı)

6-20 cm çapında, parlak kırmızı renkli ve üzerinde çok sayıda beyaz kalıntı bulunan bir şapkaya sahiptir (Şekil 32) (Gücin vd., 1997). Sap kısmı beyaz renkli, soğana benzer çanakta yükselen beyaz halkalı yapıdadır (Michelot vd., 2003). İbotenik asit ve muscimol içerir.

Şekil 32
Amanita muscaria



- *Boletus satanas* (Şeytan mantarı)

10-30 cm çapında, yarım daire veya kubbe şeklinde, yeşilimsi gri ile kahverengi arası renklerde bir şapkası vardır (Gücin vd., 1997). Sap dip kısmında çok şişkin ve kırmızı renklidir. Kserokomik asit ve variegatik asit içerir (Şekil 33).

Şekil 33
Boletus satanas



- *Amanita pantherina*

7-10 cm çapında, zeytin yeşili ile kahverengi-sarı arasında bir renge sahip ve, üzerinde beyaz siğil benzeri kalıntılar olan bir şapkası vardır (Gücin vd., 1997). Sap kısmı çanak ile sıkıca birleşmiş, şapkaya yakın kısmında büyük ve boyuna çizgiler taşıyan halkalar bulunur (Satora vd., 2006). İbotenik asit ve muscimol içerir (Şekil 34).

Şekil 34
Amanita pantherina



- *Amanita virosa* (Ölüm Meleği)

8-10 cm çapında, beyaz ve orta kısmı sarı renkli, çöküntülü ve yumuşak bir şapkası vardır (Gücin vd., 1997). Sap kısmı düzgün ve silindirikdir (Yaratanakul, 2012). Çanak kısmı yumurta kabuğu şeklinde olup sapın orta bölgesi halkalı yapıdadır. Amanitin içerir (Şekil 35).

Şekil 35
Amanita virosa



Açıklama notu. Hampshire, G., [2013], Amanita virosa, https://www.flickr.com/photos/gails_pictures/8552148482/ kaynağından aynen alınmıştır.

-*Amanita phalloides* (Ölüm başlığı)

8-10 cm çapında, yumuşak, yeşilimsi-sarı veya zeytin yeşili renkte, merkezi kısmı koyu renkli, üzeri çizgili bir şapkası vardır (Güçin vd., 1997). Sap kısmı beyaz, çanak kısmı soğan şeklinde ve halka kısmı düzensizdir (Yaratanakul, 2012). Genel itibari ile tatlımsı bir kokusu vardır. Amanitin içerir (Şekil 36).

Şekil 36
Amanita phalloides



Sonuç

Bitkiler ve mantarlar, insan sağlığı için öldürücü derecede hayati problemlere ve hayvanlarda farklı şekilde rahatsızlıklara neden olan toksik maddeler içerebilmektedir (Alotaibi vd., 2021). Şifalı bitkiler, doza bağlı olmakla birlikte, bir yaşam veya ölüm kaynağıdır. Ayrıca yüksek dozlarda, cinayet veya intihar etmek için öldürücü zehirli maddeler olarak kullanılabilir. Suistimal edilen psikoaktif bitki ya da mantarlar da eski zamanlardan beri hem güvenlik açısından hem de halk sağlığı açısından ciddi bir problem olarak karşımıza çıkmaktadır (Kayaalp, 2009). Olay yeri inceleme uzmanları, olay mahallinde bu zehirli-şifalı bitki/mantarlardan iz ve kalıntı materyalleri toplayarak, bunların adli delil olarak kullanılabilmesini sağlayabilirler. Adli bilimler uzmanlarının ise bu delillerle suçun ardındaki sırları deşifre edebilmesinin yanısıra, adli bilimlerin alanında kullanılan çeşitli moleküler analizler ve uygulamalarla çeşitli vakaların aydınlatılması da mümkün olabilir. Botanik kaynaklı bulgulara çoğu zaman delil niteliği kazandırılmamasının başlıca nedeni, ceza soruşturmalarında görevli olan çoğu uzmanın botanik konusundaki bilgi eksikliğinden ileri gelmektedir. Son yıllarda alanında uzman araştırmacılar ve bilim adamları bu algıyı değiştirmek için bitki/mantar sistematiği, bitki anatomisi, palinoloji, bitki/mantar ekolojisi ve ilgili alanlarda araştırmalar yaparak adli bilimlerin alanına özellikle bitkilerin/mantarların ve bitkisel kaynaklı zehirlenmelerin bulgudan delile dönüştürülmesinde nelere dikkat edilmesi gerektiği hususlarında katkıda bulunmaktadırlar.

Adli uzmanlar, bitki/mantar kaynaklı toksisiteye dayanarak olayın intihar mı, cinayet mi yoksa kazara mı olduğunu anlayabilirler. Bitki/mantar toksinlerini içeren gıda zehirlenmelerinin çoğu,

genellikle yenilebilir bitkiler yerine yanlışlıkla alınan zehirli bitkilerin/mantarların kazara alınmasından kaynaklanmaktadır (Taniguchi vd., 2021). Ayrıca, bazı bitki/mantar toksinleri de intihar amaçlı veya gıda terörizminde potansiyel olarak kullanılmaktadırlar. Bitkilerin/mantarların toksisiteye sebep olan etken maddelerini ve bileşenlerini bilmek, metabolizma üzerindeki etkilerini anlamaya ve toksisitesini değerlendirmeye yardımcı olur. Kromatografi ve spektroskopik yöntemler gibi analitik tekniklerin teknolojilerindeki ilerlemeler, farklı fitokimyasal sınıfların analizine imkan tanımaktadır. Bu da fitokimyasalların farmakolojik ve toksikolojik etkilerini belirlemenin temeli olarak kabul edilir. Fitotoksinlerin terapötik indeksi dar olduğundan, suç amaçlı ya da kimyasal veya biyolojik silah olarak kullanılacak bu maddelerin hızlı tespitinde adli bilimcilere önemli görevler düşmektedir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declare that there are no competing interests

Kaynaklar

- Ahmad, N., Mishra, A., Ahsan, F., vd. (2016). Ricinus communis: Pharmacological actions and marketed medicinal products. *World Journal of Pharmaceutical and Life Sciences*, 2(6), 179-188.
- Al-Snafi, A. E. (2017). Medical importance of *Datura fastuosa* (syn: *Datura metel*) and *Datura stramonium* - A review. *IOSR Journal Of Pharmacy*, 7(7), 43-58. [Crossref]
- Alotaibi, S. S., Alshoaibi, D., Alamari, H., vd. (2021). Potential significance of medicinal plants in forensic analysis: A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 28(7), 3929-3935. [Crossref]
- Anadón, A., Martínez-Larrañaga, M. R., Ares, I., vd. (2018). Poisonous Plants of the Europe. In *Veterinary Toxicology* (pp. 891-909). Elsevier. [Crossref]
- Aniszewski, T. (2007). Alkaloids-Secrets of Life:: Alkaloid Chemistry, Biological Significance, Applications and Ecological Role (1st ed.). Elsevier.
- Başgöl, A. (2003). Deli Bal Zehirlenmesi. *Yoğun Bakım Dergisi*, 3(1), 33-36.
- Berber, S. (2021). *Uyusturucu Suçları Uyusturucu Madde Ticareti ve Uyusturucu Kullanma Suçu*. Retrieved from <https://sagcanberber.com/uyusturucu-madde-ticareti-ve-uyusturucu-kullanma-sucu/>
- Bisset, N. G. (1981). Arrow poisons in China. part ii. aconitum -botany, chemistry, and pharmacology. *Journal of Ethnopharmacology*, 4(3), 247-336. [Crossref]
- Bnouham, M., Zahra Merhfour, F., Elachoui, M., Legssyer, A., Mekhfi, H., Lamnaouer, D., & Ziyat, A. (2006). Toxic effects of some medicinal plants used in Moroccan traditional medicine. In *Moroccan J Biol* (Vol. 2, Issue 3).
- Bock, J. H., & Norris, D. O. (2016). Forensic plant science. *Academic Press*. [Crossref]
- Bruskov, D., (2024), *Hyoscyamus niger*, <https://www.dreamstime.com/photos-images/hyoscyamus-toxic.html>
- Brvar, M., Ploj, T., Kozelj, G., vd. (2004). Case report: fatal poisoning with *Colchicum autumnale*. *Critical Care*, 8(1), 1-4. [Crossref]
- Buyuk, Y., Ozdes, T., Uzun, I., Ozbay, M., & Kumral, B. (2013). Death with Hemlock Poisoning: a case report. *Turkish Journal of Forensic Medicine*, 27(3), 199-204. <https://doi.org/10.5505/adlitip.2013.59389>
- Cebeci, D., Gürkaş, E., Maraş Genç, H., & Ceylan, N. (2020). Atropa Belladonna Poisoning in a Child with Acute Psychiatric Findings. *Journal of Pediatric Emergency and Intensive Care Medicine*, 7, 36-38. [Crossref]

- Chan, T. (2014). Aconitum Alkaloid Poisoning Related to the Culinary Uses of Aconite Roots. *Toxins*, 6(9), 2605–2611. [Crossref]
- Chan, Y.-T., Wang, N., & Feng, Y. (2021). The toxicology and detoxification of Aconitum: traditional and modern views. *Chinese Medicine*, 16(1), 61. [Crossref]
- Coşkun, N. C., & Kaya, E. (2020). Zehirli Mantar Toksinlerinin Analiz Yöntemleri. *Konuralp Tıp Dergisi*, 148–158. [Crossref]
- Coyle, H. M. (2004). *Forensic botany: principles and applications to criminal casework*. CRC Press.
- Cuéllar-Cruz, M., Pérez, K. S., Mendoza, M. E., & Moreno, A. (2020). Biocrystals in Plants: A Short Review on Biomineralization Processes and the Role of Phototropins into the Uptake of Calcium. *Crystals*, 10(7), 591. [Crossref]
- Cumpston, K. L., Vogel, S. N., Leikin, J. B., & Erickson, T. B. (2003). Acute airway compromise after brief exposure to a Dieffenbachia plant. *The Journal of Emergency Medicine*, 25(4), 391–397. <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2003.02.005>
- Dasgupta, A. (2019). Abuse of Magic Mushroom, Peyote Cactus, LSD, Khat, and Volatiles. In *Critical Issues in Alcohol and Drugs of Abuse Testing* (pp. 477–494). Elsevier. doi: 10.1016/B978-0-12-815607-0.00033-2
- Demir, C., Dülger, C., Mete, R., Arslan, Ş., & Dilek, İ. (2006). Atropa Belladonna İle Zehirlenme: Bir Olgu Sunumu. *Van Tıp Dergisi*, 13(2), 61–63.
- Dursun, S. (2010). *Karayemişte (Prunus laurocerasus L.) siyanür içerikli amigdalin ve prunasin miktarlarının belirlenmesi*. Ordu Üniversitesi.
- Elmastas, M., Genc, N., Demirtas, I., Aksit, H., & Aboul-Enien, H. Y. (2013). Isolation and Identification of Functional Components in Seed of Cherry Laurel (*Laurocerasus officinalis* Roem.) and Investigation of Their Antioxidant Capacity. *Journal of Biologically Active Products from Nature*, 3(2), 115–120. <https://doi.org/10.1080/22311866.2013.817736>
- Erkul, C., & Özenoğlu, A. (2021). Bakla (Fabasea) mı Suçlu Genlerinin mi? *Türkiye Sağlık Bilimleri ve Araştırmaları Dergisi*, 42–53. [Crossref]
- Ethelberg, S., (2022), *Papaver somniferum*, <https://www.inaturalist.org/photos/223924155>
- Farzaei, M. H., Bayrami, Z., Farzaei, F., Aneva, I., Das, S. K., Patra, J. K., Das, G., & Abdollahi, M. (2020). Poisoning by Medical Plants. *Archives of Iranian Medicine*, 23(2), 117–127.
- Filirovska, J., *Taxus baccata*, <https://www.pexels.com/photo/branches-of-yew-8258356/>
- Finkelstein, Y., Aks, S. E., Hutson, J. R., Juurlink, D. N., Nguyen, P., Dubnov-Raz, G., Pollak, U., Koren, G., & Bentur, Y. (2010). Colchicine poisoning: the dark side of an ancient drug. *Clinical Toxicology*, 48(5), 407–414. [Crossref]
- Gaillard, Y., Blaise, P., Darré, A., Barbier, T., & Pépin, G. (2003). An Unusual Case of Death: Suffocation Caused by Leaves of Common Ivy (*Hedera helix*). Detection of Hederacoside C, α -Hederin, and Hederagenin by LC–EI/MS–MS. *Journal of Analytical Toxicology*, 27(4), 257–262. doi: 10.1093/jat/27.4.257 <https://doi.org/10.1093/jat/27.4.257>
- Gücin, F., & Işıloğlu, M. (1997). Türkiye'nin Zehirli Mantarları. In A. Mat (Ed.), *Türkiye'de Mantar Zehirlenmeleri Ve Zehirli Mantarlar* (pp. 9–122).
- Gupta, R. C. (2018). Non-Anticoagulant Rodenticides. In *Veterinary Toxicology* (pp. 613–626). Elsevier. [Crossref]
- Gürpınar, T., & Aşıröz, M. (2006). The Responsibility Of Physician In Intoxications. *Türkiye Klinikleri Journal of Surgical Medical Sciences*, 2(50), 56–62.
- Hall, D. W., & Byrd, J. (2012). *Forensic botany: a practical guide*. John Wiley & Sons. [Crossref]
- Hampshire, G., (2013), *Amanita virosa*, https://www.flickr.com/photos/gails_pictures/8552148482/
- Jun, L., Ji, S., Xinwen, Y., Jingkuan, S., Qiming, M., & Tingguo, K. (2011). Chemical and Pharmacological Researches on *Hyoscyamus niger*. *Chinese Herbal Medicines*, 3(2), 117–126.
- Kayaalp, A. (2009). *Kayaalp Rasyonel Tedavi Yönünden Tıbbi Farmakoloji*. Pelikan Yayıncılık.
- Kerchner, A., & Farkas, Á. (2020). Worldwide poisoning potential of Brugmansia and Datura. *Forensic Toxicology*, 38(1), 30–41. [Crossref]
- Khajja, B. S., Sharma, M., & Singh, R. (2011). Forensic Study of Indian Toxicological Plants as Botanical Weapon (BW): A Review. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 01(02). [Crossref]
- Kinder, D. H., Adams, K. R., & Wilson, H. J. (2017). Solanum jamesii: Evidence for Cultivation of Wild Potato Tubers by Ancestral Puebloan Groups. *Journal of Ethnobiology*, 37(2), 218. [Crossref]
- Kirchmair, M., & Pöder, R. (2011). Fatal renal failure caused by Cortinarius mushrooms. *Pediatric Nephrology*, 26(3), 487–488. [Crossref]
- Kishorenath, (2021), *Strychnos nux-vomica*, <https://uk.inaturalist.org/observations/96472538>
- Kılıç, Ö., Aktaş, İ., & Bilgiç, S. (2020). *Ön Lisans Toksikoloji Kitabı I.Cilt* (İ. Aktaş (ed.)). Ankara.
- Knudsen, B. F., & Kaack, K. V. (2015). A Review Of Human Health And Disease Claims For Elderberry (*Sambucus nigra*) Fruit. *Acta Horticulturae*, 1061, 121–131. [Crossref]
- Koca, İ., & Koca, A. F. (2007). Poisoning by mad honey: A brief review. *Food and Chemical Toxicology*, 45(8), 1315–1318. [Crossref]
- Köse, M., & Kardeş, Y. M. (2021). Baklanın (*Vicia faba* L.) Besinsel İçeriği ve Tıbbi Açidan Yararları. *Journal of the Institute of Science and Technology*, 2371–2379. [Crossref]
- Küçükler, O. (2012). *Adli Botanik Ders Notları*. İstanbul Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Botanik Anabilim Dalı.
- Lande, A. (1962). The Single Convention On Narcotic Drugs. *International Organization*, 16(4), 776–797.
- Maior, M., & Dobrotă, C. (2013). Natural compounds with important medical potential found in *Helleborus* sp. *Open Life Sciences*, 8(3), 272–285. [Crossref]
- Majeed, M., & Rehman, R. U. (2021). Phytochemistry, Pharmacology, and Toxicity of an Epiphytic Medicinal Shrub *Viscum album* L. (White Berry Mistletoe). In *Medicinal and Aromatic Plants* (pp. 287–301). Cham: Springer International Publishing. [Crossref]
- Manganyi, M. C., Tlatsana, G. S., Mokoroane, G. T., Senna, K. P., Mohaswa, J. F., Ntsayagae, K., Fri, J., & Ateba, C. N. (2021). Bulbous Plants Drimia: “A Thin Line between Poisonous and Healing Compounds” with Biological Activities. *Pharmaceutics*, 13(9), 1385. [Crossref]
- Martínez, M. A., & Ballesteros, S. (2019). Opium poisoning in modern times. An overview. *Forensic Science International*, 302, 109848. [Crossref]
- Mat, A. (1997). Mantarlardaki Zehirli Bileşikler. In A. Mat (Ed.), *Türkiye'de Mantar Zehirlenmeleri Ve Zehirli Mantarlar* (pp. 124–144). Tübitak Başvuru Kitapları.
- Mei, N., Guo, L., Fu, P. P., Fuscoe, J. C., Luan, Y., & Chen, T. (2010). Metabolism, Genotoxicity, and Carcinogenicity of Comfrey. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B*, 13(7–8), 509–526. [Crossref]
- Michelot, D., & Melendez-Howell, L. M. (2003). *Amanita muscaria*: chemistry, biology, toxicology, and ethnomycology. *Mycological Research*, 107(2), 131–146. [Crossref]
- Milne, R. (2017). *Rhododendron*. London: Reaktion Books.
- Nalbantoğlu, A., Aslan, M. T., Samancı, N., & Yaman Taş, D. (2017). Datura Stramonium Zehirlenmesi Sonucu Antikolinergik Sendrom: İki Olgu Sunumu. *Zeynep Kamil Tıp Bülteni*, 48(4). [Crossref]
- Nard, P. (2021), *Cicuta virosa*, <https://identify.plantnet.org/tr/k-world-flora/observations/1011528655>
- Native Plant Trust Go Botany, (2024), *Conium maculatum-poison-hemlock*, <https://gobotany.nativeplanttrust.org/species/conium/maculatum/>
- Ninan, E. C., & James, E. (2019). Acute disseminated encephalomyelitis due to *abrus precatorius* poisoning – A case report. *Saudi Pharmaceutical Journal*, 27(4), 521–524. [Crossref]
- Nyirimigabo, E., Xu, Y., Li, Y., Wang, Y., Agyemang, K., & Zhang, Y. (2014). A review on phytochemistry, pharmacology and toxicology studies of *Aconitum*. *Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 67(1), 1–19. [Crossref]
- Okuda, H., Fukushima, H., Nakatsukasa, T., Yamamoto, K., Kaizaki-Mitsumoto, A., Numazawa, S., & Kamijo, Y. (2024). Fatal poisoning due to ingestion of boiled oleander leaf extract. *Journal of Forensic Sciences*, 69(1), 351–354. [Crossref]

- Öztürk, D. (2020). Helleborus orientalis lam. (Ranunculaceae) Türünün Çiçek, Tohum ve Meyve Yapısının İncelenmesi. *ISPEC Journal of Agricultural Sciences*, 4(4), 997–1005. [Crossref]
- Pang, C., Ng, H., & Lau, F. (2010). Oral Mucosal Irritating Plant Ingestion in Hong Kong: Epidemiology and Its Clinical Presentation. *Hong Kong Journal of Emergency Medicine*, 17(5), 477–481. [Crossref]
- Patil, A., Paikrao, H. M., & Patil, S. (2023). *The Chemistry and biology of the plant poisons and their forensic significance* (pp. 255–321). [Crossref]
- Patocka, J. (2018). Highly toxic ribosome-inactivating proteins as chemical warfare or terrorist agents. *International Review of the Armed Forces Medical Services*, 92(3), 1–11.
- Patočka, J., Pita, R., & Kuča, K. (2012). Gyromitrin, Mushroom Toxin Of Gyromitra spp. *Military Medical Science Letters*, 81(2), 61–67. [Crossref]
- Perju-Dumbrava, D., Morar, S., Chiroban, O., Lechintan, E., & Cioca, A. (2013). Suicidal poisoning by ingestion of Taxus Baccata leaves. Case report and literature review. *Romanian Journal of Legal Medicine*, 21(2), 115–118. [Crossref]
- Piccillo, G. A., Mondati, E. G., & Moro, P. A. (2002). Six Clinical Cases Of Mandragora Autumnalis Poisoning: Diagnosis And Treatment. *European Journal Of Emergency Medicine*, 9(4), 342–347.
- Roulard, R., Fontaine, J.-X., Jamali, A., Cailleu, D., Tavernier, R., Guillot, X., Rhazi, L., Petit, E., Molinie, R., & Mesnard, F. (2017). Use of qNMR for speciation of flaxseeds (Linum usitatissimum) and quantification of cyanogenic glycosides. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 409(30), 7011–7026. [Crossref]
- Salem, M. A., Zayed, A., & Ezzat, S. M. (2021). Psychoactive plants and phytochemicals. In *Phytochemistry, the Military and Health* (pp. 121–150). Elsevier. [Crossref]
- Sarmiento, L., (2024), *Urginea maritima*, <https://www.jardineriaon.com/cebolla-albarrana-urginea-maritima.html>
- Satora, L., Pach, D., Ciszowski, K., & Winnik, L. (2006). Panther cap Amanita pantherina poisoning case report and review. *Toxicon*, 47(5), 605–607. [Crossref]
- Schep, L. J., Slaughter, R. J., Vale, J. A., & Wheatley, P. (2014). Was the death of Alexander the Great due to poisoning? Was it Veratrum album? *Clinical Toxicology*, 52(1), 72–77. [Crossref]
- Schmitz, P. (2015), *Abrus precatorius*, <https://identify.plantnet.org/tr/k-world-flora/observations/1017409921>
- Smolinske, S. C., Daubert, G. P., & Spoerke, D. G. (2007). Poisonous plants. In M. W. Shannon, S. W. Borron, M. J. Burns, L. M. Haddad, & J. F. Winchester (Eds.), *Haddad and Winchester's clinical management of poisoning and drug overdose*. Saunders/Elsevier. [Crossref]
- Spina, S. P., & Taddei, A. (2007). Teenagers with Jimson weed (Datura stramonium) poisoning. *CJEM*, 9(06), 467–469. [Crossref]
- Taban Akça, K., & Eryugur, N. (2021). Alkaloit kaynağı olarak iki bano-tu: Hyoscyamus niger L. & Hyoscyamus reticulatus L. *Biological Diversity and Conservation*. [Crossref]
- Taniguchi, M., Minatani, T., Miyazaki, H., Tsuchihashi, H., & Zaitso, K. (2021). A highly sensitive quantification method for 12 plant toxins in human serum using liquid chromatography tandem mass spectrometry with a quick solid-phase extraction technique. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 192, 113676. [Crossref]
- Urech, K., & Baumgartner, S. (2015). Chemical Constituents of Vis-cum album L.: Implications for the Pharmaceutical Preparation of Mistletoe. In K. S. Zänker & S. V. Kaveri (Eds.), *Mistletoe: From Mythology to Evidence-Based Medicine* (Vol. 4, pp. 11–23). [Crossref]
- Wang, Y., Qin, X., Tan, Y., & Niu, L. (2020). Application of Common Poisonous Garden Plants in Kunming City. *Journal of Landscape Research*, 12(1), 27–32.
- Wink, M. (2010). *Mode of action and toxicology of plant toxins and poisonous plants Human evolution View project Evolution View project*. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/279671686>
- Worbs, S., Köhler, K., Pauly, D., Avondet, M.-A., Schaer, M., Dorner, M. B., & Dorner, B. G. (2011). Ricinus communis Intoxications in Human and Veterinary Medicine—A Summary of Real Cases. *Toxins*, 3(10), 1332–1372. [Crossref]
- Yafet-Aji, D., Çullu, F., Çalışkan, S., & Mat, A. (1997). Mantar Zehirlenmelerinde Klinik Tanı ve Tedavi. In A. Mat (Ed.), *Türkiye'de Mantar Zehirlenmeleri Ve Zehirli Mantarlar*.
- Yaratanakul, M. (2012). *Yenen Ve Zehirli Mantarların Moleküler Tanımlanması*. Muğla Üniversitesi.
- Yi, H. Y., & Lee, J. Y. (2021). Poisoning due to consumption of horse chestnut seed. *Clinical and Experimental Emergency Medicine*, 8(4), 333–335. [Crossref]
- Yılmaz, O., & Mısırlıoğlu, D. (1995). Helleborus Orientalis Kökleriyle Oluşan Zehirlenmelerin Toksikolojik ve Patolojik Özellikleri. *Yüzüncü Yıl Üniversitesi Veteriner Fakültesi Dergisi*, 6(1), 13–20.
- Zell, H., (2009), *Atropa belladonna, Solanaceae, Deadly Nightshade, fruits; Botanical Garden KIT, Karlsruhe, Germany*, https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/8/87/Atropa_belladonna_003.JPG

BÖLÜM 3

ADLİ PALİNOLOJİ

Nihan ÇAKIR
Edibe ÖZMEN BAYSAL

Adli Palinoloji

Forensic Palynology

BÖLÜM HAKKINDA

Adli bilimlerin bir dalı olan adli palinoloji, özellikle son yıllarda kriminal olayların çözülmesinde giderek önem kazanmıştır. Davalarda delil olarak kullanılan palinolojik materyaller içerisinde polenler, sporlar, mikro canlılar ve mikro fosiller yer almaktadır. Bu palinolojik materyaller olay yeri, şüpheli şahıslar, mağdurlar veya eşyalar üzerindeki toz, toprak, çamur ve bitkilerden elde edilmektedir. Olay yeri, olay zamanı ve şüpheliler hakkındaki ipuçları, bu örneklerin uygun şekilde alınarak laboratuvarında incelenmesi ve polen içeriğinin tanımlanması ile elde edilebilmektedir. Adli palinolojik analizler hırsızlık, cinayet, uyuşturucu madde kaçakçılığı, tarihi eser kaçakçılığı, tecavüz ve kundakçılık gibi olgularda aydınlatıcı olabilmektedir.

Anahtar kelimeler: Adli bilimler, delil, palinoloji, polen, spor, palinomorf

ABOUT the CHAPTER

Forensic palynology, a branch of forensic sciences, has become increasingly important in solving criminal cases, especially in recent years. As evidence used palynological materials include pollen, spores, microorganisms, and microfossils. These palynological materials are obtained from dust, soil, mud and plants remains that found on the crime scene, suspects, victims or objects. The clues about the crime scene, the time of the crime and the suspects can be obtained by analyzing these appropriately taken samples in the laboratory and identifying the pollen content. Forensic palynological analyses can be enlightening in the cases of burglary, murder, drug trafficking, historical artifacts trafficking, rape and arson.

Keywords: Forensic sciences, evidence, palynology, pollen, spore, palynomorph

Giriş

Palinoloji, Yunanca "palinein" kelimesinden türemiş olup; toz yapmak, serpmek anlamına gelir. Palinoloji, spor, polen ve diğer palinomorflarla (tek ya da çok hücreli mikroskopik fosil veya canlılarla) ilgilenen bilim dalıdır. Bu bilim dalı daha çok biyoloji ve jeolojinin ortak çalışma alanını oluşturur. Botanikçi, jeolog ve arkeologların öncülük ettiği palinolojik çalışmalar, teknolojik ilerlemelerin de etkisiyle geniş bir araştırma alanı haline gelmiş ve Aeropalinoloji, İatropalinoloji, Kryopalinoloji, Farmakopalinoloji, Melissopalinoloji, Arkeopalinoloji ve Adli Palinoloji gibi farklı alt çalışma alanlarının ortaya çıkmasına olanak sağlamıştır (Erdtman, 1969).

Birçok ülkede kriminal olayların çözümünde kişisel hak ve özgürlüklerin korunumu göz önünde bulundurularak "suçludan yola çıkarak delile ulaşmak değil, delilden yola çıkarak suçlulara ulaşma" yöntemi tercih edilir. Adli palinoloji, olay yerinden, şüpheli şahıslardan, mağdur kişilerden veya eşyalar üzerinden toz, toprak, çamur ve bitki gibi materyaller içerisinde bulunan spor, polen ve diğer palinomorfları inceleyen bilim dalıdır ve kriminal olayların çözülmesinde önemli bir yere sahiptir (Bryant, 1998). Adli olgularda, spor, polen ve palinomorfların tespitini, tiplendirmesini ve karşılaştırmasını yaparak mahkemeler için delil elde edilmesini sağlar. Hırsızlık, cinayet, ırza geçme, soykırım, terörizm, uyuşturucu madde pazarlama, saldırı ve hırsızlık, kundakçılık, kalpazanlık, illegal ithalat ile ilgili birçok olguda kullanılmıştır (Varlık, 2021).

Bu bölümde kriminal olayların aydınlatılmasında kullanılabilecek delillerden ve olay yerindeki materyallerden elde edilen bu deliller sayesinde fail, mağdur ve olay yeri arasında kurulabilecek ilişkilerden bahsedilecektir.

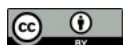


Nihan Çakır

Edibe Özmen Baysal

Hacettepe Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Ankara, Türkiye
E-posta: nihan.eminoglu@gmail.com
edibeozmen@gmail.com

Bu bölümü alıntıyla / Cite this chapter as:
Çakır, N., Özmen Baysal, E. (2024). Adli palinoloji. G. Filoğlu & Ö. Bülbül (Ed). *Adli biyoloji: Doğanın izleriyle adaletin peşinde I* içinde (s. 58-63). İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

Sporlar, Polenler ve Diğer Palinomorflar

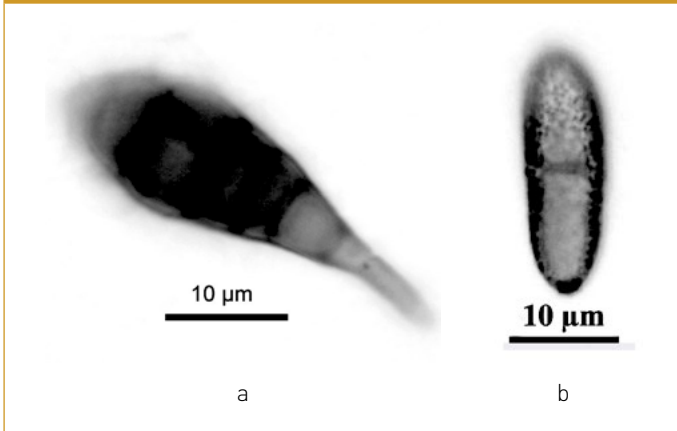
Sporlar, tohumlu bitkilerin eşeysiz üreme birimleridir. Ana bireyden ayrılan spor, uygun bir ortam bulduğunda, döllenme olmaksızın çimlenerek yeni bir birey meydana getirme yeteneğine sahiptir. Sporlarda kromozom sayısı taksondan taksona ya da sporun özelliğine bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Spor ve polenlerin etrafı *sporoderm* adı verilen bir duvarla kaplıdır. Sporoderm en dışta *perin*, ortada *ekzin* ve en içte *intin* adı verilen 3 katmandan oluşur. Sporlar, rüzgarla taşınırlar ve yılın hemen hemen her döneminde nadir de olsa atmosferde bulunurlar (Şekil 1).

Polenler, tohumlu bitkiler tarafından üretilen erkek üreme birimleridir. Polen şekli, sporodermin yapısı, ornamentasyon tipi, apertür tipi ve sayısı gibi morfolojik özellikleri taksondan taksona farklılık gösterir (Bryant vd., 2010). Adli olayların çözülmesinde polenlerin dikkate alınan özelliklerinden birisi ekzin tabakalanmasıdır. Yüksek yapılı bitkilerin polenlerinde ekzin tabakalanması oldukça belirgindir. Ekzin tabakalarının adlandırılmasında halen Erdtman ve Faegri-Iversen tarafından geliştirilen terminolojiler kullanılır (Şekil 2) (Erdtman, 1969; Faegri ve Iversen, 1975).

Şekil 1

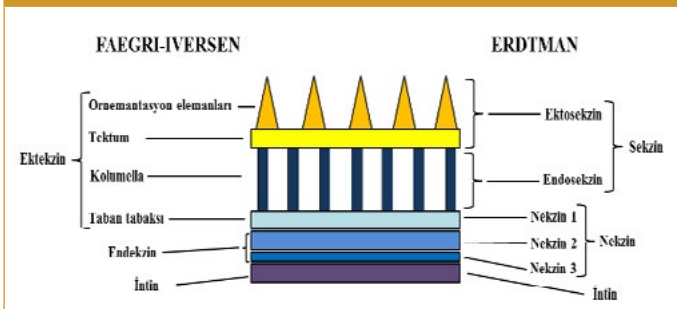
a. *Alternaria*, b. *Cladosporium* taksonlarına ait spor mikrofotografaları



Açıklama notu. Özmen, E., 2012, Ankara ili atmosferik spor ve polenlerinin araştırılması. [Doktora Tezi], Hacettepe Üniversitesi kaynağından uyarlanmıştır.

Şekil 2

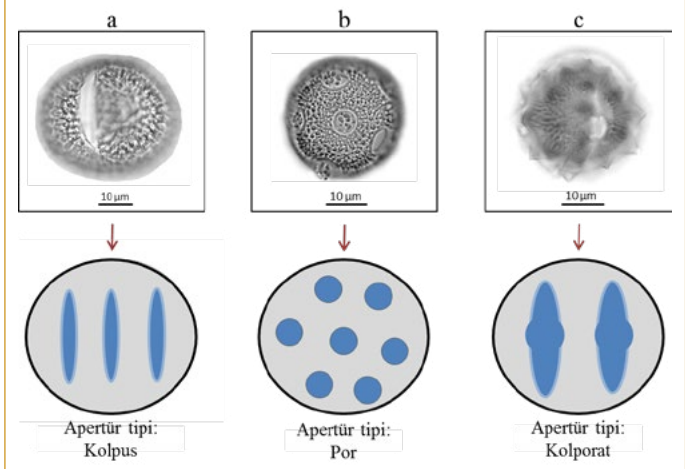
Faegri-Iversen ve Erdtman'a göre ekzin tabakalanması



Açıklama notu. Erdtman, G., 1969, Handbook of palynology. Hafner Publishing Co, New York. ve Faegri, K. & Iversen, J., 1975, Textbook of pollen analysis. Hafner Press, Munksgaard, Copenhagen kaynaklarından uyarlanmıştır.

Şekil 3

a. *Limonium*, b. *Caryophyllaceae* c. *Asteraceae* taksonlarına ait polen mikrofotografaları ve apertür tipleri



Açıklama notu. Özmen, E., 2012, Ankara ili atmosferik spor ve polenlerinin araştırılması. [Doktora Tezi], Hacettepe Üniversitesi ve Çakır, N., 2019, Mersin ili atmosferik polen ve sporlarının araştırılması. [Doktora Tezi] Hacettepe Üniversitesi kaynaklarından uyarlanmıştır.

Polenler, tohumlu bitkiler tarafından üretilen erkek üreme birimleridir. Polen şekli, sporodermin yapısı, ornamentasyon tipi, apertür tipi ve sayısı gibi morfolojik özellikleri taksondan taksona farklılık gösterir (Bryant vd., 2010). Adli olayların çözülmesinde polenlerin dikkate alınan özelliklerinden birisi ekzin tabakalanmasıdır. Yüksek yapılı bitkilerin polenlerinde ekzin tabakalanması oldukça belirgindir. Ekzin tabakalarının adlandırılmasında halen Erdtman ve Faegri-Iversen tarafından geliştirilen terminolojiler kullanılır (Şekil 2) (Erdtman, 1969; Faegri ve Iversen, 1975).

Bitkiler mevsimsel olarak her yıl aynı dönemde çiçeklenirler ve polen üretirler. Bu dönemde olgunlaşan polenler rüzgâr, su, böcek veya diğer hayvanlar yardımıyla çevreye dağılırlar (Şenkul, 2014; Tauber, 1965).

Diğer Palinomorflar

Palinomorflar genellikle, toprak, sedimentar kayalar, göl tabanları, denizler ve buzullar gibi çeşitli ortamlarda birikmiş çökelti-lerde (sedimenterde) ve kömür, doğal gaz ve petrol yataklarında bulunan tek ya da çok hücreli mikroskobik fosil veya canlılardır. Palinomorflar, paleoçevresel değişimleri tayin etmede kullanılan önemli belirteçlerden birisidir. İklim ve vejetasyon düzeni hakkında bilgi verirler. Palinomorflar, çok geniş bir çeşitliliğe sahip olup, genellikle polen preparatlarında tanımlanırlar (Biltekin vd., 2017)

Spor, Polen ve Palinomorfların Adli Palinolojik Delil Olarak Tercih Edilme Nedenleri

Palinolojik örnekler, mikroskobik yapıda olmaları nedeni ile olay yerinde fark edilememektedir. Bu nedenle, suçlu, mağdur ve şüpheli, palinolojik örneklerle temas halinde olduğunun farkında değildir. Bu sayede, olayla ilgili ele geçirilen her türlü nesne üzerine palinolojik örnekler bulaşabilmektedir. Bu bulaşma, bitkiye direkt temasla olabileceği gibi, temas ettiği yüzeylerde ve aletler üzerinde bulunan spor, polen ve palinomorfları farkına varmadan ayakkabı ve kıyafetlerine bulaştırabilmektedir. Günümüzde olay

yerinde herhangi bir delil bırakmamaya özen gösteren suçluların tespitinde; kıyafetlerinden, saçlarından, ayakkabılarından, arabalarından vb. yerlerden olay yeri ekipleri tarafından usulünce alınan palinolojik örneklerden yararlanılarak, olay yeri ve zamanı tespitine gidilebilmektedir (Balcioglu, 2011). Spor, polen ve palinomorfların delil niteliği taşımasına olanak sağlayan önemli özellikleri şu şekilde sıralanabilir:

- Mikroskopik boyuttadırlar ve çıplak gözle görülemezler.
- Olumsuz koşullara dayanıklı dış katmanlara sahiptirler.
- Dış katmanları, yüksek sıcaklıklara (+400 °C), kuvvetli asitlere (HCl, H₂SO₄ ve HF) ve mikroorganizmalara karşı dayanıklıdır.
- Özellikle spor ve polenler, fazla sayıda üretilmektedirler.
- Değişik bitkilere ait polenler rüzgâr, hayvanlar ve su gibi farklı dağılım yollarına sahiptirler.
- Bitki taksonlarının tozlaşma yani polen üretme dönemleri birbirinden farklıdır.
- Polen ve sporların morfolojik özellikleri taksona özgüdür. Böylece hangi taksona ait oldukları saptanabilir (Bryant ve Mildenhall, 1998).

Adli Palinolojinin Tarihi

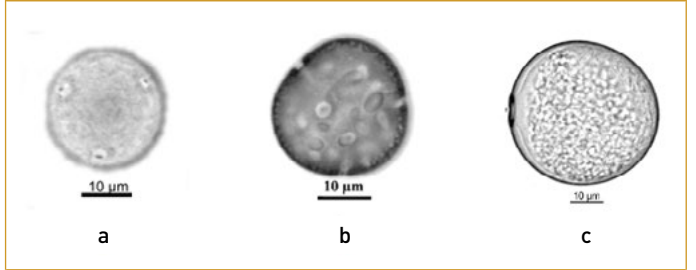
Polenler ilk olarak 1916'da İsveç'li bilim adamı Lennart Von Post tarafından analiz edilmiştir. Ancak, polenlerin adli uygulamalarda kullanımına 1950'li yılların sonunda başlanmıştır. Daha sonra yapılan çalışmalarda, palinolojik delillerin yüksek sıcaklıklara, kuvvetli asitlere, mantar ve bakteri faaliyetlerine karşı son derece dayanıklı olduğu, ayrıca yok edilemeyeceği tespit edildikten sonra ilk defa 1959 yılında İsveç ve Avusturya'da görülen iki farklı davada kullanılmış ve resmi kayıtlara geçmiştir (Bryant, 2009; Bryant vd., 2010; Doğan, 2011; Mildenhall, 1990; Mildenhall vd., 2006; Wiltshire, 2006a; Wiltshire, 2009).

İsveç'te 1959 yılında gerçekleşen cinayet olayında Mayıs ayında bir kadın cesedi bulunur. Cesedin bulunduğu yer konusunda polis bir takım şüpheleri vardır. Bu nedenle cesedin kıyafetleri üzerinde bulunan toprak kalıntılarının İsveç Üniversitesi'ndeki palinologlar tarafından incelenmesi istenir. Ayrıca, cesedin bulunduğu yerden de toprak örnekleri alınır. Yapılan incelemeler sonucunda kıyafetler üzerinden analiz edilen sinirotu (*Plantago*), labada (*Rumex*) ve buğdaygiller (*Poaceae*) polenlerine cesedin bulunduğu yere ait örneklerde rastlanmamıştır (Şekil 4). Polenlerden yararlanarak maktulün, cesedin bulunduğu yerden farklı bir yerde öldürüldüğü ve daha sonra bu alana bırakıldığı tespit edilmiştir. Bu sonuçlar delil olarak mahkemeye sunulmuş ve polenlerin kanıt olarak kabul gördüğü ilk dava olarak literatüre geçmiştir (Bryant vd., 2010; Doğan, 2011).

Avusturya'da 1959'da bir cinayet işlenmiştir. Bu olayda ise, iki erkek arkadaş, bot ile Tuna nehrinde gezintiye çıkar ve arkadaşlarından biri kaybolur. Bunun üzerine polis adam ile birlikte seyahat eden arkadaşının ayakkabılarından çamur kalıntıları alır ve incelemek üzere palinoloji uzmanına gönderir. Yapılan incelemeler sonucunda ayakkabılardan alınan numunelerde ladin (*Picea*), söğüt (*Salix*) ve akçaağaç (*Acer*) polenleri ve miyosen devrinden kalma bir ceviz (*Juglans*) türüne ait fosilleşmiş polenler tespit edilmiştir. Şekil 5'te sözü edilen polenlerin örnek görüntüleri yer almaktadır. Olay yeri araştırmaları sırasında ise şüpheli ve maktulün seyahat ettikleri güzergahta polenlerin ait olduğu bitkilerin bulunduğu bir

Şekil 4

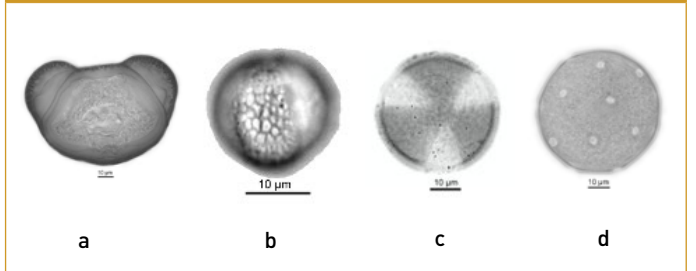
a. *Plantago* (*sinirotu*), b. *Rumex* (*labada*), c. *Poaceae* (*buğdaygiller*) taksonlarına ait polenler (x1000)



Açıklama notu. Çakır, N., 2019, Mersin ili atmosferik polen ve sporlarının araştırılması. [Doktora Tezi] Hacettepe Üniversitesi kaynağından uyarlanmıştır.

Şekil 5

a. *Picea* (*ladin*), b. *Salix* (*söğüt*), c. *Acer* (*akçaağaç*), d. *Juglans* (*ceviz*) taksonlarına ait polenler (x1000)



Açıklama notu. Çakır, N., 2019, Mersin ili atmosferik polen ve sporlarının araştırılması. [Doktora Tezi] Hacettepe Üniversitesi kaynağından uyarlanmıştır.

alan tespit edilir. Ayrıca, bu alanın toprak analizlerinde, ayakkabılarda teşhis edilen fosilleşmiş ceviz polenlerine de rastlanır. Fail yapılan soruşturmada maktulü öldürdüğünü itiraf eder ve arkadaşını gömdüğü yeri gösterir (Bryant, 2009; Bryant vd., 2010). Bu vakanın palinoloji ile başarılı şekilde çözümlenmesinin ardından polenlerin adli olayların aydınlatılmasında kullanımı yaygınlaşmıştır.

Palinolojik deliller birçok davanın aydınlatılmasına destek sağlarken, bir kısmına yön vermiş, bir kısmının ise seyrini değiştirmiştir. Başta Avusturya, Yeni Zelanda, Amerika olmak üzere İngiltere, Almanya, İskoçya ve Kanada da kriminal olayların çözülmesinde palinolojik deliller rutin olarak kullanılmaktadır (Bryant ve Jones, 2006; Bryant vd., 2010; Mathewes, 2006; Mildenhall, 1990; Mildenhall vd., 2006). Literatürde, palinolojik delillerden yola çıkılarak aydınlatılmış birçok olaya ve davaya rastlanmaktadır (Horrocks ve Walsh, 1999; Horrocks ve Walsh, 2001; Brown vd., 2002; Brown, 2006; Mildenhall, 2006; Wiltshire ve Black, 2006).

Adli palinoloji için olay yeri delillerinin toplanması (Bryant vd., 2010; Eyring, 1996; Horrocks, 2004; Mildenhall, 1990; Milne vd., 2004), polenin malzemelere nasıl tutunduğu (Horrocks vd., 1997; Mildenhall, 2003), olayın meydana geldiği tarihin tespit edilmesi (Szibor vd., 1998), adli palinoloji örneklerinin yorumlanması (Brown vd., 2002; Bruce ve Dettmann, 1996; Horrocks, vd., 1998; Horrocks ve Walsh, 1999;), palinolojik kanıtlar ve benzeri konularda çeşitli çalışmalar yayınlanmıştır (Horrocks ve Walsh, 1998).

Palinolojinin Adli Araştırmalarda Yardımcı Olabileceği Durumlar

Suç ve suçlularla mücadelede adli palinolojinin yeri ve önemi her geçen gün katlanarak artmaktadır. Yapılan çalışmalar sonucunda adli palinoloji genel olarak;

- Şüpheli ile olay yeri ve olay zamanı arasında bağlantının sağlanmasında,
- Kriminal olaylarda ele geçirilen nesnelere şüpheli arasındaki ilişkinin ortaya çıkarılmasında,
- Şüpheli listesinin daraltılmasında,
- Olay zamanında şüphelinin başka bir yerde olup olmadığını belirlenmesinde,
- Belgelerin düzenlenme zamanlarının belirlenmesi amacıyla belge sahteciliğinde,
- Uyuşturucu maddelerin geçiş yollarının ortaya belirlenmesinde,
- İnsan kalıntılarının çürüme periyotlarının tayinlerinde,
- Ölen kişinin perimortem süreci hakkında bilgi edinmede,
- Toplu mezarların yerlerinin tespit edilmesi ve oluşturulma zamanlarının belirlenmesi gibi olayların açığa kavuşturulmasını sağlamaktadır (Barry vd., 2006; Mildenhall, 1990; Mildenhall vd., 2006; Stanley, 1992; Szibor vd., 1998).

Günümüzde birçok ülkede bitkilerin tozlaşma dönemlerinden yola çıkarak polen takvimi ve haritaları oluşturmaktadır. Polen takvimi ve haritalarından yararlanılarak, olay yeri tespiti kolaylaşmaktadır (Bryant ve Jones, 2006). Adli olayların çözümü için olay yerinden çok sayıda toplanan delil, palinolojik incelemeye gönderilmektedir. Adli vakalarda, vakanın ve olay yerinin özelliğine göre çok farklı yerlerden ve materyallerden polen analizi yapmak mümkündür. Tablo 1’de bu numunelere ait çeşitli örnekler verilmiştir.

Tablo 1

Polen analizi yapılabilecek adli örnekler

Ahşap banklar	Giysi ve dokuma malzemeleri	Mobilya
Ambalaj malzemesi	Halat/İp	Plaka
Alt bağırsak içeriği	Hayvan yemleri	Plastik malzemeler
Araba/motorsiklet	Reçine	Saç
Ayakkabı/bot	Kablo	Saksı bitkileri
Bal ve diğer yiyecekler	Kahve çekirdeği / öğütülmüş kahve	Silahlar
Bitki kalıntıları	Kitap/kâğıt	Araç lastikleri
Bitki parçaları	Kompost yığınları	Tırnak arası kalıntılar
Cesetlerin burun pasajları	Kumaşlar	Toprak
Cilt	Kusmuk/mide içeriği	Tortu
Dışkı	Kurutulmuş meyve	Tozlu yüzeyler
Duvarlar çatlakları	Kürk	Uyuşturucu

Açıklama notu. Horrocks, M., Coulson, S. A. & Walsh, K.A.J., 1998, Forensic palynology: variation in the pollen content of soil surface samples. *Journal of Forensic Sciences*, 43(2), 320-323 kaynağından uyarlanmıştır.

Adli Palinolojinin Çeşitli Olaylarda Kullanımı

Örnek Olay 1: Olay Yeri Tespiti

İngiltere’de 2002 yılında Norfolk, Norwich yakınlarında ormanlık bir alanda bir kadın cesedi bulunur. Otopsi sırasında, maktülün derisindeki ve tırnaklarının arasındaki toprak kalıntıları alınarak palinolojik incelemeye gönderilir. Burun boşluğu ve saçlarından da alınan örnekler de incelenir. İncelemede; bir miktar polinomorf, çok sayıda polen ve spor tespit edilmiştir. Analiz sonucunda en çok *Fraxinus*, *Adoxa*, *Mercurialis*, *Cupressaceae*, *Populus*, *Rosaceae* ve *Taxodiaceae* taksonlarına ait polenler bulunmuştur. Ayrıca analiz edilen örneklerde, *Cyperaceae* (Papirüsçiller), *Sparganium* (Kındıra), *Potamogeton* (Susümbülü) ve *Elodea* (Balıktotu) gibi sulak alan bitkilerine ait polenler tespit edilmiştir. Elde edilen verilerden yararlanarak, Norwich’e 25 km uzaklıktaki bir sulak alanda yer alan alabalık göletleri araştırmaya dahil edilir. Göletin çamurlu yerinden alınan toprak örnekleri incelendiğinde, maktülün saçında tespit edilen polenler ile uyumlu olduğu görülür. Soruşturmalar sonucunda ise maktülün bu alabalık çiftliğine sık sık uğradığı tespit edilir. Böylece, palinolojik delillerin ışığında cinayetin bu çiftlikte işlendiği anlaşılmış, ancak suçlunun kim olduğu tespit edilememiştir (Wiltshire, 2006b).

Örnek Olay 2: Olay Zamanının Tespiti

Elisa vd. (2006) tarafından İtalya’nın Parma şehrindeki Adli Tıp Enstitüsü morgunda bulunan ve ölüm tarihi bilinen 28 ceset üzerinde palinolojik inceleme yapılmıştır. Bu araştırmada, cesetlerin kaş, alına yakın saç dibi, yüz derisi ve burun boşluklarından örnekler alınmıştır. Bu örneklerin çoğunda çeşitli polen tipleri bulunmuştur. Bulunan polen taneleri ile Parma şehrinin polen takviminde rapor edilen veriler karşılaştırıldığında ölüm zamanı ile polenlerin uygunluk gösterdiği saptanmıştır. Aralık ayında öldüğü bilinen cesetlerden hiç polen elde edilememiştir. Şubat ayında ölen cesetin üzerinde *Alnus* ve *Cupressaceae*, mart ayında ölenlerde ise *Populus* polenleri tespit edilmiştir. Haziran ya da Temmuz ayında ölen bir cesette ise *Ailanthus* polenleri teşhis edilmiştir. Bulunan polenlere istinaden adli polen takvimi oluşturulmuştur. Buna göre, polen kayıtları, kış/ilkbahar, ilkbahar/yaz ve yaz/sonbahar olmak üzere üç ana mevsime ayrılmıştır. Bu çalışma ile polen verisinin mevsimsel bir belirteç olduğu bu nedenle ölüm zamanının yaklaşık teşhisinde faydalı bir kanıt olabileceği gösterilmiştir. Ancak, cesetlerde kaydedilen polen miktarı ile havadaki polen miktarları arasında doğrudan bir ilişki bulunamamıştır (Elisa vd., 2006).

Örnek Olay 3: Şüpheli Sayısının Azaltılması

Ahırda kendini asmış halde bulunan bir kişinin ölümü polister tarafından incelemeye alınır. Maktülün depresyonda olmadığı bilinmektedir. Ayrıca, etrafta herhangi bir intihar notuna da rastlanmadığı için ölüm şekli şüpheli bulunur. Maktülün ölümünden doğrudan çıkarılabilecek beş şüpheli bulunmuştur. Ancak, tüm şüpheliler bir gerekçe sunmuştur. Maktülün boynundan alınan ip palinolojik incelemeye gönderilir. İpin üzerinde, sebze üretimi yapılan çiftliklerde yaygın olarak bulunan bitkilerin polenlerine rastlanır. Küçük bir çiftliğe sahip olan beş zanlıdan birisi, çeşitli sebze mahsulleri satarak geçimini sağlamaktadır. Bu delil, herhangi bir şüpheliyi tutuklamak için yeterli olmasa da, şüpheli sayısının

indirgenerek bir kişiyi işaret etmesi önemlidir. Böylece polis, şüpheliyi dikkatli bir şekilde araştırarak cinayetten tutuklamak için yeterli kanıt toplayabilmiştir (Bryant, 1998).

Örnek Olay 4: Uyuşturucu Maddelerin Kaynağının Tespiti

New York'ta polisler bir sevkiyat sırasında 500 gr kokain ele geçirirler. Kokain içerisinde bulunana polenin menşei ve sevkiyat yolu hakkında ipuçları sağlayabileceği düşünülür ve bu nedenle birkaç gram kokain numunesi palinolojik incelemeye gönderilir. Yapılan analizler sonucunda, üç farklı coğrafik alana ait polen verilerine ulaşılır. Bunlardan ilk grupta; Güney Amerika'da (Bolivya ya da Kolombiya) yetişen tropik bitkilerin polenlerine rastlanır. Bu polen tanelerinin, kokain yaprakları toplanırken bulaştığı tahmin edilir. İkinci grup polenleri; Amerika'nın kuzey bölgelerinde yaşayan *Pinus banksiana* (banks çamı) ve *Tsuga canadensis* (Kanada sugası) bitkilerine ait polenler oluşturmaktadır. Bu iki bitki Amerika'nın sadece birkaç bölgesinde bir arada yetiştiği bilinmektedir. Bu nedenle kokainin toplandıktan sonra bu bölgelerdeki atmosferde bulunan polenlerle temas ettiği düşünülür. Üçüncü grup polenleri ise; New York ve Manhattan'da boş arazilerinde yaygın olarak yetişen yabancı bitkilere ait polenlerin oluşturduğu tespit edilir. Bütün bu analizler sonucunda kokainin Güney Amerika kökenli olup orada üretildiği, Kuzey Amerika'ya sevk edilip çeşitli işlemlerden geçirilerek işlendiği ve son durağı olan New York'ta ise kesilip, dağıtılmak üzere paketlenildiği sonucuna varılmıştır (Bryant, 2009; Stanley, 1992).

Örnek Olay 5: Bir Ürünün Coğrafik Menşeinin Saptanması

Amerika'nın İran'a ithalat yasağı uyguladığı dönemde, Amerika'ya Mısır'dan halılar gelir. Halıların sahibi bunların Mısır'dan geldiğini öne sürmesine rağmen gümrük görevlileri durumdan şüphelenir ve halıların gerçekten Mısır'dan gelip geldiğinin tespitinin yapılmasını ister. Bunun üzerine halıların üzerinden elektrikli süpürge ile numuneler alınır ve elde edilen toz palinolojik analize gönderilir. Yapılan incelemeler sonucunda tespit edilen polenlerin İran ve Mısır'da yetişen bitkilere özgü oldukları ancak bu bitkilerin İran'da Mısır'a oranla daha yaygın bulunduğu belirtilir. Ancak İran'da bulunan polen örnekleri ile karşılaştırmalı bir çalışma yapılamaz. Gümrük görevlileri kilimlerin İran'dan geldiğine çok inanmasalar da, kilim ithalatını durdurmak için yeterli kanıt elde edilemez (Bryant, 1998).

Örnek Olay 6: Balda Sahteciliğin Tespiti

Amerika'da 1970 yılında Tarım Bakanlığı tarafından balların menşeinin araştırılmasını talep eder. Arıcılardan alınan balların ne kadarının yerli ya da yabancı olduğunun belirlenmesi için palinolojik çalışmalardan yararlanır. İnceleme sonucunda yerli bal olarak satılan balların %6'sında farklı coğrafi bölgelerin bitkilerine ait polenler tespit edilerek, bu balların yerli olmadığına karar verilir. Adli açıdan dolandırıcılık olarak nitelendirilebilecek bu olay sonucunda adli palinolojik delillerin sahtecilikte de kullanılabileceği gösterilmiştir (Bryant, 1998).

Türkiye'deki Durum

Son yıllarda, ülkemizde de adli palinoloji ile ilgili çalışmalar, Emniyet Genel Müdürlüğü Kriminal Daire Başkanlığı bünyesinde yer alan, Kriminal Araştırma ve Teknik İncelemeler Eğitim Şube Müdürlüğü (KATEM) tarafından düzenlenen "Olay Yeri İnceleme

ve Kimlik Tespit Temel Eğitim Kursu" bünyesinde verilen konferans ve seminerler şeklinde yürütülmektedir. Bu eğitimlerden sonra ülkemizin değişik illerine dağıtılan Olay Yeri İnceleme uzman yardımcısı personeli tarafından olay yerinden toplanan palinolojik deliller, Hacettepe Üniversitesi Palinoloji Laboratuvarı'na spor ve polen analizi için gönderilmektedir (Doğan, 2011).

Ülkemizde, Sakarya ilinde gerçekleşen hırsızlık olayı, adli palinoloji ile çözülen ilk hırsızlık vakasıdır. Bu olayda polise gece yarısı bir hırsızlık ihbarı gelir. Bu hırsızlık olayında, bir genç bahçede bulunan ağaca tırmanarak evin balkonuna çıkarak eve girer. Evde yaşayan çiftin ifadesine göre bu genç, çiftin ruhsatlı tabancasını alarak onları tehdit eder ve cüzdanlarındaki parayı alarak evden uzaklaşır. Polis, gece yarısı sokakta çiftin anlattığı tanıma uyan bir kişiyi yakalar ve sorgular. Zanlı olayla herhangi bir ilgisinin olmadığını belirtir. Ancak çift, zanlıyı teşhis ettiği için zanlı mahkemeye sevk edilir. Polis, verilen ifadelerden olayla ilgili ipuçları aramaya başlar. Olay yeri inceleme ekipleri zanlının balkona tırmandığı ağacın çevresinden, bahçeden, balkon korkuluklarından ve evin duvarından örnekler alarak palinolojik inceleme için laboratuvara gönderir. Ayakkabılardan ve yaşadığı yerden alınan numuneler karşılaştırıldığında, Asteraceae, Chenopodiaceae, *Corylus* ve Pinaceae taksonlarına ait polenlerin tüm örneklerde bulunduğu tespit edilir. Balkon altındaki toprak zemininden alınan örnekte ise çok sayıda Brassicaceae ve *Scabiosa* taksonlarına ait polenler tespit edilir. Bu taksonlara ait bitkilerin polenleri böceklerle ya da kendi kendilerine tozlaştıkları için polenlerin bitkinin bulunduğu yerden fazla uzağa taşınması mümkün değildir. Bu taksonlara ait polenlerin ayakkabıdan alınan numunelerde hiç bulunmadığı tespit edilir. Ayakkabının sahibi eğer olay yerindeki toprak zeminde gezinmiş olsaydı bu polenlerin ayakkabıdan alınan numuneler içerisinde teşhis edilmesi gerekirdi. Bu bilgiler ışığında çiftin zanlıyı tekrardan teşhis etmeleri istenmiştir. Bu kez zanlıyı teşhiste zorlandıklarını ve emin olmadıklarını söylerler. Bu palinolojik deliller ve parmak izi uzmanlarının elde ettiği kanıtlar yardımıyla zanlının suçu olmadığı ispatlanarak zanlı beraat eder. Palinolojik deliller ilk defa mahkemede kullanılmış ve resmi kayıtlara geçmiştir (Doğan ve Karakuş, 2007).

Sonuç

Polenler gözle görülemediğinden ve dayanıklı yapılar olduklarından yok edilemez deliller niteliğindedir. Ayrıca çeşitli bitki türlerinin yayılış gösterdiği bölgeler ve polen ürettiği dönemler birbirinden farklıdır. Bu sayede palinolojik deliller olay yeri, olay zamanı, coğrafik bölge ve suçluların tespitinde birçok fayda sağlamaktadır. Başta Amerika olmak üzere birçok ülkede adli palinoloji araştırmaları rutin çalışmalar haline getirilmiştir. Türkiye 'de de azda olsa adli palinolojik çalışmalar yapılmaktadır. Palinolojinin adli vakalardaki etkinliği göz önüne alındığında daha yaygın kullanılması için teşvik edilmelidir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declare that there are no competing interests

Kaynaklar

- Balcioğlu, E. (2011). *Adli palinolojik delillerin elde edilebileceği materyallerin araştırılması*. [Yüksek Lisans Tezi], Hacettepe Üniversitesi.
- Barry, G. R., Simon J. K., Emily H. H., Riding, J. B., Vane, C. H., Poulton, C. & Freeborough, V. (2006). Potential and pitfalls in establishing the provenance of earth-related samples in forensic investigations. *Journal of Forensic Sciences*, 51(4), 832-845. [Crossref]
- Biltekin, D., Eris, K. K., Çağatay, M. N., Akçer Ön, S., Ülgen, U. B., Damcı, E., Arslan, T. N. & Acar, D. (2017, Nisan). Türkiye'nin doğusunda polen olmayan fosil palinomorflar: geç holosen paleoçevresel değişimlerinin yorumlanmasında bir gösterege. *70. Türkiye Jeoloji Kurultayı Bildiri Özleri*, 666-667. Ankara.
- Brown, A. G. (2006). The use of forensic botany and geology in war crimes investigations in NE Bosnia. *Forensic Science International*, 163(3), 204-210. [Crossref]
- Brown, A. G., Smith, A. & Elmhurst, O. (2002). The combined use of pollen and soil analyses in a search and subsequent murder investigation. *Journal of Forensic Sciences*, 47(3), 614-618. [Crossref]
- Bruce, R. G. & Dettmann, M. E., (1996). Palynological analysis of Australian surface soils and their potential in forensic science. *Forensic Science International*, 81(2), 77-94. [Crossref]
- Bryant, V. M. (2009). Forensic palynology: Why it works, (SlideShare. <https://projects.nfstc.org/trace/2009/presentations/3-bryant-palynology1.pdf>, Retrieved December 20, 2021)
- Bryant, V. M. & Jones G. D. (2006). Forensic palynology: current status of a rarely used technique in the United States of America. *Forensic Science International*, 163, 183-197. [Crossref]
- Bryant, V. M. & Mildenhall, D. C. (1998). Forensic palynology: a new way to catch crooks. *American association of stratigraphic palynologist*, 33, 145-155.
- Bryant, V. M., Jones, J. G. & Mildenhall, D. C. (2010). Forensic palynology in the United States of America, *Palynology*, 14(1), 193-208. [Crossref]
- Çakır, N. (2019). Mersin ili atmosferik polen ve sporlarının araştırılması. [Doktora Tezi] Hacettepe Üniversitesi.
- Doğan, C. (2011). Adli Palinoloji. Karakuş, O. (Ed.), *Adli Bilimler içinde*, (s. 373-395). Adalet Yayınevi.
- Doğan, C. & Karakuş, O. (2007). Türkiye'de palinolojik delillerin yardımıyla çözülen ilk hırsızlık olayı. *Adli Bilimler Dergisi*, 6(4), 36-42.
- Elisa M., Anna M. M., Giuliana T. G. & Accorsi, C. A. (2006). Towards a "crime pollen calendar" - pollen analysis on corpses throughout one year. *Forensic Science International*, 163, 211-223. [Crossref]
- Erdtman, G. (1969). *Handbook of palynology*. Hafner Publishing Co, New York. [Crossref]
- Eyring, M. B. (1996). Soil pollen analysis from a forensic point of view. *Microscope*, 44, 81-97.
- Faegri, K. & Iversen, J. (1975). *Textbook of pollen analysis*. Hafner Press, Munksgaard, Copenhagen.
- Horrocks, M. (2004). Sub-sampling and preparing forensic samples for pollen analysis. *Journal of Forensic Sciences*, 49(5), 1-4. [Crossref]
- Horrocks, M. & Walsh K. A. J. (2001). Pollen on grass clippings: putting the suspect at the scene of the crime. *Journal of Forensic Sciences*, 46(4). [Crossref]
- Horrocks, M., Bedford, K. R. & Morgan-Smith, R.K. (1997). Filtering effects of various household fabrics on the pollen content of hash oil (Cannabis extract). *Journal of Forensic Sciences*, 42(2), 256-259. [Crossref]
- Horrocks, M. & Walsh K. A. J. (1999). Fine resolution of pollen patterns in limited space: differentiating a crime scene and alibi scene seven metres apart, *Journal of Forensic Sciences*, 44(2), 417-420. [Crossref]
- Horrocks, M., Coulson, S. A. & Walsh, K.A.J. (1998). Forensic palynology: variation in the pollen content of soil surface samples. *Journal of Forensic Sciences*, 43(2), 320-323. [Crossref]
- Horrocks, M. & Walsh, K. A. J. (1998). Forensic palynology: assessing the value of the evidence. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 103(2), 69-74. [Crossref]
- Mathewes, R. W. (2006). Forensic palynology in Canada: An overview with emphasis on archaeology and anthropology. *Forensic Science International*, 163(3), 198-203. [Crossref]
- Mildenhall, D. C. (1990). Forensic palynology in New-Zealand. *Review of Palaeobotany and Palynology*, 64, 1-4. [Crossref]
- Mildenhall, D. C. (2003). An example of the use of forensic palynology in assessing an alibi. *Journal of Forensic Sciences*, 49(2), 312-316. [Crossref]
- Mildenhall, D. C. (2006). An unusual appearance of a common pollen type indicates the scene of the crime. *Forensic Science International*, 163(3), 236-240. [Crossref]
- Mildenhall, D. C., Wiltshire, P. E. J. & Bryant, V. M. (2006). "Forensic palynology: why do it and how it works. *Forensic Science International*, 163(3), 163-172. [Crossref]
- Milne, L. A., Bryant, V. M. & Mildenhall, D. C. (2004). Forensic palynology. H. M., Coyle, (Ed.), *Forensic botany: principles and applications to criminal casework* içinde, (s. 217-252). CRC Press.
- Özmen, E. (2012). Ankara ili atmosferik spor ve polenlerinin araştırılması. [Doktora Tezi] Hacettepe Üniversitesi.
- Stanley, E. A. (1992). Application of palynology to establish the provenance and travel history of illicit drugs. *Microscope*, 40, 149-152.
- Szibor, R., Schubert, C., Schöning, R., Krause, D. & Wendt, U. (1998). Pollen analysis reveals murder season. *Nature*, 395, 449-450. [Crossref]
- Şenkul, Ç. (2014). Polen analizlerinin temel prensipleri ve kuvaterner ortam koşullarının yeniden yapılandırılmasındaki önemi. *Türk Bilimsel Derlemeler Dergisi*, 7(1), 33-41.
- Tauber, H. (1965). Differential pollen dispersion and the interpretation of pollen diagrams, with a contribution to the interpretation of the elm fall. *Danmarks Geologiske Undersogelse*, 89, 1-69. [Crossref]
- Varlık, S. Bitki Biliminin Adli Olaylarda Kullanımı: Bitkiler Mercek Altında. <https://polisdergisi.pa.edu.tr/bitki-biliminin-adli-olaylarda-kullanimi-bitkiler-mercekaltinda-1144-haber-adresinden> 21 Kasım 2021 tarihinde alınmıştır.
- Wiltshire, E. J. & Black, S. (2006). The cribriform approach to the retrieval of palynological evidence from the turbinates of murder victims. *Forensic Science International*, 163(3), 224-230. [Crossref]
- Wiltshire, P. E. J. (2006a). Consideration of some taphonomic variables of relevance to forensic palynological investigation in the United Kingdom. *Forensic Science International*, 163(3), 173-182. [Crossref]
- Wiltshire, P. E. J. (2006b). Hair as a source of forensic evidence in murder investigations, *Forensic Science International*, 163(3), 241-248. [Crossref]
- Wiltshire, P. E. J. (2009). Forensic ecology, botany, and palynology: some aspects of their role in criminal investigation. *Criminal and Environmental Soil Forensics*, 2, 129-149. [Crossref]

KISIM 3
MİKROPLARIN GİZEMLİ DÜNYASI: ADLİ
MİKROBİYOLOJİ VE ÖTESİ

BÖLÜM 1

ADLI MİKROBİYOLOJİ

Hüseyin ÇAKAN
Murat ÖGDÜR

Adli Mikrobiyoloji

Forensic Microbiology

BÖLÜM HAKKINDA

Mikroorganizmaların suçun unsurlarından biri olması durumunda veya suçun çözümüne yönelik katkı sağlayabileceği durumlarda adli mikrobiyolojiden faydalanılır.

Kişilerin ölümüne, yaralanmasına veya hastalık etkeni olarak can ve mal kaybına sebep olan zararlı mikroorganizmaların etkilerinin adli boyutunun araştırması çok önem arz etmektedir. Malpraktis davalarında, biyolojik suçlar ve biyoterörizmde, cinsel suçların ispatlanmasında, gıda zehirlenmelerinde, ölüm nedeninin mikroorganizmalar yardımıyla belirlenmesinde, kimlik tespiti ve kişisel eşyaların belirlenmesinde, mikrobiyota çalışmalarında ve postmortem intervalin belirlenmesinde ve daha birçok spesifik alanda adli mikrobiyoloji biliminden yararlanılabilir.

Adli boyutu olan olayların araştırılmasında elde edilen mikroorganizmaların incelendiği adli mikrobiyoloji laboratuvarları klasik kültür yöntemlerinden, ileri moleküler genetik yöntemlere kadar çeşitli analizlerin yapıldığı laboratuvarlar olup, adli bilim laboratuvarları arasında gün geçtikçe önemi de artmaktadır.

Mikrobiyal genetik teknolojisi ve çalışmalarının gelişmesiyle beraber olay yerlerinden toplanan mikrobiyolojik örneklerin sayısının artacağı ve olayların aydınlatılmasında adli mikrobiyoloji biliminden daha fazla yararlanılacağı değerlendirilmektedir.

Anahtar kelimeler: Adli mikrobiyoloji, biyosuç, biyoterörizm, mikrobiyota

ABOUT the CHAPTER

Forensic microbiology is used when microorganisms are one of the elements of the crime or can contribute to the solution of the crime.

In the investigation of the forensic aspect of the effects of harmful microorganisms that cause death, injury or dead and property as disease agents, in malpractice cases, biological crimes and bioterrorism, in proving sexual crimes, in food poisoning, in determining the cause of death with the help of microorganisms, in identification and determination of personal belongings, in microbiota Forensic microbiology can be used in studies and determination of postmortem interval and in many specific areas.

Forensic microbiology laboratories, where microorganisms obtained in the investigation of events with a forensic dimension are examined, are laboratories where various analyzes ranging from classical culture methods to advanced molecular genetic methods are carried out, and their importance is increasing as the power of forensic science laboratories increases.

It is evaluated that with the development of microbial genetic technology and studies, the number of microbiological samples collected from crime scenes will increase and forensic microbiology will be used more to shed light on the events.

Keywords: Forensic microbiology, biocrime, bioterrorism, microbiota

Giriş

Mikrobiyoloji, kelime anlamı olarak "küçük yaşam" anlamına gelen ve gözle görülmeyen (mikro) organizmaları inceleyen bir bilim dalıdır. Mikrobiyoloji uygulamaları tıp, gıda, çevre, endüstri ve adli bilimler gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Mikroorganizmaların tanınması ve hayatın çeşitli alanlarında kullanılması ihtiyaç iken bu ajanların yasadışı kullanımı halk ve çevre sağlığı açısından önemli bir problemdir. Kasıt olmadığı durumda bile bazı ihmali davranışlarla da mikroorganizmaların diğer canlılara zarar vermesi bir takım hukuki durumların ortaya çıkmasına neden olabilir. Hatta bazı durumlarda mikroorganizmalar biyolojik silah ve terör ajanları olarak kullanılabilirler (Altun; 2022). Tüm bu durumlarla ilgili çalışmalar yapan mikrobiyoloji biliminin multidisipliner alt bilim dalı "adli mikrobiyoloji" olarak tanımlanmaktadır (Budowle vd. , 2003). Bu bölümde adli mikrobiyolojinin kapsamı, adli bilimlerde uygulama alanları ve güncel bilimsel ve teknolojik gelişmelerden bahsedilecektir.

Adli Mikrobiyolojinin Kapsamı

Mikroorganizmaların bir suçun delili olduğu durumlarda, araştırma ve soruşturmaları



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atif 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



Hüseyin Çakan¹

Murat Ögdür²

¹ Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Fakültesi, Biyoloji Bölümü, Temel ve Endüstriyel Mikrobiyoloji Ana Bilim Dalı, Çanakkale, Türkiye

² Ankara Bölge Kriminal Polis Laboratuvarı, Biyolojik İncelemeler Şube Müdürlüğü, Ankara, Türkiye

E-posta: drhuseyincakan@gmail.com
murat.ogdur@egm.gov.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Çakan, H., Ögdür, M. (2024). Adli mikrobiyoloji. G. Filoğlu & Ö. Bülbül (Ed). *Adli biyoloji: Doğanın izleriyle adaletin peşinde* içinde (s. 70-78). İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.

yapan mikrobiyoloji alt dalları "Adli Mikrobiyoloji" çatısı altında birleşir. Örneğin, bir mikroorganizma birini hasta etmek için kullanılmışsa kasten yaralama suçu oluşmuştur. Bu mikroorganizma silah olarak kullanılmıştır ve işlenen suç da *biyosuç* adını alır. Aynı şekilde mikroorganizmalar toplumsal olarak infial olarak nitelendirilebilecek şekilde kullanılmışsa ve bu olay terörizm olarak nitelendirilebiliyorsa *biyoterörizm*den sözedilir (Bkz. Bölüm 2). Meydana gelen bir salgın hastalıkla ilgili çeşitli komplo teorileri üretilir. Salgının kasıtlı olarak kötü niyetli şahıslar, zümreler veya ekonomik örgütler tarafından üretildiğinden bahsedilir. Bu aşamada, biyoterörizm dahi birçok epidemiyolojik araştırma yapmak gerekmektedir. Bu araştırmalar multidisipliner olarak farklı bilim dallarının katkısı ile yürütülür. Örneğin Covid-19 virüsünün laboratuvar şartlarında üretildiği, sosyal olarak zayıf grupların, hasta ve yaşlıların yok edilmesini hedeflediği vb. birçok komplo teorisi üretilmiştir.

Bir hastalığın salgın ve normal bulaş ile mi yoksa kasıtlı olarak mı bulaştırıldığını anlamak o mikroorganizmanın izini sürmek ile mümkündür. Bir kişiye, gıdaya veya ortama bulaşan mikroorganizmanın nereden geldiğini anlamak için şüphelenilen kaynak ile eldeki mikroorganizmanın aynı suştan kaynaklanıp kaynaklanmadığının bilmesi gerekmektedir. Bu ilişkisi genetik testler yapılarak test edilir. Bu testler, genel olarak epidemiyolojik araştırma olarak adlandırılır. Örneğin enfeksiyon sonucu ölümlerde, enfeksiyon kaynağının tespiti yani enfeksiyona neden olan mikroorganizmanın nereden bulaştığının tespiti, adli boyutu olan hastalıkların araştırılmasında mikrobiyologlara yüklenen adli görevlerdendir.

Mikroorganizmaların günlük hayattaki etkilerinin ölçülebilmesi için mikroorganizmaların niteliği ile beraber niceliği de önem taşır. Belli bir çoğunluğa ulaşmayan mikroorganizmaların varlığını ve etkinliğini ölçmek zordur. Belirli bir çoğunluğa ulaşmış mikroorganizmalar koloni olarak görünürler. Koloniler halinde yaşayan mikroorganizma toplulukları da *mikrobiyota* adını alır (Ekici ve Ekici; 2021). Ağız mikrobiyotası, bağırsak mikrobiyotası gibi kolonileşmiş mikroorganizma toplulukları birçok farklı çalışmaya konu olmuştur.

Mikroorganizmaların canlılar üzerindeki etkisi çalışılmakla beraber ölüm sonrasında da ceset üzerinde bir takım mikrobiyal faaliyetler belirlemekte, bu faaliyetler ile olay hakkında birtakım bilgiler edinilebilmektedir. Ölüm sonrası mikrobiyolojik araştırmalarda post-mortem mikrobiyal yük "*tanatomikrobiyom*" olarak da ifade edilir. Tanatomikrobiyom ile ölüm sebebi ve ölüm zamanı (post mortem interval) belirlenebilmektedir (Ventura Spagnolo, 2019).

Adli mikrobiyolojinin bir diğer çalışma alanı besin zehirlenmeleri ve bu olaylarla ilgili meydana gelen yasal problemlerdir. Gıda zehirlenmesi ile ilgili meydana gelen can kayıpları, hastalıklar, iş gücü kayıpları ve mal kayıpları hukuki anlaşmazlıklara sebep olur (Fernández-Rodríguez, 2014).

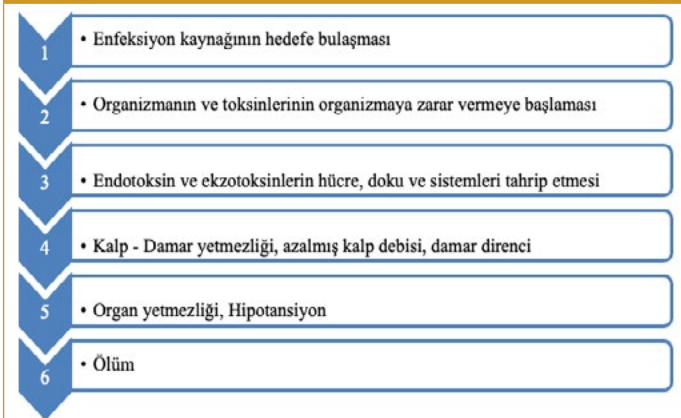
Enfeksiyon Sonucu Meydana Gelen Bazı Ölümler, Malpraktis ve Mikroorganizma Kökeninin Araştırılması

Ölümün meydana gelmesinde birçok etken ve sebep gösterilebilir. Bu sebeplerden bir tanesi de sepsis yani enfeksiyonlardır. Sepsis, mikroorganizmaların sebep olduğu ölümlerden olup bir bulaş sonrasında etkenin kana sonrasında dolaşım sistemi ile

metabolizmaya karışması sonucu ölümle de sonuçlanabilen ve "kan zehirlenmesi" olarak da tanımlanan durumdur (Şekil 3.1.1). Sepsis, %30-90 olasılıkla ölümle sonuçlanır (Tsokos, 2007). Örneğin, karından bıçaklanma sonrasında bağırsak bakterilerinin dolaşıma katılması sonucunda oluşan enfeksiyonla ölüm gerçekleşebilir. Sepsiste, ölüm dışında; uzuv kaybı, doku ve organ harabiyeti, işlev bozuklukları gibi durumlar da gözlenebilir. İş gücü kaybı da hukuki davalara konu olan ve hastalıklardan kaynaklanan zararlarıdır.

Enfeksiyonun etkeni birçok farklı test ile belirlenebilir. Klasik kültür yöntemlerinden ileri moleküler genetik yöntemlere kadar birçok hastalığa neden olan mikroorganizmanın kimliklendirilmesi yapılabilir. Ancak bu mikroorganizmanın kaynağına ulaşmak o kadar kolay değildir (Denstaedt vd. , 2018). Enfeksiyonun kaynağı adli süreç için önem taşır. Bulaş yolu kasıt veya ihmali davranışlardan da kaynaklanabilir. Bu durum da yasal sorumluluk doğurur. Bu süreçte kişilerin kasıt veya ihmali kasten öldürme, kasten yaralama, taksirle öldürme ve taksirle yaralama suçlarını oluşturabilir (Şekil 1).

Şekil 1
Sepsis ve enfeksiyon zinciri



Açıklama notu. Özcan, C., Hasanoğlu, A., Gülcüter, M., 1996, Sepsis ve İnflamasyon Mediatorları, Turgut Özal Tıp Merkezi Dergisi 3(4) kaynağından uyarlanmıştır.

Hastalanan veya enfeksiyon sonucu vefat eden bir kişi ile ilgili adli mercilere başvurulması durumunda enfeksiyon kökeni araştırılmaktadır. Bu durumda hastalık etkeni olan mikroorganizmanın nereden ve nasıl geldiği, hastaya hangi yolla bulaştığı büyük önem taşır. Sıklıkla yara, idrar yolu ve solunum yollarından vücuda giren mikroorganizmalar araştırılmaktadır (WHO, 2002). Enfeksiyon sonucu; ölüm, yaralanma, uzuv kaybı gibi davalarda genellikle sağlık kuruluşları ve personeli davanın tarafı olmaktadır. Bu konuda açılan davaların genel adı *Malpraktis* davalarıdır. Birçok hastane bu tür davalardan dolayı ciddi tazminatlar ödemektedir (Di Luca vd. , 2019). Hastaneler dışında evde bakım hizmetinde görevli olan şirketler ve personeli de bulaştıran sorumlu olabilirler (Siracusa vd. , 2019).

Sepsis sonucu meydana gelen ölümlere şüpheli ölüm kaydı girilir. Bu ölümlerde ölüme sebep olan faktör araştırılır. Otopside mikrobiyal araştırma için örnek alınır. Eğer ölüme sebep olan etken bir mikroorganizma ise bu mikroorganizmanın identifikasyonu (kimliklendirilmesi) yapılır. Araştırmanın konusu şüpheli hastalık ise otopsi yerine hasta kişiden örnek alınır ve aynı testler yapılır

(Tsokos, 2006). Otopside veya hastanede kişiden alınan numuneler üzerinde; altın standart olan klasik mikrobiyolojik analiz yöntemleri, biyokimyasal ve moleküler testler ile mikroorganizma identifiye edilir. *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Enterococcus faecalis*, *Enterococcus faecium*, *Enterococcus gallinarum*, *Klebsiella pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Acinetobacter baumannii*, *Brucella* sp. ve *Candida* sp. sepsise neden olan önemli bakterilerdir (Lucas, 2007).

Mikroorganizmaların verdiği zararların malpraktis davalarına konu olması nedeniyle karşılaşılan ağır yaptırımlar sonucu sağlık kuruluşları hastane enfeksiyonlarını kontrol altına almak için çeşitli tedbirler alınmasını zorunlu kılmıştır. Bu nedenle hastaneler başta olmak üzere çoğu sağlık kuruluşunda hastane enfeksiyon kontrol komiteleri kurulmuştur.

Adli otopsi de çok sayıda enfeksiyon kaynağı ile karşılaşılabılır. Otopsi salonlarının ortam havasının mikrobiyal yükü yüksektir (Sönmez, 2006). Otopsi yasal bir sorumluluk olduğundan dolayı en zor şartlarda dahi yapılır. Ancak otopsi işlemi uygun koşullarda yapılmadığı zaman personel ve çevre için ciddi problemler doğurur (Dalgıç vd. 2004). Bu risklerin önlenmesi amacıyla otopsi prosedürü katı bir şekilde uygulanmalıdır. Otopsi öncesinde, otopsi esnasında ve otopside sonraki aşamalarda ortamın planlanması, örneklerin toplanma şartları, atıkların imhası, temizlik ve hijyen kuralları gerek personel gerekse halk sağlığı için büyük önem taşımaktadır. Örneğin, Covid-19 salgını nedeniyle salgın kaynaklı ölümlerde ölen kişinin en yakınlarının bile enfeksiyon riski sağlık bakanlığınca dikkate alınarak cesetlerin muhafaza edildiği ceset torbalarının açılmasına izin verilmemiş, gömü işlemleri sağlık ve özel koruma tedbirleri alınarak personel tarafından yapılmıştır. Otopside kaynaklanan enfeksiyonlardan korunabilmek için; genel otopsi prosedürünün titizlikle uygulanması, kişisel güvenlik ekipmanlarının kullanılması ve otopsi salonunun havalandırma, hijyen ve diğer temizlik kriterleri açısından otopsiye uygun hale getirilmesi hayati derecede önemlidir.

Biyolojik Suçlar ve Biyoterörizm

Adli mikrobiyoloji denince akla gelen diğer bir terim biyoterörizmdir. Terör olayları dışındaki hayata karşı ve mala karşı gerçekleşen bireysel saldırılarda da adli mikrobiyoloji biliminden faydalanılır. Öldürme olayları, zehirlenmeler, hastalık bulaştırmalar, gıda ve suların kullanılamaz hale getirilmesi terörizm kaynaklı olabilir.

Mikroorganizmaların ve toksinlerinin, böceklerin ve virüslerin veya bunlardan faydalanılarak üretilen yapay etkenlerin suç veya terör eylemleri gerçekleştirmek amacıyla uygulanması, tehdit veya toplumsal korku amaçlı kullanımı *biyosuç veya biyoterörizm* olarak adlandırılmaktadır. Konvansiyonel silah olarak adlandırılabilen ve kullandıkça çoğalan silah türü olan biyolojik silahlar, büyük bir sosyo-ekonomik etkiye sahiptirler. Eylemler; insan, hayvan veya bitkilere yönelik olabilir. Hasta etme ve öldürme ihtimali yüksektir. Etkileri çok uzun süre hatta yıllarca sürebilir. Siyasi veya siyasi olmayan amaçları olabileceği gibi bireysel husumetlerde de karşımıza çıkabilirler. Son yıllarda gelişen ve kurumsallaşan adli mikrobiyoloji özellikle biyoterörizm ve biyosuç olaylarında kolluk kuvvetlerinin bu konuda uzmanlaşmasını gerektiren önemli bir bilimsel disiplini haline getirmiştir.

Biyoterörizmin bir türü olan "Agro terörizm" veya tarım terörü;

toplumun sosyal, ekonomik, fiziksel ve psikolojik refahını olumsuz yönde etkilemek amacıyla gıda arzının kasıtlı olarak tahrip edilmesi ve/veya kirlenmesidir. Terörist teçhizata gereksinimin daha az olması ve silah imalatı için karmaşık yöntemler gerekmemesi nedeniyle agro terörizmde kullanılacak ajanlar kolaylıkla hatta ev ortamında bile üretilerek yüksek ekonomik kayıplara neden olabilir (Bhatia vd., 2016).

Mikroorganizmalar ve türevi olan moleküller ülkeleri ekonomik olarak zorlayan savaşlarda da kullanılmaktadır. Çünkü mikroorganizmalar en ucuz silahtır. Tarihte bu yönde yapılan birçok saldırı gerçekleştirilmiştir. Milattan önce 6. yüzyılda Asurluların düşmanlarının kuyularına mantar çavdar ergotu attıkları ve bu yolla düşmanlarını zehirledikleri bilinmektedir. 1700'lerde İngilizler, çiçek hastalığı etkeni olan mikroorganizmalarla kirlenmiş battaniyeleri yerli Amerikalılara yardım süsü altında vererek yerli nüfusun yok olmasına neden olmuşlardır (Gündoğmuş, 2020). Dış hekiminden bir hastaya HIV, İspanyol bir anestezi uzmanı tarafından 275 hastaya HCV enfeksiyonu bulaşması, bir partnere HIV/HCV ile kontamine kanın kasıtlı olarak enjekte edilmesi, 2014 Ebola salgını ve II. Dünya Savaşı'ndan kalma iskelet kalıntıları parvovirüs B19 enfeksiyonları mikroorganizmaların silah olarak kullanıldığı suçlara örneklerdir (Blondeau vd. , 2019). Günümüzde ise hala biyolojik silah üretildiği ve kullanıldığı iddiaları her salgınla beraber tekrar gündeme gelmektedir (Tomaso & Neubauer, 2011). Biyoterörizm ile ilgili daha fazla bilgi Bölüm 2' de verilmiştir.

Cinsel Suçlarda Adli Mikrobiyoloji

Adli mikrobiyolojinin kullanıldığı vakalardan biri de cinsel saldırı ve istismar olaylarıdır. Nitelikli cinsel istismarda faile ait DNA örneklerinin hemen toplanması gerekmektedir. Ancak bazı vakalarda olay, adli mercilere hemen intikal etmez ve şüpheliye ait kalıntıların birçoğu yok olur. Bu tarz olaylarda şüphelinin taşıdığı mikroorganizmaları tespit etmek DNA'sını tespit etmekten daha kolay olabilmektedir.

Cinsel suç iddiasının olduğu bir vakada mağdur üzerinde şüpheliye ait DNA bulunmaması dahi cinsel yolla bulaşan bir enfeksiyonun mağduru hasta etmesi cinsel saldırı suçunun varlığına delil olabilir. Mikrobiyal iz sürülmesi yani mağdurdan elde edilen enfeksiyon kaynağı mikroorganizmanın, suç düzeyinde yapılan analizinde şüphelide de bulunması mağdur ile şüpheli arasındaki ilişkinin saptanmasını ve dolayısıyla olayın aydınlatılmasını sağlayabilir.

Neisseria gonorrhoeae, *Chlamydia trachomatis* ve *Trichomonas vaginalis* vb. cinsel yolla bulaşan hastalık etkenleri mağduru maruz kaldığı olayın gerçekleştiğine dair delil değeri taşırlar. Hasta olduğunu bile başkasının sağlığını riske atarak cinsel yolla bir başkasına hastalık bulaştıran kişi de suç işlemiş olur (Jauréguy vd. 2016).

İngiltere'de 38 yaşındaki bir HIV (Human Immunodeficiency Virus) virüsü taşıyıcısına, hiçbir korunma önlemi almaksızın cinsel ilişkiye girip, iki kişiye AIDS virüsü bulaştırmıştır. Sonra kasten öldürmeye teşebbüs iddiasıyla açılan davada 8 yıl hapis cezası kararı verilmiş, yerel mahkeme sadece sevgililerini değil onların da ilişkiye girdiği kişilerin yaşamlarını tehlikeye soktuğunu belirtmiştir (Milliyet; 2021).

Vücudun bir bölgesinde yaşayan mikroorganizma topluluğunun (mikrobiyom) varyasyonu bireyler arasındaki DNA farklılığından bile fazladır (Ursell vd. , 2012). Her temasta mikrobiyomda

değişiklikler olur. Cinsel birleşmelerde de kişilerin ürogenital sistem mikrobiyotasında meydana gelen değişiklikler anlamlı bir şekilde değişiklik gösterdiğinden cinsel istismar olaylarında bu bilgilerden yararlanılabilir (Williams & Gibson, 2017).

Mikrobiyal Gıda Zehirlenmeleri

Tüm canlıların hayatta kalabilmeleri ve diğer yaşamsal faaliyetlerini idame ettirmeleri için beslenmeleri gerekir. Beslenebilmek için ihtiyaç duyulan çeşitli özellikteki tüm maddeler *besin* olarak adlandırılır (Sözlük, 2021). Ancak gıdalarının öncelikle sağlıklı olması gerekmektedir. Aksi durumda fayda yerine zarar verirler.

Bir gıdanın tüketilmesinden belirli bir zaman sonra mide bulantısı, kusma, karında ağrı, diare gibi sindirim sistemi bozuklukları, baş dönmesi, görme, işitme, hareket gibi sinir sistemi bozuklukları bazen de ateş ile ortaya çıkan tabloya *gıda zehirlenmesi* denir (Taş, 2004). Gıda zehirlenmelerinin alt kategorilere ayrılması da mümkündür. Gıdalar; fiziksel, biyolojik veya kimyasal açıdan zehirlenme etkisi gösterebilirler. Gıda zehirlenmesi türlerinden olan biyolojik zehirlenmeler de mikroorganizmalardan veya onların saldıkları bazı zehirli maddelerden kaynaklanıyor olabilir (Öz vd., 2014).

Gıda zehirlenmelerine her toplumda rastlanmakla beraber, fakir ve gelişmekte olan ülkelerde daha büyük problemdir. Halkın geçim sıkıntısının olduğu, gıdanın kıt olduğu durumda bozulan veya bayatlamış gıdalar da tüketilmektedir. Gıda zehirlenmeleri, bazen kendiliğinden iyileşir. Bazen de basit tıbbi müdahale ile tedavi edilebilir. Ancak bazı durumlarda da ölümle sonuçlanacak kadar ciddi problemler doğurur (Şimşek, 2005). Gelişmişlik düzeyi düşük ülkelerde sağlık imkânları da düşük olabilmektedir. Hastalar büyüklerinden öğrendikleri yöntemlerle alternatif tıp ve bitkisel karışımlarla iyileşmeye çalışmaktadır. Bu nedenle birçok besin zehirlenmesi vakası olmasına rağmen istatistiklere yansımamaktadır (Ayçiçek ve Aktan, 2003).

Dünya Sağlık Örgütü'nün (DSÖ) 2002 yılı verilerine göre bir yılda 42 ülkede, 23.538 gıda zehirlenmesi vakası kayıtlara geçmiştir. Bu vakalardan en sık görüleni; %77 ile *Salmonella* cinsine ait türlerin sebep olduğu zehirlenmelerdir. *Staphylococcus aureus* ise ikinci sırada yer alan gıda zehirlenmesi etkeni olarak kayıtlara geçmiştir (FAO ve WHO, 2002). Aşağıda gıda zehirlenmelerinde en

sık karşılaşılan mikroorganizmalar, en yaygın semptomları, neden olduğu hastalıklar ve ilişkili gıdaları görülmektedir (Tablo 1).

Zehirlenmeye sebep olan mikroorganizmalar çoğalarak metabolik etkileri ile zehirleyebildikleri gibi saldıkları kimyasallar ile de zehirleyebilirler (MEB, 2015). Bazı zehirlenmeler her iki etki ile meydana gelir. Çünkü birçok gıda ürünü, mikroorganizmalar için iyi bir besi ortamıdır.

Gıda zehirlenmeleri sağlık ve ekonomik açıdan toplumu olumsuz yönde etkilemektedir. Sağlıktaki olumsuz etkileri nedeniyle iş ve işgücü verim kaybı yaşanmaktadır. Sağlığın geri kazanılmasının maliyeti ile beraber kaybolan yaşamlar da topluma büyük zarar vermektedir (Çakan ve Sirekbasan, 2020). Ferdi olgular bazen küçük salgınlar (ev içi, işyerleri, kreş) bazen de geniş salgınlar hatta pandemi şeklinde de görülebilirler. Bu olumsuzluklar sağlık tehlikesinin yanında adli vakalara ve hukuki anlaşmazlıklara da sebep olabilmektedir (Garbioğlu vd. , 2020).

Tüm gıda zehirlenmeleri adli vaka olarak değerlendirilmektedir. Sağlık kuruluşlarına besin zehirlenmesi olabileceği değerlendirilen bulgularla başvuran hastaların zehirlenmeleri kesin olmasa bile sağlık personeli vakaya adli şerh düşmekte, kolluğa bilgi verilerek soruşturma başlatılmaktadır. Gıda zehirlenmelerinde kolluk tarafından görevli Cumhuriyet Savcısının bilgisi ve emri ile soruşturma başlatılmaktadır. Bu soruşturma çoğunlukla taksirle yaralanma şeklinde kayıtlara girmekte, durumun ciddiyetine göre zehirlenme mahalline olay yeri inceleme ekibi gönderilmektedir. Olay yerine giden ekip, zehirlenmeye sebep olabilecek ilaç, su, sıvı, vb. maddelerden örnek alarak ilgili kuruluşlara uygun şartlarda göndermektedir. Olay yerinden alınan numunelerin ne kadar, nasıl, neyle, nereye alınması gerektiği, hangi şartlarda laboratuvara ulaştırılması gerektiği ile ilgili uygulamada aksaklıklar meydana gelmektedir. Bunun başlıca nedeni personelin eğitim ve deneyim konusunda eksikliklerinin olması, gıda analizi yapacak laboratuvarların kırsal alanda ve taşrada az bulunması, özellikle mikrobiyolojik zehirlenmelerde, delil niteliği taşıyacak numunelerin çok kısa sürede bozulması gibi gerekçeler gıda numuneleriyle çalışmanın başlıca zor taraflarıdır (Sirekbasan vd. , 2020). Olay yerinden analize kadar gıda numuneleri ile ilgili yöntem adli mikrobiyoloji laboratuvarı başlığı altında anlatılmaktadır.

Tablo 1

Gıda Zehirlenmesine neden olan mikroorganizmalar tablosu

Patojen Mikroorganizma	Semptomlar	Neden Olduğu Hastalık	İlişkili Gıdalar
Salmonella Sp.	İshal, ateş, bulantı karın ve baş ağrısı,	Salmonellozis	Donmuş gıdalar, mayonez, dondurma ve süt ürünleri
Staphylococcus Sp.	Bulantı, karın ağrısı ishal, baş ağrısı, kramp, alerjik şok	Staphyloenterotoxiosis	Krema, puding, et ve şarküteri ürünleri
Leisseria Monositogenes	Ateş, baş ve kas ağrısı, ishal, düşük	Düşük	Et ve süt ürünleri
Bacillus Cereus	Kusma, diare	İshal	Tahıl ve baklagil
Escherichia Coli	Karın kasılması, kusma, kanlı ishal	Hemorajik kolit, Çocuklarda böbrek yetmezliği	Kırmızı et ürünleri
Camphylobacter Sp.	Apandisit ağrısı	Guillain-Barre Sendromu	Tavuk ve süt ürünleri

Açıklama notu. Öz, V., Karadayı, Ş., Çakan, H., Karadayı, H. Kaya, A., 2014, Food poisoning in emergency units, Marmara Medical Journal 27, 89-95 kaynağından uyarlanmıştır.

Ölüm Nedeninin Mikroorganizmalar Yardımıyla Belirlenmesi

Boğulma Vakaları

Suda bulunan bir cesedin, öldürüldükten sonra mı suya atıldığı yoksa boğulma sonucu mu öldüğünün tespiti akciğerlerinde bulunan suyun analizi ile anlaşılabilir (Armstrong ve Erskine, 2018). Bu araştırmada akciğerler ve diğer vücut kısımlarında öncelikle diatom araştırması yapılır (Timperman, 1972). Diatomlar tek hücreli, silika hücre duvarları içeren mikroskopik fitoplanktonlardır. Boğulan cesetlerde diatomlardan kaynaklı silika hücre duvarı asit, enzimler ve sıcaklıktan kaynaklanan bozulmaya karşı dirençlidir ve akciğerlerde, kanda, kemik iliğinde ve diğer iç organlarda bulunabilirler (Rana, 2018). Kapalı organlarda (veya kemik iliğinde) diatomların varlığı genellikle kurbanın hala hayattayken suya girdiğini gösterir. Kan dolaşımına kolayca girebilen ve çürümüş kurbanlarda tespit edilebilen bu küçük suçlu mikroorganizmalar (Hürlimann vd., 2000), boğulma yoluyla ölümün saptanmasında belirteçler olarak kullanılmaktadır (Uchiyama vd., 2012). İç organlarda diatomlara rastlanmadığı durumlarda cesedin ölüm sonrasında suya atıldığı veya düştüğü düşünülür.

Diyatomlar yalnızca kişinin deniz, göl veya nehir gibi doğal su kütlelerinde boğulduğu durumlarda mevcuttur; yüzme havuzu gibi ortamlar genellikle su arıtma sürecinden dolayı diatomlardan yoksundur. Diatom analizi, diatom yoğunluğu yeterince yüksekse, aspire edilen suyun türü ve miktarını tahmin etmek için de yararlı bilgiler sağlayabilir (Beyhun vd.; 2020).

Suda yaşayan mikroorganizmalar, bulunan bir cesedin boğulma yeri hakkında da fikir verebilirler. Akıntıya kapılan cesedin otopsisinde akciğerlerinde bulunan yoğun çamur, kişinin sele kapılarak öldüğünü düşündürür. Su özellikleri farklı olduğu gibi her su kaynağında bulunan mikroorganizmaların dağılımı da farklıdır. Bu nedenle otopside alınan mikrobiyolojik numune ile ölüm yeri hakkında fikir verir. *Aeromonas* cinsi bakteriler (*A. hydrophila* ve *A. salmonicida*) tatlı suda boğulan kurbanlarda yüksek oranda bulunmuştur (Huys vd., 2012). Kıyıya yakın bulunan kurbanlardan alınan tüm akciğer örneklerinde hem deniz suyu (*Vibrio* ve *Photobacterium*) hem de tatlı su bakterileri tespit edilmiştir. Tuzlu suda boğulan kurbanların örneklerinde de *Vibrio*, *Photobacterium* ve *Listonella* cinsleri saptanmıştır (Rutty vd., 2015).

Ani Bebek Ölümü Sendromu (Sudden Infant Death Syndrome, SIDS)

Ani bebek ölümü sendromu yenidoğandan birinci yaşa kadar ki süreçte yoğun olarak rastlanan kesin sebebi net olarak anlaşılmayan ölümdür. Genellikle uyku sırasında başlar ve ebeveyn uyanınca bebeği ölü olarak bulur (Willinger vd., 1991). Ölüm nedeninin belirlenmesi önemli olmakla beraber o dönemdeki bebek ölümlerinin çoğu SIDS olarak kayıtlara geçer.

Ani bebek ölümü vakalarının sadece %20'sinde ölüm nedeni saptanabilmektedir. Prtak ve arkadaşları tarafından yapılan bir çalışmada (2010) SIDS vakaların %59'unda otopsi numunelerinde patojen saptanmıştır. Bu bebeklerde, insan herpesvirüs-6 (HHV-6), Epstein-Barr virüsü (EBV) ve sitomegalovirüsün (CMV) neden olduğu viral enfeksiyonlar saptanmıştır (Prtak vd., 2010). SIDS'in ayrıca *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Streptococcus*

spp. ve *Haemophilus influenzae* gibi bakterilerle ilişkili olduğu da bildirilmiştir (Blackwell, 2004). SIDS vakaları ve kontrol örneklerinin bağırsak içeriği karşılaştırıldığında SIDS'li numunelerde *Clostridium difficile*, *Clostridium innocuum* ve *Bacteroides thetaiotaomicron* anlamlı olarak fazla bulunmuştur. Ayrıca, *Clostridium perfringens* ve *C.difficile*'nin ikili kolonizasyonu ile *C. innocuum*, *C. perfringens* ve *C. difficile*'nin üçlü kolonizasyonu sağlıklı vakalara göre önemli ölçüde daha sık belirlenmiştir (Highet vd., 2014).

Mikroorganizmalar Yardımıyla Lokasyon Tayini

Belli bir alanda yaşayan mikroorganizma türlerinin istatistiksel dağılımlarına bakıldığında koloni dağılımının alana özgü olduğu görülecektir (Gupta vd., 2017). Canlılar üzerinde yaşayan mikroorganizmaların farklılığının yanı sıra; toprak, hava, su ve benzeri ortamlardaki mikroorganizma dağılımları da farklılık gösterir. Daha geniş bir alan incelendiğinde her coğrafi bölgenin iklim özellikleri, sanayileşme düzeyi, tarım ve hayvancılık tercihleri, kültürleri ve benzeri sebeplerden dolayı görülen mikrobiyota değişiklikleri adli bilimlerde kullanılarak olay yerinin veya olayla ilgili unsurların yeri tespit edilebilir (Efeoğlu, 2019). Örneğin, farklı şehirlerde cesetler üzerinde yapılan bir araştırmada cesetlerin üzerinde bulunan mikroorganizmaların farklı oldukları görülmüştür (Walker ve Datta, 2019).

Ortalama toplumun yarısında herhangi bir semptom göstermeden bulunan *Helicobacter pylori*'nin otopsi materyalinden elde edilen vacA geni incelendiğinde cesetlerin coğrafi kökeninin izinin sürüleceği görülmüştür (Nagasawa vd., 2013). Coğrafi bölgenin, bağırsak mikrobiyotası üzerinde de etkisi olduğu düşünülmektedir. Kolombiyalı yetişkinlerin bağırsak mikrobiyomu, Kuzey Amerikalılar, Avrupalılar, Japonlar ve Güney Koreliler ile karşılaştırıldığında bağırsak mikrobiyotasının bileşiminin önemli ölçüde farklılık gösterdiği doğrulanmıştır (Escobar vd., 2014).

Kimlik Tespiti ve Kişisel Eşyaların Belirlenmesinde Mikroorganizmalar

Bireyin kendine has olan özelliklerinden biri de kendilerine özgü mikrobiyotalarının olmasıdır. İnsan kimlik tespitinde *Corynebacterium*, *Propionibacterium* ve *Rothia* cinslerine ait 22 türün cilt mikrobiyotasına göre % 92 doğrulukla kişinin kimliklendirilmesinde kullanılabileceği tespit edilmiştir (Neckovic vd., 2020).

Kişilerin yaşam alanlarındaki (ev, araç ve iş yerleri) çeşitli yüzeylerden alınan sıvıların analizi sonucu tespit edilen mikroorganizmaların, bireylerin deri floralarıyla örtüştüğü görülmüştür. Kaya (2018) tarafından yapılan çalışmada örnek grubunun tümünde *Staphylococcus epidermidis*, *Staphylococcus capitis*, *Staphylococcus warneri*, *Staphylococcus hominis* ve *Staphylococcus novobioceticus*, *Micrococcus sp.* ve *Enhydrobacter sp.* türleri tespit edilmiştir. *Oceanobacillus caeni*, *Paracoccus sanguines*, *Enterobacter aerogenes* ve *Cornnebacterium striatum* türlerinin ise kişiye özgü olduğu belirlenmiştir. Bu sonuçlar, deri mikrobiyomun kimlik tespiti için yüksek bir potansiyele sahip olduğunu göstermektedir (Kaya, 2018).

Bozaslan ve Çakan tarafından yapılan bir çalışmada (2021) insanların, temas ettikleri cisimlere mikrobiyolojik imzalarını bıraktıkları, ölüm sonrası cilt mikrobiyotasının olay yerinde bulunan nesnelere ilişkilendirilmesinin %75 kesinlik oranıyla mümkün olduğu iddia edilmektedir (Bozaslan ve Çakan, 2021). Bu hassasiyet

analiz edilen nesnelere göre değişse de tıbbi cihaz, şişe, nargile, kitap, içecek kabı, gözlük, kimlik kartı, otomobil kolçağı ve direksiyonda bu oran %100'e çıkmaktadır. Bu oran bilgi işlem cihazları, uzaktan kumanda, telefon, kapı kolu ve ışık anahtarında %70'lerin altına düşmektedir. Musluk, cüzdan, ustura ve çakmakta doğruluk en az bulunmuş, anahtar, kozmetik, tarak, dambıl, tırnak makası ve saat gibi nesnelere ise hiçbir ilişkilendirme yapılamamıştır (Kodama vd., 2019).

Mikrobiyotanın Adli Boyutu, Mikrobiyota-Suç İlişkisi

Belli bir alanda (ağız, burun, bağırsak gibi) yaşayan farklı mikroorganizmaların topluluğuna mikrobiyota denir. Bağırsak mikrobiyotası ile ilgili yapılan çalışmalar her geçen daha çok önem kazanmaktadır. "İkinci beyin" olarak da tanımlanan bağırsağın (Gershon, 1999) metabolizması ile ilgili yapılan çalışmalarda, bağırsak florasındaki dengesizliğin hastalıklara sebep olduğu anlaşılmış ve hasta bireylere gaita nakli yapılarak bağırsak mikrobiyotasına müdahale edilerek tedavi edilmeye başlanmıştır.

Bağırsak mikrobiyotasının etkili olduğu hastalıklar arasında psikiyatrik rahatsızlıkların da olduğu dolayısıyla adli vakalarda mikrobiyota ile ilişki bulunduğu görülmüştür. İntihara teşebbüs eden şahısların büyük kısmında, bipolar bozukluk ve kaygı gibi psikiyatrik rahatsızlıkların varlığı belirlenmiştir. Psikiyatrik rahatsızlıklar ile bağırsak florası arasındaki ilişki birçok tıbbi çalışmada olduğu gibi öncelikle hayvan deneylerinde incelenmiştir. Örneğin, *Campylobacter jejuni*'nin anksiyete benzeri davranışa sebep olduğu tespit edilmiştir (Bravo vd., 2011). Glukozla beslenen farelerde depresif davranışlar, sadece tek bir mikroorganizmanın (*Bifidobacterium infantis*) verilmesiyle önlenmiş, bakteri "psikobiyotik" olarak adlandırılmıştır (Lyte, 2011). Deneysel çalışmalarda *Bacteroides* familyasının depresyon düzeyinde etkili olduğu bulunmuş, bazı *Oscillibacter* türlerinin, insanlarda bir nörotransmitter olan gama-amino butirik asite (GABA) benzer rol oynayan valeik asit taşıdıkları belirlenmiştir (Bravo vd., 2011).

Bağırsak florasının ürettiği maddeler ve toksinler, insan sistemik dolaşımına katılmakta, hastalık durumunun değişmesine ve bazı hastalıkların ortaya çıkmasına neden olmaktadır (Nase-ribafrouei, 2014). Bağırsak florası, insan metabolizmasında işlevi olan bazı aktif metabolitleri üretebilmektedir. Örneğin *Lactobacillus* spp. ve *Bifidobacteriales*; monosodyum glutamattan sinir sisteminde yatıştırıcı etkisi olan GABA nörotransmitterini sentezleyebilmektedir (Rook, 2015). *Escherichia* spp., *Bacillus* spp. ve *Saccharomyces* spp. norepinefrin; *Candida* spp., *Streptococcus* spp., *Escherichia* spp. ve *Enterococcus* spp. türleri serotonin üretirken *Bacillus* spp. ve *Serratia* spp. türleri dopamin üretmektedir (Lyte, 2011). *Bifidobacterium infantis*'in ağız yoluyla verildiği farelerde plazma triptofan düzeylerinde artış gözlemlenmiştir (Desbonnet, 2008). *Lactobacillus acidophilus*, beyin sapındaki kanabinoid reseptörlerinin ifadesini arttırmaktadır (Barrett, 2012). Steril koşullarda yetiştirilen farelerde ise plazma serotonin düzeyleri yüksek bulunmuştur (Collins & Bercik, 2006). Günlük olarak probiyotik kullanan deneklerde psikolojik stres düzeylerinin gerilediği, idrar serbest kortizol seviyesinin düştüğü (Desbonnet vd., 2008), probiyotik olarak *Lactobacillus rhamnosus* ile zenginleştirilmiş gıda ile beslenen kobaylarda anksiyete ve depresyon seviyelerinin gerilediği tespit edilmiştir (Messaoudi vd., 2011). Benton ve arkadaşları (2007), üç haftalık zaman zarfında probiyotikli gıda

verilen hastaların, bilinç ve psikiyatrik fonksiyonlarının olumlu yönde değiştiğini saptamışlardır (Benton vd., 2007). Halsizlik şikâyeti olan insanlara probiyotik takviyesi olarak verilen *Lactobacillus casei*, anksiyetenin azalttığı gözlenmiştir (Rao vd., 2009). İntihar, cinayet, çocuğunu öldürme (filisid), ebeveynini öldürme, saldırganlık gibi adli vakaların temelinde olan psikiyatrik rahatsızlıkların probiyotikler veya mikroorganizma nakli ile iyileştirilmesi sonucu suç ve suçluluk ile mücadelede adli mikrobiyolojinin alt dalı olarak çalışmalar yapılmaktadır (Evrensel & Ceylan, 2015).

Post Mortem İntervalin Belirlenmesinde Mikrobiyoloji

Post Mortem İnterval (PMI), ölüm saatinden sonra geçen süreyi ifade eder. Bu sürenin tespiti veya tahmini birçok olayda olayın aydınlatılması için hayati öneme sahiptir (Young vd., 2013). Ölüm saatinin tespiti için fiziksel (livor mortis, algor mortis ve rigor mortis), biyokimyasal (vitroz mizah, sinoviyal sıvı, perikardiyal sıvı, idrar ve beyin omurilik sıvısı) ve histo-morfolojik değişiklikler (kan hücrelerinin ve cilt yapısının analizi) araştırılır. Uzun zaman dilimlerinde ise çürüme seviyesi, entomoloji, mRNA ve DNA jenerasyonu gibi bilgilerle PMI hesaplamaları yapılabilir (Almulhim & Menezes, 2021).

Ölümlerle bağışıklık sisteminin inaktif olur ve vücutta yer alan mikroorganizmalar üremeye devam ederek vücudu şişirirler. Ceset taze iken vücutta oksijen miktarı yeterli olduğunda aerobik mikroorganizmalar çoğalır. Oksijenin tükenmesi ile oksijene ihtiyaç duymayan (anaerob) mikroorganizmalar çoğalır. Vücut bütünlüğü bozulunca vücutta tekrar oksijen girer ve tekrar oksijenli solunum yapan mikroorganizmalar artmaya başlar. Ayrışma ilerledikçe mikrobiyal çeşitlilik azalır ancak toplam mikroorganizma sayısı artar.

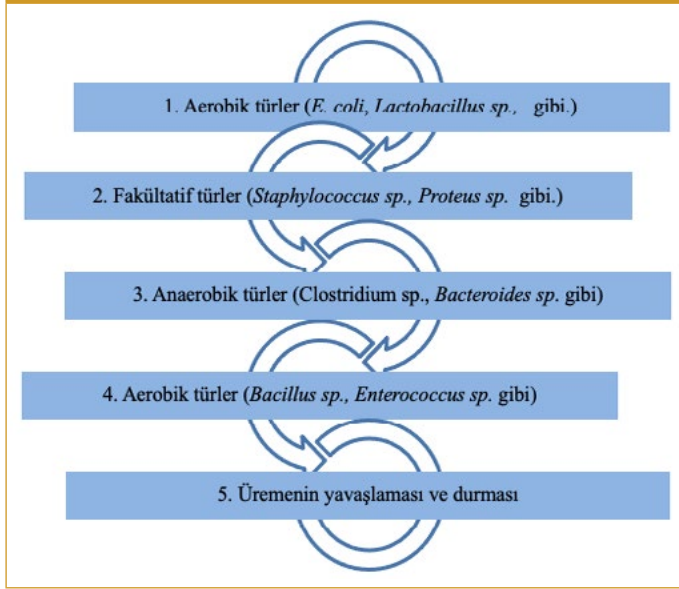
Cesetlerde bulunan mikroorganizmalar ağırlıklı olarak *Bacteroidetes*, *Firmicutes*, *Proteobacteria* ve *Actinobacteria*'dir. *Proteobacteria*, ayrışmanın erken aşamalarında en bol bulunurken, *Firmicutes* geç aşamalarda baskın olur (Hyde vd., 2013). Bu farklılaşmalar organda organa da farklılık gösterebilir. *Bacteroidetes*, beyinde ve kalpte ölümden sonra ilk iki günde hızla azalırken, çekimde bu düşüş daha yavaştır.

Otoliz sırasında dokular parçalandıkça ve oksijen azaldıkça gastrointestinal sistemdeki mikroorganizmaların diğer organlara göç etmesi kolaylaşır (Şekil 3.2.2). Fakültatif aerobik türler olan *Staphylococcus* (*Firmicutes*), ortam anaerobik hale gelmeden önce, ince bağırsaktan göç eden ilk türdür (Tuomisto vd., 2013). Erken PMI'de (50 saatin altında) ortamda *Lactobacillus*, *Veillonella* (*Firmicutes*), *Prevotella* (*Bacteroides*), *Streptococcus* (*Firmicutes*) ve *Gemella* (*Firmicutes*) cinsleri gibi aerobik ve anaerobik fakültatifler bol miktarda bulunur. Oksidatif gazların salınmasına bağlı olarak otoliz ilerledikçe *Bacteroidetes* ve *Lactobacillus* (*Firmicutes*) gibi anaerobik taksonlarda düşüş devam ederken ortamda halen yüksek miktarda *Enterobacteriaceae* (*Proteobacteria*) bulunur (Zhou ve Bian, 2018). Bununla birlikte, *Lactobacillaceae*, *Bacteroidaceae* (*Proteobacteria*) ve *Clostridia* (*Firmicutes*) gibi anaerobik bakteriler bağırsağın şişkinlik aşamasında artar (Öğdür; 2019). Ceset üzerindeki çürümenin çeşitli aşamalarında ağırlıklı olarak bulunan türler şekilde gösterilmiştir (Şekil 2).

Cesedin çürümesi ve ayrışması (dekompozisyon), mikroorganizmaların büyük rol üstlendiği bir süreçtir. **Çürüme, çevre şartları,**

Şekil 2

Ölüm sonrasında bağırsak bakterilerinin mikrobiyal döngüsü



iklim, sıcaklık, nem, vahşi hayvanların varlığı, kişinin kıyafeti, yaşı, kilosu, cinsiyeti ve benzeri birçok iç ve dış faktöre bağlıdır. Bu nedenle ayrışmayla ilgili doğru ve güvenilir sonuçların elde edilmesi zordur (Almulhim & Menezes, 2021).

Adli Mikrobiyoloji Laboratuvarı

Bir soruşturma veya kovuşturma dosyası kapsamında, olayın aydınlatılması amacıyla çeşitli kanıtlar aranır. Bu kanıtların bir türü de mikrobiyolojik bulgulardır. Olay yerinden alınan mikrobiyolojik örnekler, incelenmek üzere mikrobiyoloji laboratuvarına ulaştırılır. Ülkemizde, mikroorganizmaların adli analizinde en etkin kurum Adalet Bakanlığı'na bağlı olan Adli Tıp Kurumu'dur. Cumhuriyet Savcısı veya mahkeme kararı ile tıp fakülteleri, hastaneler veya özel laboratuvarlardan da bir örneğin mikrobiyolojik analizini talep edebilirler.

Adli Mikrobiyoloji laboratuvarı kuruluş, işleyiş ve personel yeterlikleri açısından klasik bir mikrobiyoloji laboratuvarına benzerdir. Ancak tedavi amacı olmadığı için antikor gibi testlerin yapabileceği donanımı yoktur. Adli mikrobiyoloji laboratuvarında kullanılan yöntemler arasında tüm mikrobiyoloji laboratuvarlarında olduğu gibi klasik mikrobiyolojik yöntemler, kültür yöntemleri, biyokimyasal yöntemler, moleküler genetik yöntemler, antijen testleri gibi yöntemler sıralanabilir.

Bir Adli Mikrobiyoloji laboratuvarında, genel olarak gıda zehirlenmeleri, enfeksiyon kökeni belirleme, delil güvenliği (biyolojik, kimyasal vb. delilleri bozan etkenler), şüpheli hastalıklar, enfeksiyon sonucu meydana gelen ölümler (sepsis), mikrobik kökenli yaralanmalar gibi sık görülen durumlar analiz edildiği gibi, gelişmiş laboratuvarlarda biyolojik silahlar ve biyoterörizm tespit çalışmaları da yapılmaktadır.

Toplanan numunenin doğru yerden, yeterli miktarda, uygun araç/gereçle, uygun ortama alınması (sıvı besiyeri, falkon tüpü anaerobik ortam vs.) gerekmektedir. Uygun bir şekilde toplanan bulguların en kısa sürede soğuk zincir gibi uygun şartlarda laboratuvara

ulaştırılması gerekmektedir. Soğuk zincirle numunelerin kısa sürede ulaştırılması, özellikle kusuk, gaita gibi örneklerin mümkünse 2 saat içinde laboratuvara ulaştırılmaları gerekmektedir (Öğdür ve ark, 2018).

Laboratuvara ulaşan örneklerin aerop ve anaerop mikrobiyolojik kültür yönünden, kanlı agar, çikolata agar, kanamisin-vankomisinli anaerop laked blood agar, anaerobik paromomisin-vankomisin (PV) blood agar, endo agar, macconkey agar vs. çeşitli özellikteki besi yerine ekilmesi gerekmektedir. Ekim sonrasında inkübasyon için hazırlanan plaklar, oksijenli ortam için direkt olarak etüv cihazına, anaerop türler için ise anaerobik jar içerisinde etüv içerisinde inkübasyona bırakılır. Kültür ile çoğaltılan türler, ticari biyokimyasal tanı kitleri ile tiplene yapılabilir. Bu identifikasyon işlemleri biyokimyasal analiz cihazlarıyla ve ticari identifikasyon kitleri ile cihaza ihtiyaç duyulmadan manuel olarak da yapılabilir. Ekim sonrası renk değişimleri çizelge veya bilgisayar destekli programlara veri girişleri yapılarak tür tayinleri yapılmaktadır.

Mikrobiyolojik analiz amacıyla toplanan örneklerdeki mikroorganizmaların bir kısmının kültür yöntemleri ile çoğaltılamaması nedeniyle moleküler tanı yöntemi ile tanımlanabilmektedir. Özellikle gaita örneklerinde kültür yöntemi ile birçok mikroorganizmanın tür tayini yapılamadığından moleküler yöntemler kullanılır.

Moleküler genetik analizin ilk aşaması DNA izolasyonu yapmaktır. İzolasyon aşaması, mikrobiyal DNA'nın açığa çıkarılarak saf hale getirilmesi işlemidir. Bunun için çeşitli kitlerde yararlanılabileceği gibi manuel yöntemler de kullanılabilir. Saf DNA elde edildikten sonra DNA miktar ve kalitesinin ölçümü yapılır. Duruma göre dizi analizi, tek nükleotid polimorfizi (single nucleotide polymorphism, SNP), 16S rRNA sekanslama gibi yöntemler kullanılabilir. Çalışılan örnek, mukayese amaçlı alınan örnek veya veri bankaları ile kıyaslanarak sonuç belirtilir. Mikroorganizmaların tanımlanması ve niceliksel olarak ölçümü ile araştırılan tür ile diğer türlerin sayısal değeri arasındaki oransal ilişki SPSS veya benzeri veri programı ile yorumlanabilir.

Adli Mikrobiyoloji Laboratuvarının Akreditasyonu

Akreditasyon özellikle son yıllarda laboratuvarlarda yapılan analizlerin güvenilirliği ve tekrarlanabilirliği için önemli kriterlerden biri olmuştur. Akredite edilebilen laboratuvarlar ve dolayısıyla analiz sonuçları evrensel düzeyde kalite yönetiminde önemli bir koşuldur. Tıbbi, endüstriyel, gıda ve benzeri alanlarda hizmet veren laboratuvarların yanında adli laboratuvarların da akredite olması, bu laboratuvarların sonuçlarına göre hüküm veren karar vericilerin hatalı karar vermemesi açısından önemlidir. Laboratuvar işleyişine uzak olan hukukçuların, bir örneğin nasıl çalışıldığının ayrıntılarını anlayabilmesi beklenmemektedir. Bu nedende analiz ve test sonuçlarının güvenilirliğinden şüphe edilmemelidir. Bu güvenin sağlanması için en önemli gösterge laboratuvarların akreditasyonudur.

2000'li yılların başında yaygınlık kazanan ISO 15189 uluslararası standardının laboratuvarlar ile ilgili olan, ISO 17025 ve ISO 9001:2000 kriterleri tıbbi laboratuvarları düzenlediği gibi adli laboratuvarlar için de geçerlidir. Ancak adli laboratuvarların güvenlik kriterleri daha yüksek olmalıdır. Çünkü bir numunenin kime ait olduğunun herkes tarafından bilinmesi soruşturmanın gizliliğine ve güvenliğine zarar verir. Bir otopsi

materyalinin kaybolması telafisi mümkün olmayan hatalara sebep olabilmekte, personel için soruşturmaya konu olabilmektedir. Bu nedenle tıbbi laboratuvarın akreditasyon kriterleri ile beraber adli laboratuvar personelinin, delil çalışmalarının farkında olması yasal ve etik sorumluluktur.

Sonuç

Adli Bilimlerin genişlemesine paralel olarak adli mikrobiyoloji bilimi de gün geçtikçe yeni konularla ve daha derin bilgilerle büyümeye devam etmektedir. Bakteriler başta olmak üzere mikrobiyolojik örnekler birçok olayın çözümüne katkı sağlanmakta, bazı durumlarda da olayın en önemli maddi unsuru olabilmektedirler. Bu tip vakalarda adli mikrobiyoloji bilimine ihtiyaç duyulmaktadır. Adli mikrobiyolojinin teorik ve pratik uygulamaları suçların aydınlatılmasında ve keza hukuk davalarında kullanılmaya devam etmektedir. Ancak bu bilim dalına ihtiyaç duyulan davalarda, olayların çözümüne katkı sağlanabilmesi için uzmanlıkla beraber adli bilim bakış açısına sahip uzman gerekmektedir. Bu alanda yetişmiş personel sayısının artırılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Özellikle ülkemizin taşra kısmında ve büyük illere uzak kırsal alanlarda meydana gelen olaylarda adli mikrobiyolojik örneklerin gönderileceği adli mikrobiyoloji laboratuvarının olmaması veya uzak olması; suçların aydınlatılmasında mikrobiyolojik delillerden faydalanılmasını zorlaştırılmaktadır. Bu nedenle, Adli Mikrobiyoloji uzmanlarının ve adli mikrobiyoloji laboratuvarlarının sayılarının artırılması, bu bilim dalının gelişimine katkı sağlayacağı değerlendirilmektedir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declare that there are no competing interests

Kaynaklar

- Almulhim, A.M., Menezes R.G. (2021). Evaluation of Postmortem Changes. StatPearls. *Treasure Island* (FL), StatPearls Publishing
- Altun, A. (2022). Covid 19, Biyolojik Silahlar Ve Biyoterörizm. *Academic Social Resources Journal*, 7(34), 129-137.
- Armstrong, E.J., Erskine, K.L. (2018). Investigation of drowning deaths: a practical review. *Acad. Forensic Pathol.* 8(1), 8-43 [Crossref]
- Ayçiçek, H., Aktan, HT. (2003). Gıda kaynaklı salgınlarda soruşturma ilkeleri. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 6, 95-96
- Barrett, E., Ross, R.P., O'toole, P.W., vd. (2012). γ -Aminobutyric acid production by culturable bacteria from the human intestine. *Journal of applied microbiology*, 113 (2), 411-417 [Crossref]
- Beyhun, N. E., Ketenci, H. C., Üstündağ, M. G., Agralı-Gündoğmuş, C., Topbaş, M., & Halil, B. O. Z. (2020). Suda boğulmaya bağlı ölümler: Retrospektif otopsi çalışması. *Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi*, 77(EK-4), 35-48.
- Bhatia, M., Mishra, B., Thakur, A., Dogra, V., Loomba, P.S. (2016). Concept of forensic microbiology and its applications. *SMU Medical Journal*. 3, 1.
- Benton, D., Williams, C., Brown, A. (2007). Impact of consuming a milk drink containing a probiotic on mood and cognition. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61 (3), 355. [Crossref]
- Blackwell, C. (2004). Infection, inflammation and SIDS. *FEMS Immunol. Med. Microbiol.* 42(1), 1-2 [Crossref]

Blondeau, L. D., Rubin, J. E., Deneer, H., Kanthan, R., Sanche, S., Hamula, C., & Blondeau, J. M. (2019). Forensic, investigative and diagnostic microbiology: similar technologies but different priorities. *Future Microbiology*, 14(7), 553-558. [Crossref]

Bozaslan, B.S., Çakan, H. (2021). Ağız Florasındaki Streptokokların Adli Bilimlerde Kimliklendirme Açısından Araştırılması, *Adli Tıp Bülteni* 26(1):40-45,

Bravo, J.A., Forsythe, P., Chew, M.V., vd. (2011). Ingestion of Lactobacillus strain regulates emotional behavior and central GABA receptor expression in a Mouse via the vagus nerve. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 108(38), 16050-16055 [Crossref]

Budowle, B., Schutzer, S.E., Einseln, A., vd. (2003) Public health, Building microbial forensics as a response to bioterrorism. *Science*. 301(5641):1852-3. [Crossref]

Collins, S.M., Bercik, P. (2009) The relationship between intestinal microbiota and the central nervous system in normal gastrointestinal function and disease. *Gastroenterology*, 136(6), 2003-2014 [Crossref]

Çakan, H., Sirekbasan, S. (2020). Adli bilimlerde gıda zehirlenmeleri. Gündoğmuş ÜN, editör. *Adli Mikrobiyoloji*. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; p.19-25.

Dalgıç, M., Tuğcu, H., Can, Ö., vd. (2004). Otopside Biyogüvenlik, *Adli Tıp Dergisi*, 18(2): 61-66.

Denstaedt, S.J., Singer, B.H., Standiford, T.J. (2018). Sepsis and nosocomial infection: patient characteristics, mechanisms, and modulation. *Front. Immunol.* 9:2446 [Crossref]

Desbonnet, L., Garrett, L., Clarke, G., vd. (2008) The probiotic Bifidobacteria infantis: an assessment of potential antidepressant properties in therat. *J. Psychiatr. Res.* 43(2), 164-174 [Crossref]

Di Luca, A., Vetrugno, G., Pascali, V.L., vd. (2019). Perspectives on patient safety and medical malpractice: a comparison of medical and legal systems in Italy and the United States. *J. Patient. Saf.* 15(4), e78-e81 [Crossref]

Efeoğlu, F. (2019). İstanbul'da çeşitli ilçelerden alınan toprak ve toprağa gömülü fiziksel delillerin adli mikrobiyolojik yönden araştırılması. [Yüksek Lisans Tezi], İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Adli Bilimler Enstitüsü,

Ekici, M., Ekici, HB. (2021). Beyin-Bağırsak-Mikrobiyota Eksenini Genel Bakış. *Bozok Veterinary Sciences*, 2(1), 16-22.

Escobar, J.S., Klotz, B., Valdes, B.E., vd. (2014). The gut microbiota of Colombians differs from that of Americans, Europeans and Asians. *BMC Microbiol.* 14:311 (2014) [Crossref]

Evrensel, A., Ceylan, M.E. (2015). Bağırsak beyin eksenini: psikiyatrik bozukluklarda bağırsak mikrobiyotasının rolü. *Psikiyatride Güncel Yaklaşımlar*. 7(4), 461-472

FAO ve WHO, (2002). Pan European Conference on Food Safety and Quality. February, 2002. <http://www.fao.org> [Erişim Tarihi: 10.03.2021]

Fernández-Rodríguez, A. (2014) Forensic and autopsy microbiology: general overview and current challenges. Session: Forensic and post-mortem microbiology in the 21st century. ECCMID. 10 - 13 May 2014 Barcelona, Spain. SY234

Garbioğlu, A., Gündoğmuş, Ü.N., Erdoğan, M.S. (2020). Adli bilimlerde iş sağlığı ve güvenliği yönünden mikrobiyolojik değerlendirme. Gündoğmuş ÜN, editör. *Adli Mikrobiyoloji*. 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri; p.39-42.

Gershon, M.D. (1999). The enteric nervous system: a second brain. *Hospital Practice*, 34(7), 31-52 [Crossref]

Gupta, V.K., Paul, S., Dutta, C. (2017). Geography, ethnicity or subsistence-specific variations in human microbiome composition and diversity. *Front Microbiol.* 8, 1162 [Crossref]

Gündoğmuş Ü.N. (2020). Adli Mikrobiyoloji. *Adli Tıp Özel Sayısı*. Türkiye Klinikleri [Online ISBN: 978-625-401-011-8].

Hight, A.R., Berry, A.M., Bettelheim, K.A., Goldwater, P.N. (2014) Gut microbiome in sudden infant death syndrome (SIDS) differs from that in healthy comparison babies and offers an explanation for the risk factor of prone position. *Int. J. Med. Microbiol.* 304(5-6), 735-741 [Crossref]

- Sevgililerine AIDS bulaştıran erkeğe 8 yıl hapis. [2003]. Milliyet Gazetesi. <https://www.milliyet.com.tr/gundem/sevgililerine-aids-bulastiran-erkege-8-yil-hapis-5142697> [Erişim Tarihi: 29.08.2021]
- Hyde, E.R., Haarmann, D.P., Lynne, A.M., Bucheli, S.R., Petrosino, J.F. (2013). The living dead: bacterial community structure of a cadaver at the onset and end of the bloat stage of decomposition. *PLoS One*. 8(10), e77733
- Huys, G., Coopman, V., Van Varenbergh, D., vd. (2012). Selective culturing and genus-specific PCR detection for identification of *Aeromonas* in tissue samples to assist the medico-legal diagnosis of death by drowning. *Forensic Sci. Int.* 227(1-3), 11-5 [Crossref]
- Hürlimann, J., Feer, P., Elber, F., vd. (2000). Diatom detection in the diagnosis of death by drowning. *Int. J. Legal Med.* 114(1-2), 6-14 [Crossref]
- Jauréguy, F., Chariot, P., Vessières, A., vd. (2016). Prevalence of *Chlamydia trachomatis* and *Neisseria gonorrhoeae* infections detected by real-time PCR among individuals reporting sexual assaults in the Paris, France area. *Forensic Sci. Int.* 266, 130-133 [Crossref]
- Kaya, A. (2018). Adli bilimlerde insan el florasındaki bakterilerin kimliklendirme amaçlı kullanımı, [Yüksek Lisans Tezi], İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi, Adli Bilimler Enstitüsü.
- Kodama, W.A., Xu, Z., Metcalf, J.L., vd. (2019). Trace evidence potential in postmortem skin microbiomes: from death scene to morgue. *J. Forensic Sci.* 64(3), 791-798 [Crossref]
- Lucas, S. (2007). The autopsy pathology of sepsis-related death. *Current Diagnostic Pathology* 13(5), 375-388. [Crossref]
- Lyte, M. (2011). Probiotics function mechanistically as delivery vehicles for neuroactive compounds: microbial endocrinology in the design and use of probiotics. *Bioessays* 33(8), 574-581 [Crossref]
- Messaoudi, M., Violle N, Bisson J F, vd. (2011). Beneficial psychological effects of a probiotic formulation (*Lactobacillus helveticus* R0052 and *Bifidobacterium longum* R0175) in healthy human volunteers. *Gut Microbes* 2(4), 256-261 [Crossref]
- Millî Eğitim Bakanlığı (MEB), (2015). Gıda-Mikroorganizma İlişkisi, Ankara,
- Nagasawa, S., Motani-Saitoh, H., Inoue, H., vd. (2013). Geographic diversity of *Helicobacter pylori* in cadavers: Forensic estimation of geographical origin. *Forensic Sci. Int.* 229(1-3), 7-12 [Crossref]
- Naseribafrouei, A., Hestad, K., Avershina, E., vd. (2014). Correlation Between The Human Fecal Microbiota and Depression. *Neurogastroenterol Motil.* 26(8), 1155-1162 [Crossref]
- Neckovic, A., Van Oorschot, R.A.H., Szkuta, B., vd. (2020). Investigation of direct and indirect transfer of microbiomes between individuals. *Forensic Sci. Int. Genet.* 45:102212 [Crossref]
- Oğdur, M., Cakan, H., Çevik., F.E. (2018). Investigation of the microorganisms decaying blood evidences, *Medicine Science*, 7.(1);173-177. [Crossref]
- Öğdür, M. (2019). *İntihar vakalarında bağırsak bakterilerinin adli bilimler açısından araştırılması*, [Doktora Tezi], İstanbul Cerrahpaşa Üniversitesi, Adli Bilimler Enstitüsü.
- Öz, V., Karadayı, Ş., Çakan, H., Karadayı, H. Kaya, A. (2014). Food poisoning in emergency units, *Marmara Medical Journal* 27, 89-95.
- Özcan, C., Hasanoğlu, A., Gülcüler, M. (1996). Sepsis ve İnflamasyon Mediatorleri, *Turgut Özal Tıp Merkezi Dergisi* 3(4),
- Prtak, L., Al-Adnani, M., Fenton, P., vd. (2010). Contribution of bacteriology and virology in sudden unexpected death in infancy. *Arch. Dis. Child.* 95(5), 371-376 [Crossref]
- Rana, A.K. (2018). The future of forensic biology. *J Biomedicine* 3: 13-18. [Crossref]
- Rao, A.V., Bested, A.C., Beaulne, T.M., vd. (2009). A randomized, double-blind, placebo-controlled pilot study of a probiotic in emotional symptoms of chronic fatigue syndrome. *Gut Pathogens*, 1(1), 6 [Crossref]
- Rook, G.A., Lowry, C.A., Raison, C.L. (2015). Hygiene and other early childhood influences on the subsequent function of the immune system. *Brain Res.* 1617, 47-62 [Crossref]
- Rutty, G.N., Bradley, C.J., Biggs, M.J., vd. (2015). Detection of bacterioplankton using PCR probes as a diagnostic indicator for drowning; the Leicester experience. *Leg Med (Tokyo)*. 17(5), 401-408 [Crossref]
- Siracusa, M., Scuri, S., Grappasonni, I., vd. (2019). Healthcare acquired infections: *Malpractice and litigation issues*. *Ann. Ig.* 31(5), 496-506
- Sirekbasan, S., Çakan, H., Polat, E. (2020). Biyosuç ve biyoterör; Gün-doğmuş ÜN, editör. *Adli Mikrobiyoloji*, 1. Baskı. Ankara: Türkiye Klinikleri, P1-5
- Sönmez, E. (2006). Otopsi salonu solunum havasında bulunan patojenlerin mikrobiyolojik yöntemler ile saptanması. [Doktora Tezi], Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi.
- Sözlük. <https://sozluk.gov.tr/> [Erişim Tarihi: 30.03.2021]
- Şimşek, F. (2005). Besin Zehirlenmeleri. *Toksikoloji Dergisi*, 3(1), 3-9
- Taş, M. (2004). *Gıda hijyeni güvenliği ve HACCP*. Sim Matbaacılık, Ankara,
- Timperman, J. (1972). The diagnosis of drowning. *A review. Forensic Sci.* 1(4), 397-409 [Crossref]
- Tomaso H., Neubauer H. (2011). Forensic Microbiology. In: *Forensic Medicine-From Old Problems To New Challenges*. Ed: Vieira. N.D. InTech. [Crossref]
- Tsokos, M. (2006). Pathology of Sepsis. *Essentials of Autopsy Practice: Current Methods and Modern Trends*. (G. N. Rutty, eds) London, Springer London: 39-85. [Crossref]
- Tsokos, M. (2007). Postmortem diagnosis of sepsis. *Forensic Sci. Int.* 165(2-3), 155-164 [Crossref]
- Tuomisto, S., Karhunen, P.J., Vuento, R., vd. (2013). Evaluation of post-mortem bacterial migration using culturing and real-time quantitative PCR. *J. Forensic Sci.* 58(4), 910-916 [Crossref]
- Uchiyama, T., Kakizaki, E., Kozawa, S., vd. (2012). A new molecular approach to help conclude drowning as a cause of death: simultaneous detection of eight bacterioplankton species using real-time PCR assays with TaqMan probes. *Forensic Sci. Int.* 222(1-3), 11-26 [Crossref]
- Ursell, L.K., Metcalf, J.L., Parfrey, L.W., vd. (2012). Defining the human microbiome. *Nutr. Rev.* 70 Suppl 1(Suppl 1), S38-44 [Crossref]
- Ventura S. E., Stassi, C., Mondello, C., vd. (2019). Forensic microbiology applications: A systematic review. *Leg Med* 36, 73-80 Tokyo. [Crossref]
- Walker, A.R., Datta, S. (2019). Identification of city specific important bacterial signature for the MetaSUB CAMDA challenge microbiome data. *Biol. Direct.* 14(1), 11 [Crossref]
- WHO (World Health Organization). (2002). Prevention of hospital-acquired infections: A practical guide (G. Ducloux, J. Fabry and L. Nicolle eds). Geneva, Switzerland: World Health Organization.
- Williams, D.W., Gibson, G. (2017). Individualization of pubic hair bacterial communities and the effects of storage time and temperature. *Forensic Sci. Int. Genet.* 26, 12-20 [Crossref]
- Willinger, M., James, L.S., Catz, C. (1991). Defining the sudden infant death syndrome (SIDS): Deliberations of an expert panel convened by the National Institute of Child Health and Human Development. *Pediatr Pathol.* 11(5), 677-684 [Crossref]
- Young, S.T., Wells, J.D., Hobbs, G.R., vd. (2013). Estimating postmortem interval using RNA degradation and morphological changes in tooth pulp. *Forensic Sci. Int.* 229(1-3), 163.e1-6 [Crossref]
- Zhou, W., Y. Bian (2018). Thanatomicrobiome composition profiling as a tool for forensic investigation. *Forensic sciences research* 3(2), 105-110. [Crossref]

BÖLÜM 2

BİYOTERÖR

Filiz Ekim ÇEVİK

Biyoterör

Bioterrorism

BÖLÜM HAKKINDA

Biyoterörizm, insanlarda, hayvanlarda veya bitkilerde hastalığa veya ölüme neden olacak şekilde virüslerin, bakterilerin, toksinlerin veya diğer zararlı maddelerin kasıtlı olarak salınmasıdır. Biyoterörizm ajanları kolayca yayılabilir; vakalar uygun şekilde tedavi edilmezse ciddi hastalıklara ve yüksek ölüm oranlarına neden olabilir ve yönetim ve müdahale açısından önemli zorluklar oluşturabilir. Doğal olarak oluşmuş veya insan eliyle değiştirilmiş olabilirler. Biyoterörizmden kaynaklanan tehdit gerçektir. Bu gerçekliğe adli bilimler bakış açısıyla bakılması hedeflenmiştir.

Anahtar kelimeler: Biyoterör, biyolojik ajanlar, biyogüvenlik, adli bilimler

ABOUT the CHAPTER

Bioterrorism is the intentional release of viruses, bacteria, toxins, or other harmful substances that can cause disease or death in humans, animals, or plants. Bioterror agents can easily spread, leading to serious illnesses and high mortality rates if cases are not appropriately treated, posing significant challenges in terms of management and intervention. These agents can occur naturally or be artificially modified. The threat arising from bioterrorism is real. The examination of this reality is intended to be conducted from the perspective of forensic sciences.

Keywords: Bioterrorism, biological agents, biosecurity, forensic sciences

Bilimsel başarılar, özellikle de en insani bilim olan biyoloji ve tıp alanında, yalnızca insanlığın yararına kullanılmalı, ancak ona asla zarar vermemelidir.

Dünya Sağlık Örgütü

Giriş

Adli mikrobiyoloji ve mikrobiyal ekoloji, patoloji, biyoterörizm, çevre ve gıda kalitesi gibi araştırmalara katkıda bulunan geniş bir bilim dalıdır (Carter DO ve ark, 2017). Biyolojik silah, bakteri ve virüsler yoluyla bulaşan, hayvanlarda ve bitkilerde salgınlara ve ölümlere neden olarak insanlarda etkisini gösteren toksinler ve zehirler olarak tanımlanmaktadır (WHO, 2022; Çakan ve ark, 2015). Biyoterörizm, insanlarda, hayvanlarda veya bitkilerde hastalığa veya ölüme neden olan virüslerin, bakterilerin, toksinlerin veya diğer zararlı ajanların kasıtlı olarak salınmasıdır (CDC, Centres for Diseases Control and Prevention. 2021). Biyosuç, mikrobiyal bir ajan veya toksin kullanılarak bir bireyin veya bir grup bireyin öldürülmesine veya paniğine neden olur (Jansen vd., 2014; Pavlin, 1999).

Suçlular, genellikle biyolojik ajanları (virüs, bakteri veya bakteriyel toksin) geleneksel silahlara tercih ederler. Biyoterör saldırılarında en önemli adım olayın tespitidir. Bu da şüpheyle ve hızlı tespite yardımcı olacak iyi bir gözetim sistemine sahip olmakla başarılabılır. Hemen hemen her patojenik mikroorganizma saldırı kaynağı olabilir. Biyoterör ajanlar, ulusal güvenlik açısından risk oluşturma önceliğine ve yayılma kolaylığına göre kategorize edilmiştir. Bir saldırıyla mücadele ederken yapılan faaliyetler; hazırlık aşaması, erken uyarı aşaması, bildirim aşaması, müdahale aşaması ve kurtarma aşaması olmak üzere beş aşamada gerçekleştirilir. Erken tespit ve hızlı araştırma, bu tür saldırıları kontrol altına almanın anahtarını oluşturur. Bu bölümde biyoterör tanımı, biyoterör ajanları, hastalıkların tespiti ve biyoterör yaklaşımları anlatılacaktır.

Biyoterörizme Tarihsel Yaklaşım

Adli mikrobiyoloji; adli genetik, mikrobiyoloji, epidemiyoloji, tıp, moleküler biyoloji gibi



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



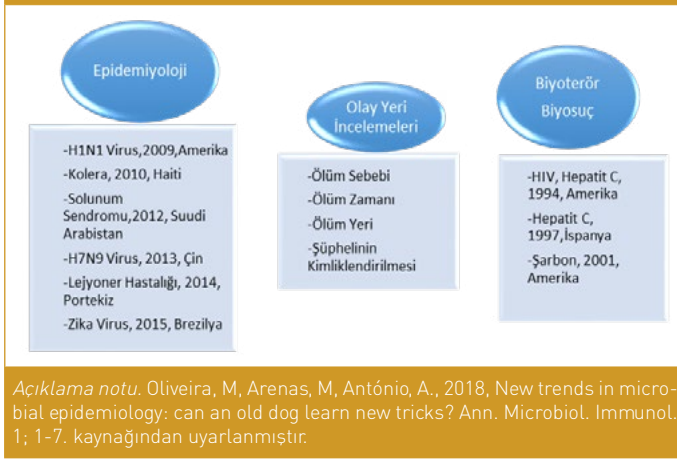
Filiz Ekim Çevik

Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü, Tıp Bilimleri Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-posta: filiz.cevik@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Çevik, FE. (2024). Biyoterör. G. Filoğlu & Ö. Bülbül (Ed). *Adli biyoloji: Doğanın izleriyle adaletin pesinde I* içinde [s. 74-80]. İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.

Şekil 1

Güncel ve Paradigmatik örneklerle Adli mikrobiyoloji uygulamaları



temel bilimler üzerine kuran yeni ve gittikçe genişleyen multidisipliner bir bilim dalıdır (Amorim, 2010). Adli mikrobiyoloji, yaşamı tehdit eden bakteriler, virüsler ve toksinler gibi patojenik ajanların kökenini tespit etmeye, tanımlamaya ve izlemeye çalışır (Arenas vd., 2017). Adli mikrobiyoloji alanında; biyoterörizm, biyosuç, salgınlar ve patojenlerin bulaşması, biyolojik bir ajanın ve/veya bir toksinin kazara salınması gibi çok sayıda adli vaka uygulamaları bulunmaktadır (Budowle ve ark, 2003; Murch, 2003; Danley, 2012; Schutzer ve ark, 2005; González-Candelas, 2017; Oliveira ve ark, 2018; Di Pasquale ve ark, 2010; Knutsson ve ark, 2011) (Şekil 1).

Biyolojik silahların bilinen ilk kullanımı, Asurlular tarafından su kaynağının *Claviceps purpurea* (çavdar ergot) mantarı ile kontamine edildiği MÖ 6. yüzyılda rapor edilmiştir. Krissa kuşatması sırasında hellebore adlı müshil bir bitki kullanılmıştır (Riedel, 2004). 1346'da Tatar ordusu tarafından veba kurbanlarının cesetlerinin Kaffa şehrinin surlarına atılması (Venkatesh ve Memish, 2003; Christopher vd., 1997) ve 1767'de İngilizler tarafından çiçek hastalığının Kızılderi nüfusuna bulaştırılmış battaniyeler yoluyla çiçek hastalığının yayılması, en sık belirtilen zehirlenme vakalarıdır (Lane ve Fuci, 2005).

Yakın geçmişte, Afganistan'da halk arasında "sarı yağmur" olarak bilinen mikotoksinlerin (mantar toksinleri) kullanıldığı rapor edilmiştir. Amerika Birleşik Devletleri'ndeki (ABD) en önemli biyolojik saldırı, 1984'te Oregon'da bir topluluk tarafından restoran salata barlarının kasıtlı olarak *Salmonella* ile kontamine edilmesiyle 751 kişinin hastalanmasına neden olmuştur (Lane ve Fuci, 2005; Klietmann ve Ruoff, 2001). 2001'de ABD'de, senatörlere, gazetecilere ve medya kuruluşlarına şarbon sporları içeren bir dizi mektup gönderilerek şarbon sporlarına maruz kaldılar. Bu saldırı ile ilgili Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (CDC, Centers for Disease Control and Prevention), 22 şüpheli şarbon vakası tespit etti. Olayda 5 kişi hayatını kaybetti (Jansen, 2014; Laneve Fuci, 2005).

Biyolojik silahlar, biyolojik ajanların konuşlandırılabilmesiyle kolaylık, kurbanlar üzerindeki yıkıcı etkileri ve ucuz olmaları nedeniyle yaygın olarak tercih edilme eğilimindedir. Biyolojik silahların geliştirilmesini, üretilmesini ve savaşta kullanılmasını, ilk olarak 1925'te imzalanan ve 121 devletin 65'i tarafından onaylanan Cenevre protokolü ile yasaklamıştır (Jansen vd., 2014).

Biyoterörizm Nedir?

Biyoterörizm, biyolojik ajanların (virüsler, bakteriler, mantarlar veya bunların toksinleri) insan topluluklarında veya çiftlik hayvanları arasında hastalığa ve/veya ölüme neden olmak amacıyla, korkutmak veya manipüle etmek için kasıtlı olarak salıverilmesi veya salıverilme tehdididir (CDC, 2021; Interpol, 2022). Saldırganların biyolojik ajanları kullanarak topluma zarar verdiklerini kanıtlayan birçok biyoterörizm tehdidini ortaya koyan raporlar bulunmaktadır (Interpol, 2022).

Biyolojik silahlar, aerosol, gıda, su veya böcek vektörleri kullanarak hastalık üreten organizmaları veya toksinleri yaymak için kasıtlı olarak kullanılan veya kullanılması amaçlanan ajanlardır. Biyoterör saldırıları hemen hemen her patojenik mikroorganizma ile yapılabilir. Biyoterör ajanı olarak virüs, bakteri, mantar veya toksinler düşük konsantrasyonlarda sürekli olarak belirli bir etki, hastalık veya ölüm oluşturma potansiyeline sahiptirler. Etken oldukça bulaşıcı olmalı, kısa ve öngörülebilir bir kuluçka süresine sahip olmalıdır. Hedef popülasyon, ajana karşı çok az bağışıklığa sahip olmalı veya hiç bağışıklığa sahip olmamalıdır. En çok tercih edilen ajanlar arasında; şarbon (*Bacillus anthracis*), botulizm (*Clostridium botulinum*), veba (*Yersinia pestis*), çiçek hastalığı (*variola major*), tularaemi (*Francisella tularensis*) ve viral hemorajik ateş (filovirüsler ve arena virüsleri) gibi hastalıklara sebep olan mikroorganizmalar yer almaktadır. Etki mekanizmaları, genel olarak enfeksiyon veya zehirlenme yoluyla olmaktadır (Amorim, 2010).

Belirli bir patojenik ajanın kazara ve kasıtlı salınımı olup olmadığını ayırmak önemlidir. Ajanın kasıtlı olarak salıverilmesi, gizli veya açık şekilde yapılabilir. Gizli yapıldığında, günler hatta haftalarca fark edilmeyebilir ve yayılmanın ilk işareti olarak bilmeden başkalarına bulaştırabilecek hasta bireylerin ortaya çıkmasına neden olur.

Patojenlerin dağılımı doğal veya tesadüfi olabilir. Tesadüfi, kasıtlı veya tıbbi uygulama hatası nedeniyle olabilir. Bu nedenle, patojen izleme için güvenilir ve sağlam gözetim protokollerinin uygulanması, mikroorganizmaların kendiliğinden ve zararlı yayılımını (biyolojik savaş, biyoterörizm veya biyosuç ile ilgili) ayırt etmek önemlidir. Risk kategorilerini tahmin etmek için; insan yapımı, doğal, tesadüfi, bulaşıcı ve bulaşıcı olmayan şekilde gruplandırılmıştır (Schoch-Spana ve ark, 2017; Watson ve ark, 2017). Biyolojik terör saldırısında, biyolojik ajanlar kasıtlı olarak salınır (Williams ve ark, 2023; Khardori ve Kanchanapoom, 2005). Bu salınma ve yayılma, paniğe, kitlesel kayıplara veya ekonomik kayıplara neden olur (Jansen, 2014). Biyolojik ajanların kitlesel yayılımını artırmak için patojen ajanın genetiği değiştirilerek kullanılabilir. Örneğin, mevcut ilaçlara ve aşılarla karşı daha yüksek ölüm oranı veya direnç oluşturmaya neden olacak şekilde değiştirilebilir (Pavlin, 1999). Biyoterör saldırı olasılığı ile karşı karşıya kalındığında, ilgili etkeni belirlemek, yalnızca toplum arasında paniği önlemek için değil, aynı zamanda etkenin yayılmasıyla ilişkili morbidite (hastalık) ve mortaliteyi (ölüm) kontrol etmek için de çok önemlidir (Lehman, 2014). Biyoterörizm tehditleri rasyonel olarak düşünülmeli ve diğer bulaşıcı hastalık riskleriyle birlikte hazırlık planlarına entegre edilmelidir (Raoult, 2017).

Biyolojik Ajanların Sınıflandırılması

CDC'göre biyolojik silahlar, biyolojik ajanların ulusal güvenliğe risk oluşturma önceliği ve yayılma kolaylığına göre üç kategoride

Tablo 1

Biyoterörizm ajanlarının sınıflandırılması

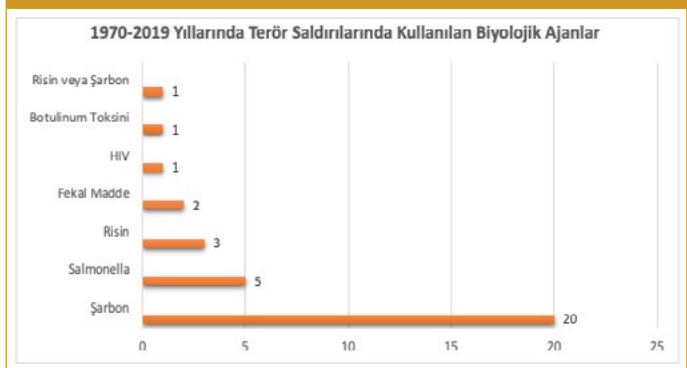
Kategori A	Kategori B	Kategori C
Yüksek öncelikli ajanlar, ulusal güvenlik için risk oluşturan organizmaları içerir	İkinci en yüksek öncelikli ajanlar şunları içerir	Üçüncü en yüksek öncelikli ajanlar, ortaya çıkan patojenleri içerir
Kolayca yayılır	Yayılmaması orta derecede kolaydır	Bu, gelecekte kitlesel yayılım için tasarlanabilir özelliktedir.
Yüksek mortaliteye neden olur	Orta derecede morbiditeye neden olur	Yüksek morbidite, mortalite ve önemli sağlık etki potansiyeline sahiptir
Kamusal paniğe ve sosyal bozulmaya neden olur	Yayılmış hastalık gözetimi yapılması ve halk sağlığı açısından teşhis kapasitesinin bilinmesini gerektirir	
Hazırlık için özel süreç gerektirir		
<i>Açıklama notu.</i> Centres for Diseases Control and Prevention. (2021). Emergency Preparedness and Response: Bioterrorism Overview. https://emergency.cdc.gov/agent/agentlist-category.asp kaynağından uyarlanmıştır.		

sınıflandırılmaktadır (Tablo 1). Buna göre ilk kategori A kategorisi olup yüksek öncelikli ajanlar ve ulusal güvenlik için risk oluşturan organizmaları içerir. Kategori B, yayılması orta derece kolay olan ajanları içerir. Kategori C ise önemli sağlık etki potansiyeline sahip olan üçüncü en yüksek ajanları içermektedir. Bu üç kategoride yer alan mikrobiyolojik ajanlar Tablo 2’de listelenmiştir (<http://publichealth.lacounty.gov/acd/BioAgents.htm>).

Global Terörizm Veri bankasının (The Global Terrorism Database, GTD) 1970- 2019 yılları arasındaki verilerine göre 33 biyoterör

Grafik 1

Terör saldırılarında kullanılan biyolojik ajanlar



Açıklama notu. Global Terrorism Database (GTD). START.umd.edu kaynağından uyarlanmıştır.

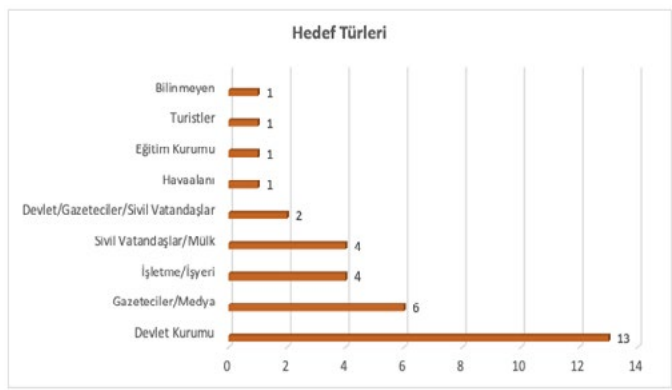
Tablo 2

Biyoterörizm ajanları

Kategori A ajanları	Kategori B ajanları	Kategori C ajanları
Bacillus anthracis (anthrax)	Alpha virüsleri	Hanta virüsleri
Clostridium botulinum toksin (botulizm)	Doğu ve batı ataya ait ensefalomyelit virüsleri (Eastern and western equine encephalomyelitis viruses , EEE, WEE)	Çoklu ilaca dirençli tüberküloz
Francisella tularensis (tularemia)	Venezuela ataya ait ensefalomyelit virüsleri (Venezuelan equine encephalomyelitis viruses,VEE)	Nipah virüsü
Variola major (Çiçek virusu)	Brucella species (brucellosis)	Kene kaynaklı hemorajik ateş virüsleri
Yersinia pestis (Veba)	Burkholderia mallei (glanders)	Sarıhumma
Filo Virusları (Örn. Ebola virusu ve Marburg virüsü)	Coxiella burnetii (Q ateşi)	
Ebola virüs (Ebola hemorrhagic fever)	Clostridium perfringens’in Epsilon toksini	
Marburg virüs (Marburg haemorrhagic fever)	Ricinus communis kaynaklı Ricin toksini	
Arena virüsleri	Staphylococcal enterotoxin B	
Junin virüsü (Arjantin kanamalı ateşi) ve ilgili virüsler	Kategori B ajanlarının bir alt kümesi, gıda veya su kaynaklı patojenleri içerir. Bu patojenler: -Cryptosporidium parvum -Escherichia coli O157:H7 -Salmonella species -Shigella dysenteriae -Vibrio cholerae	
Lassa virüsü (Lassa ateşi)		
<i>Açıklama notu.</i> Centres for Diseases Control and Prevention., 2021, Emergency Preparedness and Response: Bioterrorism Overview. https://emergency.cdc.gov/agent/agentlist-category.asp kaynağından uyarlanmıştır.		

Grafik 2

Biyolojik ajanların rapor edildiği terör olaylarının hedef türüne göre dağılımı



Açıklama notu. Global Terrorism Database (GTD). START.umd.edu kaynağından uyarlanmıştır.

saldırısının 20'si şarbon, 5'i salmonella, 3'ü risin, 2'si dışkı, 1'i botulinum toksini, 1'i HIV ile enfekte jilet kullanımı ve 1'i risin veya şarbon ile ilgili olduğunu bildirmiştir. Bu saldırılarda meydana gelen ölümlerin yedisi şarbon, 2'si ölüm salmonella vakalarına bağlı olduğu ve 806 yaralanmanın 776'sı salmonella içeren 2 saldırı, 25'i şarbon ve 1'i biyolojik ajan olarak fekal madde içeren bir olayla ilgili olduğu rapor edilmiştir (Grafik 1) (GTD, 2022).

Biyolojik ajanlarla gerçekleştirilen bu terör saldırılarının 13'ü devlet kurumuna, 6'sı gazeteci veya medya kuruluşlarına, 4'ü işletme, 4'ü sivil vatandaşlara, 2'si farklı hedeflere yönelik (devlet, gazeteci ve sivil vatandaşlar arasında), 1 havaalanına, 1 eğitim kurumuna, 1 turistlere yönelik ve 1 saldırı da hedefi bilinmeyen olarak listelenmiştir (Grafik 2). (GTD, 2022).

Biyolojik Ajanların ve Neden Olduğu Hastalıkların Teşhisi

Adli araştırmalar ve epidemiyolojik çalışmalar arasındaki protokoller ve hedefler açısından farklılıkların yanı sıra, ilgili mikroorganizmaların belirlenmesi ve salgın kaynaklarının araştırılması da adli mikrobiyolojinin alanına girmektedir (Oliveira ve ark, 2018; Kelley ve Osterholm, 2015).

Küreselleşme ile sürekli nüfus artışı, mega kentlerin yoğunlaşması ve hava taşımacılığının gelişimi, bulaşıcı hastalıkların sürekli bulaşmasına yol açmıştır. Bu hastalıkları belirlemek için: "patojeni tanımlamak, salgını belirlemek ve kaynağı belirlemek" önemlidir. Yeni hastalıkların patogenezi ile ilgili temel araştırmaları artırmak, nedenlerini keşfetmek, hızlı ve gerçek zamanlı patojen tanımlama teknolojisini geliştirmek önemlidir. Bunların yanı sıra; hastalıklara karşı korunmak için sürveyans ve erken uyarı stratejilerinin artırılması, küresel yeni patojen izleme sistemlerinin kurulması ve iyileştirilmesi, vahşi hayvanlar tarafından bulaşan ve salgına neden olan hastalıkların sürveyansının iyileştirilmesi ortaya çıkan bulaşıcı hastalıkların ve salgınların etkisini azaltmak açısından önemlidir.

Biyoterörizmin etkilerinin ve sonuçlarının üstesinden gelmek için, hızlı epidemiyolojik ve laboratuvar araştırmalarının yapılması, hastalık gözetimi ve verimli bir şekilde tıbbi yönetim sağlamak

gereklidir. Tek tek biyotoksinlerin etki mekanizmalarını anlamak ve klinik semptomlar hakkında bilgi edinmek oldukça değerlidir. Ortaya çıkan bulaşıcı hastalıkların ve genetiği değiştirilmiş suşların biyoterörizm için kullanılabilirliğini ve bu patojenleri tedavi edecek spesifik ilaçlar veya aşılarda bulunmadığı takdirde sağlık kuruluşlarını kaotik senaryolara ve zorluklara maruz bırakabilmektedir.

Biyoterörizm saldırılarına karşı, patojenleri tespit etmek ve patojen veri tabanı oluşturma, risk değerlendirmesi yapmak ve erken uyarı stratejilerini güçlendirmek gerekmektedir. Enfeksiyöz veya toksik bir biyolojik ajanın yayılması kazara veya kasıtlı olarak meydana gelen biyolojik bir olaya verilen yanıt, birden fazla sektör arasındaki koordinasyona dayanır. Biyoterörizmin etkisini en aza indirmek için bir teşhis kiti, tedarik üssü, ulusal bir aşı ilaç rezervi oluşturmak ve biyoteknoloji araştırmalarını artırmak gerekmektedir (Bush ve ark, 2001). 2001 şarbon mektuplarından bu yana, patojeni belirleme araştırmalarında büyük ilerlemeler sağlanmıştır.

Modern örnek hazırlama protokolleri ve son derece hassas, spesifik PCR tabanlı sistemler, dizileme teknolojilerinin daha az maliyetle ve daha portatif hale gelmesini sağlamıştır. Bulut tabanlı ağlar aracılığıyla salgının tespiti daha hızlı yapılabilir ve dünya çapında daha hızlı kararlar verilebilir (Pennisi, 2016).

Salgın noktasında hızlı bir şekilde patojenleri belirleyebilen kitle geliştirilmiştir. Örneğin Francisella tularensis için hızlı ve kartuşa dayalı bir test geliştirilmiştir (Banada ve ark, 2016). Bu hastalıkların yayılmasını önlemenin anahtarı erken ve doğru teşhistir. Ebola virüsü ve Lassa virüsü enfeksiyonlarının teşhisinde hem antikörler hem de antijenleri saptamak için hassas bir mikroküre teknolojisi geliştirilmiştir (Satterly ve ark, 2016). Şarbon antikörlerini belirlemede kullanılan ELISA testleri olmasına rağmen (Brennan ve ark, 2011; Quinn ve ark, 2002), PCR'ye dayalı GeneXpert sistemiyle yaklaşık 90 dakikada şarbon antikörleri (anthrax antibodies) belirlenebilmektedir (Banada ve ark, 2017). Çiçek hastalığı virüsünü tespit etmek için, 45 dakika sonuç verebilen, antikor immüno kolon immünofiltrasyona dayanan hızlı ve hassas bir yöntem geliştirilmiştir (Stern ve ark, 2016). Bununla birlikte elektron mikroskopu, çiçek hastalığı ve diğer viral ajanları tanımlamak için hala hızlı ve verimli bir yöntem olarak kabul edilmektedir. Yeni nesil dizileme ve yeni bilişim araçları sayesinde laboratuvarlararası işbirliğinin sağlanması ve hızlı belirleme testlerinin geliştirilmesi ile birçok virüs tanımlanabilmektedir (Lipkin, 2013).

Biyoteknoloji insanlara fayda sağlamakla birlikte yanlış kullanımı sonucunda insan sağlığını tehdit edebilmektedir. Biyoteknolojinin, özellikle de gen sentezi teknolojisinin yönetimi devletlerin kontrolünde olmalıdır. Gen sentezine ilişkin düzenleme ile sentezlenen genlerin zarar vermek üzere kullanılması ihtimalini ortadan kaldıracaktır (Minshull&Wagner, 2009).

Ayrıca, endemik verilerin eksikliği, mikroorganizma orijini izlemede eksiklik, meta verilerin eksikliği ve özgün genetik çeşitliliğe sahip olmayan referans veri tabanlarının yetersizliği de bu kısıtlamayı desteklemektedir (Arenas ve ark, 2017; Sjodin ve ark, 2013). Ek olarak, yasal ceza davalarında kanıt olarak kabul edilmesine rağmen bu alanda oluşturulan standartlar ve kılavuzların yeterli olmaması adli mikrobiyoloji alanının standartlaşmasını kısıtlamaktadır (Arenas ve ark, 2017; Bhattacharya, 2014).

Biyoterörizm ile İlgili Bakış Açılarının Değerlendirilmesi

Biyoterörizm, hem yerel hem de uluslararası gruplarda meşru bir tehdit olmaya devam etmektedir. Halk sağlığı perspektifinden bakıldığında; zamanında yapılan gözetim, biyoterörizmden kaynaklanan sendromların farkındalığı, epidemiyolojik araştırmaların artırılması, laboratuvar tanı kapasitesinin artırılması ve medya aracılığıyla kamu iletişimini yönetmek için ilgili kritik bilgilerin bilinmesi ve hızla iletişim kurulabilmesi açısından hayati öneme sahiptir. Biyoterörizm risk değerlendirmesi, potansiyel bir saldırı öncesinde ve durumunda risk seviyelerini belirlemek için nitel ve nicel parametreleri uygulayabilen model çerçevelerinin kurulmasıyla birlikte çok yönlü hale gelmiştir. Risk değerlendirmesindeki ilerlemeler, hazırlık süreci ve politik reformlarla muhtelif yöntemlerin kullanılmasına yol açmıştır (Radosavljevic ve Belojevic, 2009). Örneğin 2009 yılında geliştirilmiş bir patojen biyoterör risk puanlama şeması önerilmiştir ve bu şema yalnızca biyoterör potansiyelinin klasik özelliklerini değil, aynı zamanda potansiyel bir saldırıyla ilgili toplumsal faktörleri de dikkate almıştır. Bu faktörler; patojenin yerel insidansı ve belirli patojenlerin neden olduğu hastalığın klinik sunumu ve bu alanda sağlık tesislerinin varlığı ilgili arttıran konular olmuştur (Pappas ve ark, 2009).

Bir biyoterör saldırısı durumunda mortalite ve morbiditeyi en aza indirmek için sağlık hizmetlerinin tüm seviyelerinde oluşturulan standart operasyon prosedürler/talimler uygulanmalıdır. Bunun yanı sıra yeterli ilaç, laboratuvar reaktifleri, antitoksinler ve aşıların sağlanması da gerekir. Hastanın acil bakıma ve yoğun bakıma ihtiyacı olacaktır bu da bir ekip çalışması gerektirir. Hastalığın sistemik tutulumu durumunda, çeşitli alt uzmanlıkları içeren çapraz konsültasyon da gerekli olabilir. Sağlık uzmanlarının hazırlıklı olmaları ve hastayı yönetmede disiplinler arası bir yaklaşıma ihtiyaç duyulması, morbiditeyi azaltmak için önemlidir. Gün geçtikçe, biyolojik silahların eskisinden daha büyük bir başarıyla kullanılması giderek daha olası hale gelmektedir. Bu silahların savaşta veya biyoterörizmde kullanılması bir toplulukta çok fazla strese neden olabileceği açıktır. Biyolojik silahların postalanması gibi daha münferit olaylar için, dünya çapında biyogüvenlik ve nakliye tesislerinde test birimleri bulunmalıdır.

Yaşam bilimlerindeki teknolojik yenilikler ve hızlı ilerlemeler, patojenlerin konakçı ile etkileşime girme yollarına daha iyi anlamamıza ve dolayısıyla tıbbi önlemlerin daha hızlı geliştirilmesini sağlamaktadır. Bu bilimsel ve teknolojik gelişmelerle patojenler zamanında tespit edilebilir. Aynı zamanda, ağ bağlantılı video kameralar ve önemli istihbarat bilgilerini belirlemek için tasarlanmış yazılımlar gibi teknolojik gelişmeler, olası saldırıları önlemek ve terörle mücadele operasyonları için güçlü araçlar haline gelmektedir.

Biyoterörizm ne yeni ne de ortadan kalkması muhtemeldir. Gizli çalışılmasından kaynaklı teknik zorluklar ve kısıtlamalar göz önüne alındığında, başarılı bir biyoterör saldırı olasılığı çok yüksek değildir. Olası bir biyoterör saldırısı birçok hayatı etkileyecektir. Bu nedenle sonuçlarla başa çıkmaya hazır olmak gerekir. Diğer alanların yanı sıra mikrobiyal tanımlama ve tiplendirme, kapsamlı antimikrobiyal terapötikler ve ilaca karşı direncin üstesinden gelmek için halk sağlığını iyileştirmeyi amaçlayan önlemler, hem toplumun bulaşıcı hastalık salgınlarıyla mücadele etme gücünü iyileştirecek hem de biyoterör saldırılarının etkilerini azaltacaktır.

Yirmibirinci yüzyılın en ciddi meydan okuması olarak; yabancı türlerin istilası, biyolojik çeşitlilik insanlar ve çevresel etmenler kabul edilmektedir. Bu nedenle, istilacı yabancı organizmaların ve rebileceği zararın önlenmesi ve kontrolü için bir platform, istilacı yabancı türler için bir veri tabanı ve istilaları önlemek için erken uyarı ve tespit teknolojileri gereklidir. Bu tür stratejiler, biyolojik sistemler içerisinde zararlı organizmaların yayılmasını ve bulaşmasını engelleyecek, istilacı türlerin entegre olmasına sebep olan tarımsal üretimi önleyecek ve biyolojik çeşitlilik ile ekolojik güvenliği sağlayacaktır. Yabancı organizmalara yönelik istila, yayılma ve zararlar başa çıkma yeteneği kapsamlı bir şekilde geliştirilmelidir.

Gelecekte biyolojik etkenlere yönelik savunma çalışmalarının daha kapsamlı olması beklenmektedir. Bunun için birkaç kavram üzerinde durulmaktadır. Bu kavramlar siber biyoterörizm, uluslararası işbirliği ve gelişmiş teknolojiyi içermektedir. Bir siber biyosavaş olarak önerilen kavram, somut bir biyolojik silah veya biyoterör ajanı olmasa bile halk sağlığını etkilemek için dezenformasyon (kasten yanlış bilgi verme) kampanyalarının ve siber teknolojilerin kullanımını özetlemektedir (Bernard ve ark, 2021). Algılanan biyoterörizm tehdidi, özellikle eşzamanlı bir doğal salgın durumunda, gerçek bir biyoterörizm olayının istenen etkisini elde etmek için yeterince büyük bir uyarıcı olabilecektir.

Devam eden COVID-19 pandemisi, bu sınıflandırmanın eylem halinde olmasının bir örneğidir. Pandemiye çevreleyen dezenformasyon saldırısı, sosyal medyaya erişimle daha da artmıştır. COVID-19, SARS-CoV-2'nin dezenformasyon kampanyasının (Bernard ve ark, 2021) halk sağlığı krizlerini arttırma niyetiyle oluşturulduğu düşünülmektedir ve bu strateji oldukça etkili olmuştur (Tagliabue ve ark, 2020). Bunların amacı tipik olarak finansal kazanç ve basitçe kitleleri deneysel amaçlarla manipüle etmektir (The Lancet Infectious Diseases, 2020). Bu motivasyonlar biyoterörizmde çarpıcı biçimde benzerdir. Bunların bir sonucu olarak verilebilecek zarar, yalnızca devam eden pandemi durumunda değil, aynı zamanda aşı karşıtı duyarlılık durumunda da belgelenmiştir (Benecke&DeYoung,2019; Hussain ve ark, 2018). COVID-19 pandemisinde olduğu gibi, dezenformasyon, temel halk sağlığı önlemlerine (ör. maske takma ve fiziksel mesafe), nefret suçlarına veya hedeflenen gruplara yönelik şiddet eylemlerine karşı yaygın bir direnişe de yol açabilmektedir (BBC, 2021).

Corona salgını biyolojik bir saldırı mıydı? SARS-CoV-2 adı verilen yeni bir koronavirüs (COVID-19), daha önce insanlarda tanımlanmamış yeni bir koronavirüs türüdür. Koronavirüsler, hem hayvanlarda hem de insanlarda bulunan geniş bir virüs ailesidir. Bazıları insanları enfekte eder ve soğuk algınlığından daha şiddetli hastalıklara kadar çeşitli hastalıklara neden olduğu bilinmektedir (WHO, 2020). COVID 19'un biyolojik bir saldırı olup olmadığı tartışmaları sürerken, sağlık sistemlerinin biyogüvenlik açıkları hakkındaki tartışmaları yeniden alevlendirmiş ve biyolojik ajanların potansiyel silah haline getirilmesine ışık tutmuştur.

Halk sağlığı ve salgınlara karşı duyarlılığın güçlü yeni itici güçleri, siber biyolojik savaşla mücadele stratejilerinin geliştirilmesinin yanı sıra biyolojik savunma ve salgına hazırlık konusunda devam eden araştırmalara duyulan ihtiyacı da

Bunu akılda tutarak, kullanılan ajan(lar)ın güvenilir ve bilgilendirici bir sınıflandırmasını elde etme yeteneği de dahil olmak üzere, bir

biyolojik ajanın salınımına ve yayılmasına yönelik zamanında ve etkili bir yanıt için plan yapmak esastır. Daha az çalışılmış ve kültürlü daha zor olan biyolojik ajanları karakterize etmek için yapılan araştırmaların yanı sıra, temsili suşların küresel koleksiyonları hakkında tutulan verilere kontrollü erişim, bu çabaya yardımcı olacaktır. Kapsamlı çevresel izleme gibi önleyici ve erken tespit önlemleri de uygulanmalıdır. Adli mikrobiyoloji yeteneklerinin çeşitliliğini vurgulamanın yanı sıra kanun uygulayıcı kurumların, genel halkın ve bilim camiasının beklentilerini yönetmek de önemlidir.

Tüm ülkeler terörizmin temel nedenlerini ele almak için iş birliği yapmalı ve uygun önleyici stratejiler geliştirmelidir. Ülkelerin etkili bir hazırlığa sahip olmaları, zor bir hedef haline gelmelerini engelleyecek ve biyolojik silah kullanma eğilimini azaltacaktır. Bu da biyoterörizm için caydırıcıdır (Russell ve Gronvall, 2012). Dezavantajlı grup olarak çocuklar, yaşlılar, hamile kadınlar (Watson ve ark, 2017) ve immünolojik bozuklukları olan kişilerin ihtiyaçları ayrıca ele alınmalıdır (Croce ve ark, 2017). Biyosavunma için fon sağlanması, biyoterör tehditlere karşı yeterli hazırlık ve müdahale için çok önemlidir (Boddie ve ark, 2015). Güvenlik endişelerinin kapsamı; biyolojik ajanların öldürücülüğü veya bulaşma kolaylığının artmasından, bu konuda önleyici aşı önlemlerinin üstesinden gelebilecek yeni yöntemler geliştirmeye kadar uzanmaktadır (Kosal, 2020).

Sonuç

Biyolojik ajanların terör silahı olarak kullanımı oldukça nadirdir ve tüm tarihi terör saldırılarının %0.02'sini oluşturur. Görünürde nadir olmasına rağmen, biyoterörizm, geleneksel silahlarla karşılaşılamayacak kadar kitlesel yaralanmalara neden olmaktadır.

Tüm bu bilgiler ışığında görülmektedir ki; biyoterörizme karşı, uluslararası düzeyde meydana gelen salgınlara yanıt vermek için ülkelerin bu konuya yönelik altyapılarını güçlendirmeleri gerekir. Sağlık hizmetlerinin her zaman olağandışı hastalıklara karşı dikkatli olması, erken teşhis ve müdahale için gerekli prosedürlerinin olması gerekir. Sağlık hizmetleri, enfekte hastaları izole etmek için daha etkili araçlara ve potansiyel olarak enfekte olmuş kişilerin hareketlerini kontrol etmek için daha iyi yöntemlere ihtiyaç duymaktadır. Kişisel koruyucu ekipman ucuz ve etkili olmalı ve minimum eğitimle ve zorlu ortamlarda kullanılabilir özellikte olmalıdır. Biyoterörizm, düşük riskli, yüksek etkili bir olaya yönelik hazırlıklı olabilmek için sürekli izlenmeli, masa başı tatbikatlarla test edilmeli (Inglesby vd. 2001; O'Toole vd. 2002) ve sağlık sisteminin rutin işleyişine entegre edilmelidir. Bir salgın öncesinde ve sırasında risk iletişimi ve halk eğitimi iyileştirilmelidir. Yeni aşuların ve antiviral ilaçların geliştirilmesi sırasında daha fazla klinik çalışma hızla takip edilmelidir. Ülkelerin ortaya çıkan bulaşıcı hastalıkların salgınlarını kontrol etme zorluklarını karşılamaya hazır olmalarını sağlamak önemlidir. Uluslararası dayanışma ve iş birliği belki de en etkili biyolojik savunma stratejileridir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The author declares that there are no competing interests

Kaynaklar

- Amorim, A. (2010). Introduction to the special issue on forensic genetics: nonhuman DNA (Guest editor: Antonio Amorim), *Open Forensic Sci. J. 3*. [Crossref]
- Arenas, M., Pereira, F., Oliveira, M., vd. (2017). Forensic genetics and genomics: much more than just a human affair, *PLoS Genet. 13*. [Crossref]
- Banada PP, Deshpande S, Chakravorty S, vd. (2016). Sensitive detection of *Francisella tularensis* directly from whole blood by use of the GeneXpert System. *J Clin Microbiol. 55*: 291-301. [Crossref]
- Banada PP, Deshpande S, Russo R, vd. (2017). Rapid detection of *Bacillus anthracis* bloodstream infections by use of a novel assay in the GeneXpert System. *J Clin Microbiol. 55*: 2964-71. [Crossref]
- BBC. COVID "hate crimes" against Asian Americans on rise. (2021). <https://www.bbc.com/news/world-us-canada-56218684>. (Erişim Tarihi: 01.11.2021).
- Benecke O, DeYoung SE. (2019). Anti-vaccine decision-making and measles resurgence in the United States. *Glob Pediatr Health 6*: [Crossref]
- Bernard R, Bowsher G, Sullivan R, vd. (2021). Disinformation and epidemics: anticipating the next phase of biowarfare. *Health Secur 19*: 3-12. [Crossref]
- Bhattacharya S. (2014). Science in court: Disease detectives. *Nature. 506*(7489):424-6. [Crossref]
- Boddie C, Watson M, Ackerman G, vd. (2015). Biosecurity: assessing the bioweapons threat. *Science 349*: 792-93. [Crossref]
- Brenneman KE, Doganay M, Akmal A, vd. (2011). The early humoral immune response to *Bacillus anthracis* toxins in patients infected with cutaneous anthrax. *FEMS Immunol Med Microbiol. 62*: 164-72. [Crossref]
- Budowle, B, Schutzer, SE, Einsele, A, vd. (2003). Building Microbial Forensics as a Response to Bioterrorism, *American Association for the Advancement of Science*. [Crossref]
- Bush LM, Abrams BH, Beall A, vd. (2001). Index case of fatal inhalational anthrax due to bioterrorism in the United States. *N Engl J Med. 345*: 1607-10. [Crossref]
- Carter DO., Junkins, EN, ve Kodama WA. (2017). Forensic Microbiology içinde A primer on microbiology First Edition. Editörler; David O. Carter, Jeffery K. Tomberlin, M. Eric Benbow and Jessica L. Metcalf. John Wiley & Sons Ltd. Published. [Crossref]
- Centres for Diseases Control and Prevention. (2021). Emergency Preparedness and Response: *Bioterrorism Overview*. 2021 <https://emergency.cdc.gov/agent/agentlist-category.asp>. (Erişim Tarihi: 14.09.2021).
- Christopher GW, Cieslak TJ, Pavlin JA, vd. (1997). Biological warfare. A historical perspective. *JAMA. 06*;278(5):412-7. [Crossref]
- Croce E, Hatz C, Jonker EF, vd. (2017). Safety of live vaccinations on immunosuppressive therapy in patients with immune-mediated inflammatory diseases, solid organ transplantation or after bone-marrow transplantation-a systematic review of randomized trials, observational studies and case reports. *Vaccine 35*: 1216-26. [Crossref]
- Çakan, H., Çevik, FE., & Balcıoğlu, HY. (2015). Avian flu virüs: A possible bioterrorism agent? . 7. th European Academy of Forensic Science (EAFS) *Conference Prague, Czech Republic. s.767*. [Crossref]
- Danley, L. 2012. Duties and difficulties of investigating and prosecuting biocrimes, *J. Biosecur. Biosaf. Biodefense Law*. [Crossref]
- Di Pasquale, S, Paniconi, M, Auricchio, B, vd. (2010). Comparison of different concentration methods for the detection of hepatitis A virus and calicivirus from bottled natural mineral waters, *J. Virol. Methods 165*; 57-63. [Crossref]
- Global Terrorism Database (GTD). START.umd.edu (Erişim Tarihi: 28.01.2022).
- González-Candelas, F. (2017). Molecular epidemiology and evolution concepts in microbial forensics, *Handbook of Forensic Genetics: Biodiversity and Heredity in Civil and Criminal Investigation, World Scientific, s. 561-582*. [Crossref]
- Acute Cummicable Disease Control. Public Health. <http://publichealth.lacounty.gov/acd/BioAgents.htm> (Erişim Tarihi: 01.09.2021).

- Hussain A, Ali S, Ahmed M, Hussain S. (2018). The anti-vaccination movement: a regression in modern medicine. *Cureus* 10: e2919-e. [\[Crossref\]](#)
- Inglesby TV, Grossman R, O'Toole T. (2001). A plague on your city: observations from TOPOFF. *Clin Infect Dis* 32: 436-45. [\[Crossref\]](#)
- Jansen, HJ, Breeveld, FJ, Stijns, C., vd. (2014). Biological warfare, bioterrorism, and biocrime. *Clin. Microbiol. Infect.* (20); 488-496. [\[Crossref\]](#)
- Kelley, Nicholas S., and Michael T. Osterholm. (2015). 'Bioterrorism', in Roger Detels, and others (eds), Oxford Textbook of Global Public Health, 6 edn, Oxford Textbook. [\[Crossref\]](#)
- Khardori, N. Kanchanapoom, T. (2005). Overview of biological terrorism: potential agents and preparedness. *Clin. Microbiol. Newsl.* (27); 1-8. [\[Crossref\]](#)
- Klietmann WF, Ruoff KL. (2001). Bioterrorism: implications for the clinical microbiologist. *Clin Microbiol Rev* 14(2):364-81. [\[Crossref\]](#)
- Knutsson, R, Van Rotterdam, B, Fach, P, vd. (2011). Accidental and deliberate microbiological contamination in the feed and food chains-how biotraceability may improve the response to bioterrorism. *Int. J. Food Microbiol.* (145); S123-S128. [\[Crossref\]](#)
- Kosal, ME. 2020. Emerging life sciences and possible threats to international security. *Orbis*, 64 (4) s. 599 [\[Crossref\]](#)
- Lane HC, Fuci AS. Microbial Bioterrorism. In: Kasper DL, Braunwald E, editors. *Harrison's Principle of Internal Medicine*, 16th ed. New York, McGraw Hill 2005; 1279-88.
- Lehman, DC. 2014. Forensic microbiology. *Clin. Microbiol. Newsl.* (36); 49-54. [\[Crossref\]](#)
- Lipkin WI. (2013). The changing face of pathogen discovery and surveillance. *Nat Rev Microbiol.* 11: 133-41. [\[Crossref\]](#)
- Minshull J, Wagner R. (2009). Preventing the misuse of gene synthesis. *Nat Biotechnol.* 27:800-801. [\[Crossref\]](#)
- Murch, RS. (2003). Microbial forensics: building a national capacity to investigate bioterrorism. *Biosecur. Bioterror.* 1; 117-122. [\[Crossref\]](#)
- O'Toole T, Mair M, Inglesby TV. (2002). Shining light on "Dark Winter". *Clin Infect Dis* 34: 972-83. [\[Crossref\]](#)
- Oliveira, M, Arenas, M, António, A. (2018). New trends in microbial epidemiology: can an old dog learn new tricks? *Ann. Microbiol. Immunol.* 1; 1-7.
- Pappas G, Panagopoulou P, Akritidis N. (2009). Reclassifying bioterrorism risk: are we preparing for the proper pathogens? *J Infect Public Health* 2: 55-61. [\[Crossref\]](#)
- Pavlin, JA. (1999). Epidemiology of bioterrorism. *Emerg. Infect. Dis.* (5); 528. [\[Crossref\]](#)
- Pennisi E. (2016). Genomics. Pocket DNA sequencers make real-time diagnostics a reality. *Science.* 351: 800-01. [\[Crossref\]](#)
- Quinn CP, Semenova VA, Elie CM, vd. (2002). Specific, sensitive, and quantitative enzyme-linked immunosorbent assay for human immunoglobulin G antibodies to anthrax toxin protective antigen. *Emerg Infect Dis.* 8: 1103-10. [\[Crossref\]](#)
- Radosavljevic V, Belojevic G. (2009). A new model of bioterrorism risk assessment. *Biosecur Bioterror.* 7: 443-51. [\[Crossref\]](#)
- Raoult D. (2017). The risk of bioterrorism re-analysed. *Clin Microbiol Infect.* 23: 351. [\[Crossref\]](#)
- Riedel S. Biological warfare and bioterrorism: a historical review. *Proc (Bayl Univ Med Cent)* (2004) Oct;17(4):400-6. [\[Crossref\]](#)
- Russell PK, Gronvall GKUS. (2012). U.S. medical countermeasure development since 2001: a long way yet to go. *Biosecur Bioterror* 10: 66-76. [\[Crossref\]](#)
- Satterly NG, Voorhees MA, Ames AD, Schoepp RJ. (2016). Comparison of MagPix assays and enzyme-linked immunosorbent assay for detection of hemorrhagic fever viruses. *J Clin Microbiol.* 55: 68-78. [\[Crossref\]](#)
- Schoch-Spana M, Cicero A, Adalja A, vd. (2017). Global catastrophic risks: toward a working definition. *Health Secur.* 15: 323-28. [\[Crossref\]](#)
- Schutzer, SE, Budowle, B, Atlas, RM. 2005. Biocrimes, microbial forensics, and the physician. *PLoS Med.* (2);e337. [\[Crossref\]](#)
- Sjodin A, Broman T, Melefors O, vd. (2013). The need for high quality whole-genome sequence databases in microbial forensics. *Biosecur Bioterror.* 11 Suppl 1:S78-86. [\[Crossref\]](#)
- Stern D, Olson VA, Smith SK, vd. (2016). Rapid and sensitive point-of-care detection of orthopoxviruses by ABICAP immunofiltration. *Viral J.* 13: 207. [\[Crossref\]](#)
- Tagliabue F, Galassi L, Mariani P. (2020). The "pandemic" of disinformation in COVID-19. *SN Compr Clin Med* 2: 1287-89. [\[Crossref\]](#)
- The Lancet Infectious Diseases. (2020). The COVID-19 infodemic. *Lancet Infect Dis* 20: 875. [\[Crossref\]](#)
- Venkatesh S, Memish ZA. (2013). Bioterrorism--a new challenge for public health. *Int J Antimicrob Agents.* Feb;21(2):200-6. [\[Crossref\]](#)
- Watson AK, Ellington S, Nelson C, vd. (2017). Preparing for biological threats: addressing the needs of pregnant women. *Birth Defects Res* 109: 391-98. [\[Crossref\]](#)
- Watson CR, Watson MC, Ackerman G, Gronvall GK. (2017). Expert views on biological threat characterization for the U.S. Government: a Delphi study. *Risk Anal.* 37: 2389-404. [\[Crossref\]](#)
- Williams M, Armstrong L, Sizemore DC. (2023). Biologic, Chemical, and Radiation Terrorism Review. [Updated 2023 Aug 14]. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024 Jan [\[Crossref\]](#)
- WHO (2020). Description of Coronavirus. <https://www.who.int/news-room/q-a-detail/q-a-coronaviruses> (Erişim tarihi 16.01.2022).

BÖLÜM 3

ADLI MİKROBİYOTA

Seda SALMAN YILMAZ

Adli Mikrobiyotaya

Forensic Microbiota

BÖLÜM HAKKINDA

İnsan vücudundaki mikrobiyotayı oluşturan mikroorganizmalar, adli bilimlerde suç soruşturmasında biyolojik izlerin ve temas eden diğer deliller üzerine odaklanır. Suç mahallinde bulunan herhangi bir materyaldeki mikrobiyom analizi, suçluların tespiti ve suçun nasıl işlendiğine dair bilgi sağlayabilirken kimliklendirme çalışmalarında, cesetlerin çürüme sürecinde, ölümün gerçekleşme zamanını belirlemede mikroorganizmaların özellikleri ve aktivitesi hakkında önemli ipuçları verebilmektedir. Özellikle adli mikrobiyotaya alanında yaşanan son dönemdeki gelişmeler, olayları daha iyi anlama ve çözme yeteneği ile adli bilimlerin vazgeçilmez bir parçası ve araştırma alanı olarak kabul edilmektedir.

Anahtar kelimeler: Adli mikrobiyoloji, mikrobiyotaya, mikrobiyom, kimliklendirme

ABOUT the CHAPTER

Microorganisms that constitute the microbiota, in the human body, focus on the biological traces and other evidence in contact with criminal investigations in forensic sciences. While microbiome analysis in each material found at the crime scene provides information about identifying criminals and how the crime was committed, identity analysis can provide important clues about the disintegration process of corpses, and the properties and activity of microorganisms in determining the time of death. Especially the recent developments in the field of forensic microbiota are accepted as an indispensable part and research field of forensic sciences with the ability to better understand and solve events.

Keywords: Forensic microbiology, microbiota, microbiome, identification

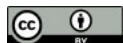
Giriş

Adli bilimlerde soruşturma aşamasında olay yeri incelemesinde elde edilen delillerin değerlendirilmesi oldukça önemlidir. Adli bilimlerin farklı dalları ile iç içe olması olaylardaki delillerin değerlendirmesinde farklı teknikler ve bilim alanları katkı sağlamaktadır.

Adli bilimler içerisinde yer alan adli mikrobiyoloji bilim dalı da bazı vakalarda olay yerinin öncelikle kullanılan delilleri arasında parmak izi ve DNA örneği önceliklidir. Ancak bazı durumlarda, özellikle DNA'nın yeterli olmadığı durumlarda, mikroorganizmaların farklı bir alanda kullanımı olayın aydınlatılmasına ve suçlunun belirlenmesine olanak sağlayabilmektedir (Maltoni, 2003; Saferstein, 1998). Kişinin mikrobiyotasının da DNA gibi karakteristik özellikler taşıdığı bilinmekle beraber, son zamanlarda yapılan çalışmalar ile bir kişinin vücudunun farklı bölgelerinin bile farklı mikrobiyotalara sahip olduğu gösterilmiştir. Böylece, delillerin bozulması halinde bile, çevresel yüzeylere bulaşan mikrobiyotaya örneklerinin incelenmesi sonucunda: coğrafi konum bilgisi, kimliklendirme, postmortem zaman aralığı, örnek türü, ölüm şekli ve sebebi özellikle kültüre edilemeyen mikroorganizmaların belirlenmesi gibi daha ayırıcı bilgiler belirlenebilmektedir (Gupta, 2017; Carolyn, 2018). Bu bölümde, insan mikrobiyotası ve adli bilimlerde mikrobiyotanın önemi ve ve adli bilimlerde mikrobiyotanın uygulama alanlarından bahsedilecektir.

İnsan Mikrobiyotası

Mikrobiyotaya, bir topluluk içerisinde bulunan tüm mikroorganizmalar olarak tanımlanırken, tüm mikroorganizmaların genomu olarak bilinen mikrobiyom terimi ilk defa 2001 yılında moleküler biyolog Joshua Lederberg tarafından tanımlanmıştır. Mikrobiyom çalışmaları, içinde İnsan Mikrobiyom Projesi ile hız kazanmıştır. İnsan Mikrobiyom Projesi insan vücudundaki mikroorganizmaların genetik yapılarının tanımlanması, bu mikroorganizmaların sağlık üzerindeki etkileri, kişiler arası farklılıkların tespit edilmesi ve belirlenen farklılıklarla hastalıkların ilişkisinin araştırılması amaçlanmıştır. Projede,



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.



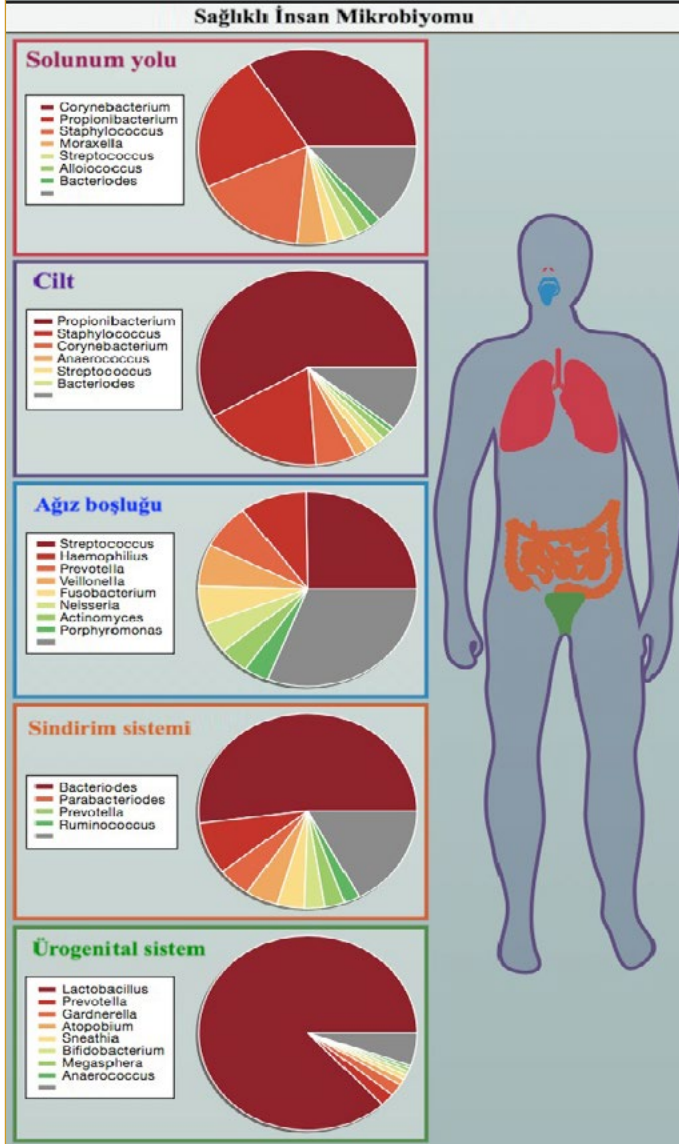
Seda Salman Yılmaz

Istanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa,
Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Tıbbi Mikrobiyotaya, G.
Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye
E-posta: seda.salmanyilmaz@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıyla / Cite this chapter as:
Salman Yılmaz, S. [2024]. Adli Mikrobiyotaya. G. Filoğlu & Ö. Bülbül (Ed). *Adli biyoloji: Doğanın izleriyle adaletin peşinde 1* içinde (s. 88-94). İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.

Şekil 1

Sağlıklı insana ait en sık gözlenen mikrobiyom haritası



Açıklama notu. González, A., Vázquez-Baeza, Y., Knight, R., 2014, Snap Shot: The Human Microbiome. Cell. 31;158(3):690-690 kaynağından uyarlanmıştır.

300 gönüllüden farklı zamanlarda, vücutlarının 5 farklı bölgeden alınan 11.700 örnek çalışılmıştır. Projede gerçekleştirilen çalışmada, insan vücudundaki 10 bine yakın bakteri ve 3.000'den fazla virüs tespit edilmiş ve vücuttaki farklı bölgelerin özelliklerine göre bakteri kolonizasyonu ve yoğunluğunun da değişiklik gösterdiği belirlenmiştir. (Breeze vd., 2011; Savage, 1977; Turnbaugh vd., 2007; Aagaard vd., 2013; Salman Yılmaz, 2019) (Şekil 1).

İnsan mikrobiyotasının büyük bir bölümünü, sindirim sistemi oluştururken; deri, genitouriner sistemi ve solunum sistemi de yoğun mikroorganizma kolonizasyon gösteren diğer bölgeler arasındadır. Sindirim sistemi, oldukça geniş yüzey alanına sahip olup mikroorganizmalar için oldukça zengin besin maddesi içerirken, tek başına vücudumuzdaki mikroorganizmaların %70'inden fazlasını oluşturur. İnsanlarda sindirim sistemi mikrobiyotası (intestinal mikrobiyotaya), doğumdan sonra biçimlenmeye başlarken,

özellikle doğum şekli, beslenme ve çevresel koşullar gibi mikrobiyotanın şekillenmesine birçok faktör etki eder. Yaşam boyunca intestinal mikrobiyotaya popülasyonundaki değişimlerin; diyabet, alerjik hastalıklar, otizm spektrum bozukluğu, obezite, gastrik kanserler, kan basıncı bozuklukları ve otoimmün hastalıklar gibi birçok hastalıkla etkili ve ilişkili olduğu gösterilmiştir (Blumberg & Powrie, 2012).

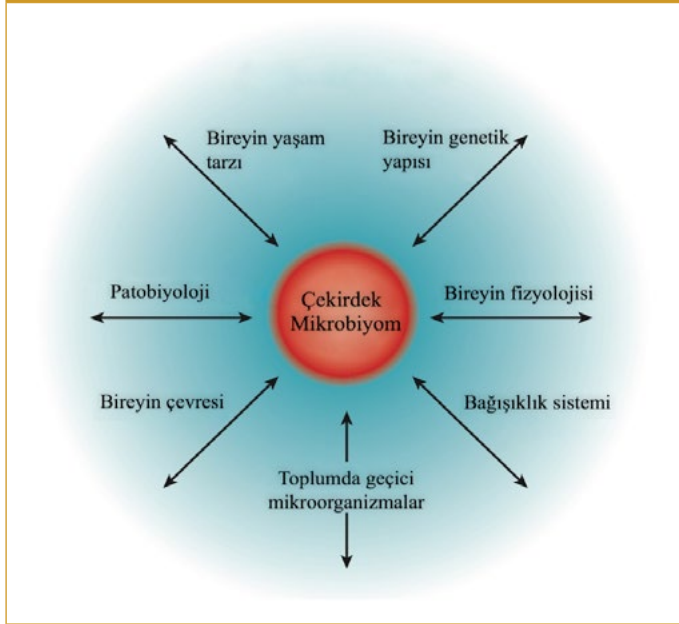
Vücudun özellikli mikrobiyotaya bölgeleri; ağız boşluğu, solunum yolu, deri, kolon ve ürogenital bölge olarak tanımlanmıştır. İnsan vücudu, yaklaşık 10^{30} hücreden oluşurken, hücre sayısının 10 katı kadar da mikroorganizma barındırmaktadır. İnsan mikrobiyomunda bulunan 3.3 milyon genin yaklaşık % 99'unu bakteriyel mikroorganizmalar oluştururken, (Lloyd-Price vd., 2019; Jawetz vd., 2007) insan mikrobiyomundaki bakteriler farklı anatomik bölgelere heterojen bir şekilde dağılmıştır. Örneğin; kolon 1014, dış plağı 1012, tükürük 1011, deri 1011 ve mide 107 gibi farklı miktarlarda bakterilere sahip olsa da zaman ve şartlara göre mikrobiyotaya topluluğunda değişebilen veya bulunduğu bölgeye özgü özellik gösteren mikroorganizma popülasyonları bulunur. İnsan mikrobiyotası bulunduğu bölgeye kolonize olma şekillerine göre geçici ve kalıcı olarak iki şekilde bulunur (Oliveira & Amorim, 2018).

Geçici mikrobiyotaya; vücudun belirli bölgelerinde ölçülebilecek sürelerde (gün, hafta, ay, yıl) bulunan, sonrasında silinen veya yerini başka mikroorganizmalara bırakan ve vücudun farklı bölgelerine yerleşen mikroorganizmaların oluşturduğu mikrobiyotaya olarak tanımlanır. Geçici mikrobiyotalar, insan vücuduna girerek hastalığa neden olan mikroorganizmalardır. İnsan vücuduna doğal yollarla girebildikleri gibi derideki yaralanmalarla da girebilmektedir. Kalıcı flora bozulduğu takdirde geçici flora kolonizasyon yapıp üreyerek sonunda hastalık oluşturabilirler. Floraya yerleşebilen gram pozitif; *Streptococcus pyogenes*, *Streptococcus pneumoniae*, *Staphylococcus aureus*; ve gram negatif *Neisseria meningitidis*, *Haemophilus influenzae* gibi mikroorganizmalar patojen türler arasında yer almaktadır. Kistik fibrozis veya astım gibi kronik akciğer hastalıklarında mikrobiyotaya değişmiş olduğundan kişi enfeksiyonlara karşı dirençsiz hale gelebilirken, plevrası hasar gören kişinin, lümeninden steril alana geçiş yolu bulan mikroorganizmalar ciddi enfeksiyon hastalıklarına yol açabilirler. Bu sebeple sadece akciğer mikrobiyotası olmamakla birlikte, simbiyont ve patobiyontların belirli oranlarda bulunması önem taşır. (Breeze vd., 2011; Nord & Heimdahl, 1990; Bozaslan, 2016).

Kalıcı mikrobiyotaya; konakçı ile arasında kendi yaşam düzenini kuran, özellikle belirli bölgelerde ve belirli şartlar altında düzenli olarak yaşayabilen ve koşullar değiştiğinde sayıları azalsa da tekrar oluşabilen mikrobiyotadır. Kalıcı mikrobiyotadaki organizmalar, savunma gücünün varlığı devam ettiği sürece enfeksiyon oluşturmazlar. Solunum yolu düzenli olarak mikroiplarla temas eden bir organdır. Örneğin, akciğere kadar ulaşan patojen mikroorganizmalar goblet hücreleri tarafından üretilen mukusa yakalanır. Silli epitel hücreler tarafından süpürülür ve balgama çevrilip yutulur veya refleksle balgam akciğerden uzaklaştırılır. Bronşların her santimetre karesinde 2000 mikrobiyal genom saptanırken, üst ve alt solunum yolu; *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Acinetobacte*, *Pseudomonas* ve *Fusobacterium* dahil çoklu cinsleri bulunduran kalıcı bir mikrobiyotaya sahiptir. (Breeze vd., 2011; Nord & Heimdahl, 1990; Bozaslan, 2016).

Şekil 2

İnsan çekirdek mikrobiyomun özgünlüğünü belirleyen faktörler



Açıklama notu. Turnbaugh, P.J., Ley, R.E., Hamady, M., 2007, The Human Microbiome Project. Nature. Vol. 449, 804-810 kaynağından uyarlanmıştır.

İnsan cildindeki kalıcı mikrobiyota çok sayıda ve farklı mikroorganizmalar bulundururken, özellikle deri yüzeyinde, gland ve porlarda kolonize olmuştur. Kalıcı mikrobiyotadaki bu mikroorganizmaların birçoğu konakla birlikte deride kommensal yaşam sürdürmektedir. Vücutumuzdaki total mikroorganizma sayısı insan vücudundaki hücre sayısından 10 kat daha fazla bulunurken, deride her cm²'de yaklaşık 10⁶ bakteri bulunmaktadır. İnsan cildindeki bölgesel farklılıklar (cinsiyet, yaş, sıcaklık, nem, pH, yağ, vb.) ve değişken çevresel faktörler kolonize olan mikroorganizmalarda bölgelere göre farklılık göstermekle birlikte, kişiye özgü de farklılık göstermesine sebep olmaktadır (Turnbaugh vd., 2007; Rosenthal vd., 2011; Waldor vd., 2015). İnsan vücudunda sebaceous gland çevresinde ve aksiller bölgede *S.epidermidis*, aerob difteroidlerden kıvrım yerlerinde *Propionibacterium acnes*, yüz ve göğüs bölgesinde *Corynebacterium minutissimum*, omuzlarda ise *Malassezia furfur* kalıcı deri mikrobiyotaya örnek olarak verilebilir. En önemli özelliği bozulabilen normal florayı yeniden oluşturabilmek olan kalıcı flora, sık el yıkama ve antiseptik maddelerin kullanımında dahi tamamen uzaklaştırılmadığı, kalıcı flora azalsa da hızla yeniden tamamlanabildiği gösterilmiştir (Gao vd., 2010; Ubeda & Pamer, 2012; Rebollar vd., 2016; Salman vd., 2019).

Kalıcı mikrobiyota, farklı koşullar sebebiyle yerini başka geçici olarak farklı mikroorganizmalara bıraksa da içerisinde 'çekirdek mikrobiyom' olarak tanımlanan mikroorganizmalar bulunmaktadır. İnsan çekirdek mikrobiyomu; bireyin çevresi, genetik yapısı, yaşam tarzı fizyolojisi, patobiyolojisi, bağışıklık sistemi ile özgünlük kazanır.

Son dönemde hızla gelişen genetik yöntemler ve kapsamlı metagenomik çalışmalar; deri mikrobiyotasında bulunan mikroorganizmaların geniş profilini belirlemeye olanak sağlamıştır. Yapılan farklı çalışmalarda, sağlıklı kişide veya hastalıkta patojen bulunan (*S. epidermidis*, *S. aureus*, ve *Propionibacterium acnes* gibi bakterilerin) mikroorganizmaların aralarındaki dinamiklerin

Şekil 3

Adli bilimlerde başlıca mikrobiyota kullanım alanları



Açıklama notu. Robinson, J.M., Pasternak, Z., Mason, C.E., vd., 2021, Forensic Applications of Microbiomics: A Review. Frontiers in Microbiology. 11:608101 kaynağından uyarlanmıştır.

açıklanmasına katkı sağlamıştır (Mathieu vd., 2013; Edmonds-Wilson vd., 2015). Yapılan bir çalışmada, kişilerin mesleki yaşantıları dikkate alınarak değerlendirilen el mikrobiyota örneklerinin farklılık gösterdiği ve farklı çevresel faktörlere rağmen çekirdek el mikrobiyotalarını koruduğu gösterilmiştir. Aynı çalışmada, el mikrobiyotasında bulunan *S. epidermidis* türü moleküler tiplendirme sonuçlarına göre *S. epidermidis*'in kişiler arası farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bu durumda kalıcı mikrobiyotanın kolonizasyonu değişse de çekirdek mikrobiyomun tespit edildiği ve kişiler arası özgünlüğü gösterilmiştir (Salman Yılmaz, 2019) (Şekil 2).

Her anatomik bölge belirli bir taksonomik özellik gösterir. Aslında benzer işleve sahip olsa da bireyler arası mikrobiyota özellikleri farklılık göstermektedir. Örneğin iki kişinin ağız içi sindirimi aynı yolla gerçekleşmesine rağmen, ağız içi mikrobiyotası birbirinden tamamen farklıdır. Mikrobiyotaki bu farklılıklar; yaş, beslenme ve ilaç kullanımı gibi çeşitli faktörlerden kaynaklanır (Garcia, 2020; Oliveira & Amorim, 2018). Buna rağmen bireysel mikrobiyom stabilitesi ve farklılığı korunur. Leake'in (2016) çalışmasında, ikizlerde bir yıl ara ile belirli günlerde (1. ve 28. günler) tükürük örnekleri alınmıştır. Çalışmaya katılan kişilerin tükürük mikrobiyotalarında bulunan bakterilerin profil özelliklerini arttıracak iki farklı bölge (rpoB ve 16S rRNA) değerlendirilmiştir. Bu çalışmanın sonuçlarına göre; *Fusobacteria*, *Firmicutes*, *Bacteroidetes*, *Actinobacteria* ve *Proteobacteria* olarak beş genel grup bakteri tanımlanmıştır. Farklı zaman dilimlerinde alınan örnekler çalışmaya dahil edilmiş ve mikrobiyota örneklerinde bakterilerin kişiye özgü özellikler gösterdiği tespit edilmiştir. Bu çalışmadan elde edilen sonuçlara göre, ikizlerin tükürük örneklerinden elde edilen bakteriyel mikrobiyota profili ile kişileri ayırt etmenin mümkün olduğu gösterilmiştir (Leake, 2016).

Adli Bilimlerde Mikrobiyotanın Önemi

Adli bilimlerde delil, olayları aydınlatmayı sağlayacak en önemli unsurlardan biridir. Delillerin toplanması, kontaminasyon olmayacak şekilde uygun paketlenmesi, saklanması ve delil teslim zincirine uygun olarak laboratuvara gönderilmesi gerekir. Ancak, bu süreçler için standardize edilmiş ve optimizasyonu sağlanmış protokoller uygulandığı takdirde daha başarılı ve doğru sonuçlar

elde edilebilir. Örneğin, delil teslim zincirinde aksama olduğunda, mikrobiyomların kontaminasyonu veya bozulması mümkündür. Bu durumda güvenilir sonuçlar alınmayabilir. Laboratuvar çalışmaları sonunda elde edilen mikrobiyota profilleri, kişilerin kimliklendirilmesinde, nerelerde bulduklarının belirlenmesinde ya da kimlerle temas ettiğinin tahmini gibi farklı konularda bilgiler verebilir (Şekil 3). Bu bilgiler, olay ile ilgili kişilerin dışlanmasında veya olaya dahil olmalarının değerlendirilmesinde kullanılabilir (Budowle, 2005). Adli bilimlerde delillerden alınan mikrobiyota örnekleri moleküler tekniklerle incelenerek soruşturmaya yön verilebilir (Bkz. Bölüm 3.4).

Adli Bilimlerde Mikrobiyotanın Uygulama Alanları

Coğrafi Konumunun Belirlenmesi

Ölümün gerçekleştiği coğrafi konumunun belirlenmesinde veya cesedin farklı yere taşınmasında insan mikrobiyomu ile kişisel eşyalar arasında bazı bakteri gruplarının öne çıktığı tespit edilmiştir. Mikrobiyal topluluğun yapısının farklı özellikleri (toprak tipi, mevsimsel değişiklik, bitki örtüsü ve çevresel koşullar, bakteri ve mantar toplulukları) makro özellikleri incelenirken, mikrobiyal örneklerle ayırım gücü yüksek sonuçlar elde edilmiştir. Habtom'ın yaptığı çalışmada, 25–1.000 m mesafe aralığında topraktan alınan mikrobiyal örnekler (n = 5 saha, n = 2–4 toprak türü) sonuçlarına göre, mesafe farkı ne kadar büyükse örnekler arasındaki farklılığın o kadar büyük olduğu görülmüştür (Habtom vd., 2019). Macdonald ve Jesmok'ın toprak bakteri profillerini (n=19) belirleme üzerine yaptıkları çalışmada; toprak örneklerinin %95,4'nü konumlarına göre doğru bir şekilde eşleştirme yapmışlardır (Macdonald vd., 2011; Jesmok vd., 2016). Bu çalışmanın sonuçları mağdurda bulunan mikrobiyomlar ile olası şüphelilerde bulunan mikrobiyom kalıntılarının arasındaki ilişkiyi açıklamakta kullanılabilirliğini göstermiştir. Moleküler mikrobiyom analizleri ve daha fazla örneklem sayısı ile toprak mikrobiyom örneklerinin adli bilimlerde faydalı olabileceğini göstermiştir.

Kimliklendirme

Yapılan son çalışmalar, kimliklendirmenin özellikle geleneksel yöntemlerle sonuçlandırılmadığı durumlarda kişisel mikrobiyotanın destekleyici olduğu gösterilmiştir. Kimliklendirme amacıyla insan mikrobiyomunda özellikle deri mikrobiyotası ön plana çıkmıştır. Yüzele aktarılan mikrobiyota, parmak izlerine benzer şekilde kişisel olması nedeniyle adli tanımlamada *'mikrobiyal parmak izi'* olarak tanımlanmaktadır (Zapka vd., 2017; Wilkins vd., 2017). Bir sürüntü çubuğunun 1 cm²lik yüzeyinde bulunan yaklaşık 10.000 mikrobiyal hücre, temas ettiği yüzeye kolaylıkla aktarılabilir ve yüzeye aktarılan bu bakteriler sıcaklık, nem ve UV gibi olumsuz çevresel faktörlere karşı dirençli olduğu gösterilmiştir. El üzerinde bulunan bölgesel mikrobiyotanın dokunulan yüzeye kolaylıkla aktarıldığı bilinmektedir. Mikroorganizmaların bilgisayar klavyesi, cep telefonları ve ev içi dokunulan herhangi bir yüzeye bırakılan mikrobiyota örneklerinden yapılan çalışmalarda bireylerin birbirinden ayrılarak tanımlanabileceği gösterilmiştir (Fierer, vd., 2010; Wood, vd., 2015; Lax, 2014; Wilkins, vd., 2016). Fierer'in yaptığı bir çalışmada; en fazla 12 saat kullanılan 9 bilgisayar klavyesi ve fareden alınan örnekler, iki hafta süre ile dokunulmayan kişisel bilgisayar klavyeleri, fareleri ve anahtarlarından örnekler ile kişilerin avuç içi floraları karşılaştırılmış. Kişiye ait eşyalardan

alınan mikrobiyota örnekleri ile avuç içinden alınan mikrobiyota örneklerinin benzer olduğu gösterilmiştir. Bu çalışma, deri ile ilişkili mikroorganizma topluluklarının yüzeye bırakılan mikroorganizma örnekleri ile dikkat çekici derecede benzer olduğunu ve bireysel farklılıklarını ortaya koymuştur (Fierer, 2010). Başka bir çalışmada, el yıkama sayısı ile bölgesel mikrobiyotadaki çeşitliliğin azalmasının korele olmadığı belirtilirken (Edmonds-Wilson, vd., 2015), farklı çalışmalarda sık aralıklarla, en az 40 defa sabun kullanarak el yıkanması veya el antiseptiği kullanımında, el mikrobiyotasının tür çeşitliliği azalsa da çekirdek mikrobiyotada değişiklik olmadığı veya değişikliğin kısa süre olduğu tespit edilmiştir. Değişen çevresel faktörlere rağmen çekirdek el mikrobiyota örneklerinde karakterin değişmediği ve kişisel eşyaların da bu karakteristik izleri taşıdığı gösterilmiştir. Çalışmalarda farklı meslek grupları, değişken el yıkama sayısı, yaş, cinsiyet, ilaç kullanımını özellikleri dikkate alınarak el mikrobiyota örnekleri toplanmıştır. Kişilerin kişisel eşyalarından ve farklı zamanlarda alınan el mikrobiyota örneklerinde çekirdek mikrobiyotalarını koruyarak yüzeylere aktarıldığı tespit edilmiştir (Salman Yılmaz, 2019).

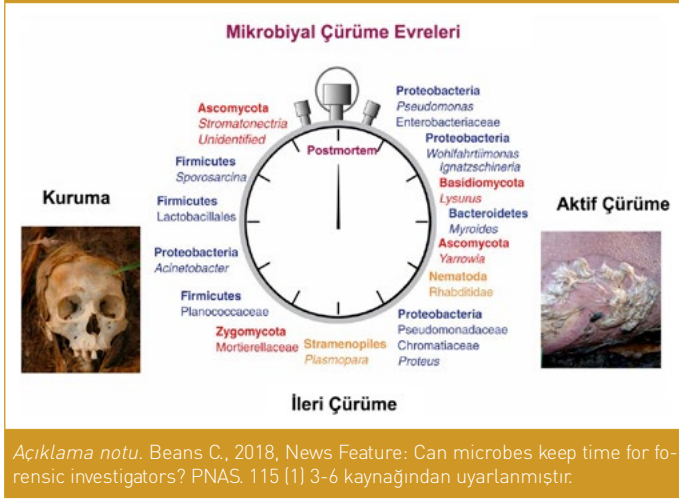
Schommer'in yaptığı bir çalışmada, deri mikrobiyotasından alınan örneklerde mikroorganizmaların 16S rRNA gen bölgesi çalışılmış ve filogenetik analizler sonucu topografik özelliğinde en az 19 sınıfa ait mikrobiyom tespit edilmiştir. Çalışmada, *Actinobacteria* (% 51,8), *Firmicutes* (% 24,4), *Proteobacteria* (% 16,5) ve *Bacteroidetes* (% 6,3) grupları ön plana çıkmıştır. Tanımlanan cinslerin arasında özellikle *Staphylococcus*, *Corynebacterium* ve *Propionibacterium* bulunurken, her birinin yoğunluğu türün özelliklerine bağlı olduğu görülmüştür. *Propionibacterium* ve *Staphylococcus* türleri yüzün özellikle yağlı bölgelerinde baskınken, *Staphylococcus* türlerinin yanı sıra *Corynebacterium* türlerinin özellikle aksilla gibi daha nemli bölgelerde baskın olduğu tespit edilmiştir (Schommer & Gallo, 2013). Mikrobiyom çalışmalarının en önemli özellikleri arasında metagenomik veri analizi ile kültürde tespit edilemeyen mikroorganizmaların belirlenmesi ve kantitatif veri elde etmektir. Ayrıca, metagenomik çalışmalar *Staphylococcus*, *Corynebacterium* ve *Propionibacterium* türleri gibi deri mikrobiyotasında yoğun bulunan mikroorganizmaların birbiri ile etkileşimlerini tespit etme ve benzersiz özelliklerden yararlanmaya olanak sağlamaktadır (Schmedes, vd., 2017).

Postmortem Zaman Aralığı

Postmortem mikrobiyom, kanda ve iç organlarda bulunan mikroorganizmalarla, çürüyen yüzeyde yaşayan veya hareket eden mikroorganizmalardan oluşur. Cansız bedende çürüme arttıkça, mikrobiyal toplulukların çeşitliliği de değişir. Ölümden önce bilinen mikrobiyomun, ölüm sonrasında değişen mikrobiyom ile karşılaştırılması ile ölüm zamanının tespiti yapılabilmektedir. Ölüm zamanının belirlenmesi (Postmortem Interval, PMI) cezai soruşturmalarda, özellikle de olay yerinde hiçbir tanığın bulunmadığı şüpheli ölüm vakalarında çok önemlidir. PMI hakkında tüm verilerin (vücut soğuması, rigor mortis, yara yaşı tahmini, mide içeriği) mikrobiyomdaki değişikliklerle birlikte değerlendirilmesi ve böylece daha doğru sonuca varılmasına olanak sağlamaktadır. Ölüm sonrası ayrışma aşamalarında mikrobiyal çeşitliliğin birkaç cinsin ön plana çıkmasıyla azaldığı bilinmektedir. Özellikle aerobik sınıftan anaerobik bakteri topluluğuna geçiş dikkat çekicidir (DeBruyn JM, vd., 2017). Ölüm zamanının belirlenmesi ve çürüme sürecinde mikroorganizmalar etkin görev almaktadır. Mikrobiyom

Şekil 4

Mikrobiyal çürüme evrelerinde öne çıkan mikroorganizmalar



Açıklama notu. Beans C., 2018, News Feature: Can microbes keep time for forensic investigators? PNAS. 115 (1) 3-6 kaynağından uyarlanmıştır.

çalışmalarında filogenetik verilerin elde edilmesi (16S rRNA, 18S rRNA—ITS) PMI sırasında mikrobiyal topluluklardaki farklılıklar "mikrobiyal saat" olarak kullanılabilir (Metcalfe 2019; Metcalfe, vd. 2013) (Şekil 4).

Örnek Türünün Belirlenmesi

Olay yerinde en sık bulunan vücut sıvıları kan, meni ve tükürüktür. Ancak başka sıvılar da (vajinal sıvı, idrar, ter, saç ve kıllar) mevcut olabilir. Her vücut sıvısı tipinin, biyoindeksör olarak kullanılabilir. Her spesifik bir mikrobiyotaya ile belirlenmesi mümkündür. Örneğin, tükürük, *Veillonella atypica*, *Streptococcus mutans* ve *Streptococcus salivarius* gibi spesifik bakterilerin saptanmasıyla tanımlanabilirken; vajinal sıvı ise *Lactobacillus crispatus* ve *Lactobacillus gasseri* gibi spesifik bakterilerin saptanmasıyla tanımlanabilir. İnsan mikrobiyotaları karşılaştırılarak alt tiplerinin belirlenmesi ile şüphelilerin belirlenmesine veya failler ve mağdurlar arasında ilişki kurulmasına olanak sağlayabilir (Oliveira & Amorim, 2018).

Olay yerinde toplanan delillerde, insan kafasında ve kasıkta bulunan kılların mikrobiyomu karşılaştırılmıştır. Karşılaştırmada sadece kişinin belirlenmesinde değil, iki örnek arasında da kılın ait olduğu bölgenin ayrımının yapılabildiği gösterilmiştir (Tridico vd., 2014; Tridico vd., 2017). Schmedes'in mikrobiyom çalışmasında 30 ay süresince 12 sağlıklı insandan farklı zamanlarda 3 kez alınan örneklerde 187 farklı mikroorganizma değerlendirmeye alınmıştır. Uzun zaman aralığında değişikliklerin izlenmesi amaçlanan çalışmada, mikrobiyotaya profilindeki değişiklikler ve farklı bölgelerin kişiye özgü karakteristik özellikleri dikkat çekici olmuştur (Schmedes, 2018).

Ölüm Sebebi ve Ölüm Şeklinin Belirlenmesi

Boğulma ve suda boğulma vakaları adli bilimlerde sıkça görülen olgulardır. Bu olguların aydınlatılmasında, kişilerden alınan kan veya iç organlardaki diatomların varlığı altın standart olarak kabul edilmiştir. Su örneklerinin kendine özgü mikrobiyomundan yararlanarak, kişinin ölümden önce daldırma (canlı giriş) ve ölüm sonrası arasında ayırım yapılabilmektedir.

Yenidoğan sonrası bebek ölümlerinin önde gelen nedeni ani bebek ölümü sendromu (Sudden Infant Death syndrome, SIDS)

olsa da sağlıklı görünen bir bebeğin de beklenmedik ölümü gerçekleşebilir. 15 gün - 1 yaş arasındaki çocukların beklenmedik ölümleri, suç olasılığını dışlamak için uzun süredir birçok yasal soruşturmanın konusu olmuştur. Olay yerinin incelemesinin ardından uygulanacak mikrobiyolojik yöntemlere ek olarak, spesifik hastalık teşhisleri sağlayan sınırlı sayıda virüs ve bakteri testleri yanı sıra, mikrobiyal çalışmalar kısa sürede ve daha kapsamlı olarak ölüm nedeninin açıklanmasına olanak sağlayabilmektedir. Sally Clark vakası mikrobiyolojik analiz gerekliliğine iyi bir örnektir. Anne, her iki çocuğunu da öldürmekten ceza alsada davanın tekrar görülmesiyle çocukların ölüm sebebinin stafilokokal septisemi ve menenjitte bağlı bakteriyel enfeksiyon olduğu tespit edilmiştir (Oliveira & Amorim, 2018).

Antidepresanlar, antipsikotikler, benzodiazepinler, kannabinoidler, metamfetaminler, amfetaminler, 4-hidroksibütanoik asit, metadon ve diğer güçlü opioidlerin mikroorganizmalara etkisini belirlemek ölüm nedenini değiştirebilmektedir. Amitriptilin, doksepin, fluoksetin, imipramine gibi bazı antidepresan ilaçlar stabil konsantrasyonlarda kalırken, bazılarının (dothiepin, fenelzin, tranilsipromin) kadavra çürümesi sırasında devam eden mikrobiyal aktivite ile bozulur. Metamfetamin tüketimi dünya çapında artan kullanımı adli önemini de arttırmaktadır. *Enterobacterium*, *Enterococcus*, *Lactobacillus*, *Clostridium* ve *Bacterioides* gibi çeşitli gastrointestinal mikroorganizmalar, metamfetaminleri amfetaminlere dönüştüren N-demetilasyonundan sorumludurlar. Gamma-hidroksibütirat (GHB), genellikle alkolle birlikte tüketilen ve uyuşturucuyla birlikte cinsel saldırı vakaları ile ilişkilendirilirken, GHB'nin ölüm sonrası üretiminde mikroorganizmaların da olası bir rolü olduğu öne sürülmüştür. Vücudun farklı bölgelerinde (kan, bağırsak, beyin) bulunan mikrobiyomlarda, mikroorganizmalardan birinin veya birkaçının farklılık göstermesi ilaçların ve zehirlerin konsantrasyonundaki değişiklikler adli tıp raporunda sunulan sonuçları değiştirebilmektedir. Bu nedenle, otopsi sırasında, endojen seviyeler ve eksojen maruziyet arasındaki eşik konsantrasyon değerlerini ayırt etmek gerekir (Oliveira & Amorim, 2018; Ogdur, vd., 2022).

Hastane Enfeksiyonlarının Belirlenmesi

Hastane ortamlarında uygulanan tüm hijyen önlemlerine rağmen bakteriler (*Acinetobacter baumannii*, *K. pneumoniae*, *Pseudomonas aeruginosa*, *S. Aureus*, *Salmonella enterica*, *Clostridium difficile* ve *Enterococcus faecium*, vb.), mantarlar (*Microsporum canis*, *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus*, *Aspergillus ustus* ve *Trichophyton tonsurans*), virüsler (*RSV*, *HBV*, *HCV*, *adenovirüs*, *norovirüs*, *rotavirüs*) ve diğer patojenik ajanlardan bazıları hastalarda ve özellikle immünosupresyon tedavileri gören hastalarda ciddi enfeksiyonlara sebep olarak ölümlerine sebebiyet verebilmektedir. Hastane yüzeylerinde, hastalarda, personelde ve ziyaretçilerde bulunan mikrobiyom karşılaştırılarak enfeksiyon kaynağı olan bakteriler tespit edilir. Ayrıca olası bir dava durumunda, hastane enfeksiyonunun bulaş kaynağını tespit etme veya mağduriyet sebebini açıklamak için kullanılabilir (Oliveira & Amorim, 2018).

Sonuç

Olay yerinden alınan ve suçla ilgili olabilecek delil niteliğindeki her örnek, suçun aydınlatılması açısından önemlidir (Max,

2007). İnsan mikrobiyomunun, kişiye özgün özellikte olması ve çevresel koşullara rağmen çekirdek mikrobiyotanın korunması adli bilimler açısından önem kazanmıştır (Hanssen, 2017; Robinson, 2021; Salman Yılmaz, 2019). Suçun planlı veya plansız işlendiği her iki durumda da delil yok etme amacıyla farklı düşünce ve teknikler geliştirilmektedir. İlk akla gelen parmak izini ya da DNA'yı yok etme çabaları sıklıkla rastlanırken, kimliklendirmede karakteristik mikrobiyotalardan yararlanmak farklı bir bakış açısı sağlamıştır. Mikrobiyom çalışmalarında klasik mikrobiyolojik yöntemlerin tamamlayıcısı olarak kullanılan moleküler teknikler, özellikle kültüre edilemeyen ve tanımlanamayan birçok türün tespiti mümkün hale gelmiştir (Salman Yılmaz, 2019). Mikrobiyal değerlendirilmede yeni nesil genetik yöntemler ve filogenetik analizler daha detaylı bilgiye daha kısa sürede ulaşma imkânı sağlarken, öncelikle numune toplama, delil teslim zinciri için standart protokoller doğru uygulanmalıdır. Duyarlılık, özgüllük, tekrarlanabilirlik ve saptama sınırı doğrulanmalı, elde edilen sonuçların doğru yorumlanması için öncelikle güvenilir ve kapsamlı veri tabanlarının oluşturulması gereklidir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The author declares that there are no competing interests

Kaynaklar

- Aagaard, K., Petrosino, J., Keitel, W., vd. (2013). The human microbiome project strategy for comprehensive sampling the human microbiome and why it matters. *FASEB J* 27(3), 1012-1022. [Crossref]
- Beans C. (2018). News Feature: Can microbes keep time for forensic investigators? *PNAS* 115(1) 3-6. [Crossref]
- Blumberg R, Powrie F (2012). Microbiota, disease, and back to health: a metastable journey. *Sci Transl Med*. 2012 Jun 6; 4(137): 137rv7. [Crossref]
- Bozaslan, B.S. (2016). Ağız florasındaki streptokokların adli bilimlerde kimliklendirme açısından araştırılması. İstanbul Üniversitesi-Adli Tıp Enstitüsü.
- Breeze, R.G., Budowle, B., Schutzer S.E. (2011). Microbial forensics. Anđ Ö. (Çeviri Ed). Adli Mikrobiyoloji, Nobel Tıp Kitabevleri.
- Budowle, B., Murch, R., Chakraborty R. (2005). Microbial forensics: The next forensic challenge. *Int J Legal Med*. 119(6), 317-330. [Crossref]
- Carolyn B. (2018). News Feature: Can microbes keep time for forensic investigators? *PNAS* 115(1), 3-6. [Crossref]
- DeBruyn, J.M., Hauther, K.A. (2017). Postmortem succession of gut microbial communities in deceased human subjects. *PeerJ*, 5, e3437. [Crossref]
- Edmonds-Wilson, S.L., Nurinova, N.I., Zapka, C.A., vd. (2015). Review of human hand microbiome research, *Journal of Dermatological Science*. 80, 3-12. [Crossref]
- Fierer, N., Lauber, C.L., Zhou, N., vd. (2010). Forensic identification using skin bacterial communities. *Proc Natl Acad Sci*. 107, 6477-6481. [Crossref]
- Gao, Z., Perez-Perez, G.I., Chen, Y. (2010). Quantitation of Major Human Cutaneous Bacterial and Fungal Populations. *Journal of Clinical Microbiology*. Vol. 48(10), 3575-3581. [Crossref]
- Garcia, M.G., Pérez-Cárceles, M.D., Osuna, E. (2020). Impact of the Human Microbiome in Forensic Sciences: A Systematic Review. *Appl Environ Microbiol*. 28,86(22):e01451-20. [Crossref]
- González, A., Vázquez-Baeza, Y., Knight, R. (2014). Snap Shot: *The Human Microbiome*. *Cell*. 31;158(3):690-690. [Crossref]
- Gupta, V.K, Paul, S., Dutta, C., vd. (2017). Ethnicity or subsistence-specific variations in human microbiome composition and diversity. *Front Microbiol*. 23,(8) 1162. [Crossref]
- Habtom, H., Pasternak, Z., Matan, O., vd. (2019). Applying microbial biogeography in soil forensics. *Forensic Sci. Int. Genet*. 38, 195-203. [Crossref]
- Hanssen, E.N., Avershina, E., Rudi, K., vd. (2017). Body fluid prediction from microbial patterns for forensic application. *Forensic Science International: Genetics*. 30, 10-17. [Crossref]
- Jawetz, E., Melnick, J.L., Adelberg, E.A. (2007). Medical Microbiology. *Sultan Qaboos Univ Med J* 7(3), 273-275.
- Jesmok, E. M., Hopkins, J. M., Foran, D. R. (2016). Next-generation sequencing of the bacterial 16S rRNA gene for forensic soil comparison: a feasibility study. *J Forensic Sci*. 61, 607-617. [Crossref]
- Lax, S., Smith, D.P, Hampton-Marcell, J., vd. (2014). Longitudinal analysis of microbial interaction between humans and the indoor environment. *Science*. 345,1048-52. [Crossref]
- Leake, S.L. (2016). The salivary microbiome for differentiating individuals: proof of principle, *Microbes Infect*. 18(6),399-405. [Crossref]
- Lloyd-Price, J., Mahurkar, A., Rahnavard, G., vd. (2019). Strains, functions and dynamics in the expanded Human Microbiome Project. *Nature*. 569, 641-648.
- Macdonald, C. A., Ang, R., Cordiner, S. J., vd. (2011). Discrimination of soils at regional and local levels using bacterial and fungal T-RFLP profiling. *J Forensic Sci*. 56, 61-69. [Crossref]
- Maltoni D., Maio D., Jain A.K., (2003). Handbook of Fingerprint Recognition. New York.
- Mathieu A., Delmont T.O., Vogel T.M., vd. (2013). Life on human surfaces: skin metagenomics. *PLoS ONE* 8(6): e65288. [Crossref]
- Max, M.H. (2007). Forensic Science, Modern methods of solving crime, Virginia.
- Metcalf, J.L. (2019). Estimating the postmortem interval using microbes: Knowledge gaps and a path to technology adoption. *Forensic Science International: Genetics*. 38, 211-218. [Crossref]
- Metcalf, J.L., Parfley, L.W., Gonzalez, A., vd. (2013). A microbial clock provides an accurate estimate of the postmortem interval in a Mouse model system. *Elife*. 15;2:e01104. [Crossref]
- Metcalf, J.L., Zhenjiang, Z.Xu., Bouslimani A. (2017). Microbiome tools for forensic science. *Cell Press*. Vol. 35, No.9. [Crossref]
- Nord, C.E., Heimdahl A. Cardiovascular infections bacterial endocarditis of oral origin. *J Clin. Periodontol*, 1990; 17:494-496. [Crossref]
- Ogdur M., Cakan H., Evrensel A. Investigation of gut microbiota in suicide cases instead of forensic sciences. *Medicine Science*. 2022; 11:361-366. [Crossref]
- Oliveira, M., Amorim, A. (2018). Microbial forensics: new breakthroughs and future prospects, *Appl Microbiol Biotechnol*. 102,10377-10391. [Crossref]
- Rebollar, E.A. Antwis R.E., Becker M.H., vd. (2016). Using "omics" and integrated multi-omics approaches to guide probiotic selection to mitigate chytridiomycosis and other emerging infectious diseases, *Review Article, Front. Microbiol*. 7, 68. [Crossref]
- Robinson, J.M., Pasternak, Z., Mason, C.E., vd. (2021). Forensic Applications of Microbiomics: A Review. *Frontiers in Microbiology*. 11:608101. [Crossref]
- Rosenthal, M., Goldberg, D., Aiello, A., vd. (2011). Skin microbiota: Microbial community structure and its potential association with health and disease. *Infection, Genetics and Evolution*. Vol. 11, 839-848. [Crossref]
- Saferstein, R. (1998). Criminalistics: An Introduction to Forensic Science. 12. Baskı. ISBN-13978-0134477596). Pearson Press.
- Salman Yılmaz S. (2019). El Mikrobiyotasının Kişilerin Tanımlanmasında Kullanılmasını Sağlayacak Yeni Bir Metodun Geliştirilmesi. İstanbul Üniversitesi- Cerrahpaşa, Adli Tıp ve Adli Bilimler Enstitüsü, Doktora tezi.

Savage, D.C. (1977). Microbial ecology of the gastrointestinal tract, *Annu Rev Microbiol.* 31,107-33. [\[Crossref\]](#)

Schmedes, S.E., Woerner A.E., Novroski N.M.M., vd. (2018). Targeted sequencing of clade-specific markers from skin microbiomes for forensic human identification, *Forensic Science International: Genetics.* 32, 50-61. [\[Crossref\]](#)

Schmedes, S.E., Woerner, A.E., Budowle, B. (2017). Forensic human identification using skin microbiomes, *Applied and environmental microbiology.* Volume 83 Issue 22 e01672-17. [\[Crossref\]](#)

Schommer, N.N., Gallo, R.L. (2013). Structure and function of the human skin microbiome, *Trends in Microbiology.* Vol.21, No.12. [\[Crossref\]](#)

Tridico, S.R., Murray, D.C., Addison, J. (2014). Metagenomic analyses of bacteria on human hairs: a qualitative assessment for applications in forensic science. *Investig Genet.* 5(1):16. [\[Crossref\]](#)

Tridico, S.R., Murray, D.C., Bunce, M. (2017). DNA profiling of bacteria from human hair: potential and pitfalls. *Forensic Microbiol.* P358-375. [\[Crossref\]](#)

Turnbaugh, P.J., Ley, R.E., Hamady, M. (2007). *The Human Microbiome Project.* *Nature.* Vol. 449, 804-810. [\[Crossref\]](#)

Ubeda, C., Pamer, E.G. (2012). Antibiotics, microbiota, and immune defense. *Trends in Immunology.* Vol. 33, No. 9, 459-466. [\[Crossref\]](#)

Waldor, M.K., Tyson, G., Borenstein, E. (2015). Where Next for Microbiome Research? *PLoS Biol.* 13(1): e1002050. [\[Crossref\]](#)

Wilkins, D., Leung, M.H., Lee, PKh. (2016). Indoor air bacterial communities in Hong Kong households assemble independently of occupant skin microbiomes. *Environ Microbiol.* 18:1754-63. [\[Crossref\]](#)

Wilkins, D., Leung, M.H.Y., Lee PK.H. (2017). Microbiota fingerprints lose individually identifying features over time. *Microbiome.* 9;5(1):1. [\[Crossref\]](#)

Wood, M., Gibbons, S.M., Lax, S., vd. (2015). Athletic equipment microbiota are shaped by interactions with human skin. *Microbiome.*3:25. [\[Crossref\]](#)

Zapka, C., Leff, J., Henley, J., vd. (2017). Comparison of Standard Culture-Based Method to Culture-Independent Method for Evaluation of Hygiene Effects on the Hand Microbiome. *MBio.* 28;8(2). [\[Crossref\]](#)

BÖLÜM 4

ADLİ MİKROBİYOLOJİDE METAGENOMİK ANALİZ UYGULAMALARI

Şükriye KARADAYI
Beytullah KARADAYI

Adli Mikrobiyolojide Metagenomik Analiz Uygulamaları

Metagenomic Analysis Applications in Forensic Microbiology

BÖLÜM HAKKINDA

Mikrobiyomlar, hem vücudumuzda hem de yaşadığımız çevrede bol miktarda bulunan, kommensal, simbiyotik veya patojen olan bakteri, virüs ve mantar gibi tüm mikroorganizmaları kapsar. Geleneksel kültür yöntemlerini kullanan önceki mikrobiyolojik çalışmalar bakteri türlerinin yarısından daha azının kültürlenebildiği ve oldukça sınırlı bilgi sunan çalışmalardı. Son yıllarda yeni nesil dizileme sistemlerinin kullanıma girmesi ile mikrobiyal biyobelirteçlerin adli olgu çözümlerinde kullanım potansiyeli oldukça artmıştır. Bu alanda yapılan yeni çalışmalar, kişilerin birbirinden ayırımından vücut sıvılarının identifiye edilmesine, ölüm nedeninin belirlenmesinden postmortem intervalin tespitine kadar pek çok konuda gelecek vaat ettiğini ortaya koymuştur. Mikrobiyomların yeni nesil dizileme cihazları ile gerçekleştirilen moleküler genetik çalışmaları metagenomik analizler olarak adlandırılmaktadır. Bu analizler sonrasında elde edilen 16 S rDNA dizileme bilgileri, çok çeşitli biyoinformatik analizler ile çeşitli grafikler ve şekillerle ifade edilen ileri derecede istatistiksel analizler yardımıyla görselleştirilmektedir. Biyoinformatik analizler taksonomik bilgiden, temel komponent ve temel koordinat grafiklerine, sıcaklık haritalarına ve kümeleme analizlerine kadar oldukça geniş bir yelpazede bilgi oluşturmaktadır. Fakat mikrobiyomların adli pratik uygulamalarda hak ettiği yeri alabilmesi için mikrobiyomların oluşumunda etkili faktörlerin bilinmesi ve etkilerinin iyi bir şekilde ortaya konulması ve de sınırlılıklarının bilinmesi gerekmektedir. Bu bölümde adli bilimlerin pek çok alanında kullanılmaya potansiyeli bulunan metagenomik analiz yöntemleri kısaca tanıtılacak ve adli bilimlerdeki kullanım alanları kapsamlı bir şekilde irdelenecektir.

Anahtar kelimeler: Adli bilimler, metagenomik, mikrobiyom,

ABOUT the CHAPTER

Microbiomes encompass all microorganisms such as bacteria, viruses, and fungi that are commensal, symbiotic, or pathogenic and are abundantly present both within our bodies and in the environment we inhabit. Previous microbiological studies using traditional culture methods were able to culture less than half of the bacterial species and provided very limited information. With the advent of next-generation sequencing systems in recent years, the potential for the use of microbial biomarkers in forensic case resolutions has significantly increased. New studies in this field have shown promising applications ranging from distinguishing individuals to identifying body fluids, determining the cause of death, and estimating postmortem interval. Molecular genetic studies of microbiomes conducted with next-generation sequencing devices are referred to as metagenomic analyses. The 16S rDNA sequencing data obtained from these analyses are visualized using a wide range of bioinformatic analyses, including taxonomic information, principal component and principal coordinate analyses, heatmaps, and clustering analyses, expressed through various graphs and figures. However, for microbiome to earn its deserved place in forensic practical applications, it is essential to understand the factors influencing microbiome formation, clearly demonstrate their effects, and recognize their limitations. In this section, metagenomic analysis methods that have the potential to be used in many areas of forensic sciences will be briefly introduced and their areas of use in forensic sciences will be examined comprehensively.

Keywords: Forensic sciences, metagenomic, microbiome

Giriş

İnsan mikrobiyom analizleri, filogenetik ve evrim çalışmalarının yanı sıra adli bilimlerin farklı disiplinlerinde de kullanılmaktadır. İnsana ait biyolojik örneklerde yapılan mikrobiyolojik analiz çalışmalarında, geleneksel kültür yöntemleri ile çok az bakteri türü tanımlanmaktadır. Oysa metagenomik araştırmalar ile 16S rDNA tabanlı tanımlama yöntemleri, geleneksel kültür yöntemlerine göre hem daha hızlı sonuçlar vermekte hem de daha kapsamlı bakteri çeşitliliğini ortaya çıkarmaktadır. Nitekim, son yıllarda yapılan çalışmalar, metagenomik etiketlerden gelen mikrobiyal parmak izlerinin bir bireyi benzersiz olarak tanımlama potansiyelini göstermiştir. Ayrıca adli soruşturmalarda kullanılmak üzere mikrobiyomların kullanım alanları ile ilgili araştırmalar her geçen gün artmaktadır.

Şükriye Karadayı¹ 

Beytullah Karadayı² 

¹ Altınbaş Üniversitesi, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Adli Tıp Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

E-posta: sukriye.karadayi@altinbas.edu.tr
beykara@iuc.edu.tr

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Karadayı, S., Karadayı, B. (2024). Adli mikrobiyolojide metagenomik analiz uygulamaları. G. Filoğlu & Ö. Bülbül (Ed). *Adli biyoloji: Doğanın izleriyle adaletin pesinde 1* içinde (s. 96-106). İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atif 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

Adli bilimlerde vaka çözümüne yönelik her yöntemin birbirine göre avantaj ya da dezavantajları bulunmaktadır. Kimi zaman bir ya da birkaç yöntem, raporu sonuçlandırmak için yeterli olmadığında, birbirini destekleyen ilave teknikler kullanılmaktadır. Son çalışmalarda, geleneksel DNA analizleri kimliklendirme olgularının çözümünde yetersiz kaldığında mikrobiyal kanıtların destekleyici rol oynayacağı düşünülmektedir. Nitekim, bakteri DNA'sı, insan DNA'sından daha iyi korunması ve degradasyona daha dirençli olması sebebiyle bir yüzeydeki kalıcılığı çok daha fazla olmaktadır. Özellikle saldırganın DNA'sı cinsel saldırı vakalarında olduğu gibi mağdurun DNA'sı ile karıştığı durumlarda veya failin DNA izleri tam ve güvenilir bir genetik profili belirlemek için yetersiz olduğunda, biyolojik örnek içeriğindeki mikrobiyomun adli amaçlı kimliklendirmede yararlı olabileceği düşünülmektedir. Ayrıca, genlerinin %100'ünü paylaşan monozigotik ikizlerin ayırt edilmesinde tükürük mikrobiyomu kullanılarak ikizlerin ayırımı mümkün olabilmektedir. Öte yandan olay yerinde faile ait bir biyolojik delilden tespit edilen DNA profili, olayın şüphelisi yoksa veya mevcut DNA veri tabanları ile eşleşme sağlanamazsa olayın çözümüne katkı sağlayamaz. Fakat bu delilden elde edilebilecek saldırganı ait mikrobiyal profil, fail hakkında ek bilgiler sunabilir. Bu nedenlerden dolayı, mikrobiyom analizlerinin ceza soruşturmalarına yeni bir boyut kazandıracağı düşünülmektedir. Bu bölümde adli bilimlerin pek çok alanında kullanıma potansiyeli bulunan metagenomik analiz yöntemleri kısaca tanıtılacak ve adli bilimlerdeki kullanım alanları kapsamlı bir şekilde irdelenecektir.

Metagenomik Analiz Teknikleri

Olay yeri incelemelerinde biyolojik delilin zarar görmeden uygun yöntemlerle toplanması ve belirlenmesi önemlidir (Karadayı, vd., 2018). İnsan mikrobiyom analizinde kullanılan moleküler teknik, metagenomik analiz ile 16S rDNA gen bölgesinin sekanslanmasıyla gerçekleştirilmektedir (Cox, vd., 2013). Günümüzde yeni nesil dizileme (Next Generation Sequencing, NGS) teknikleri ile karmaşık örneklerin, çok başarılı bir şekilde dizilenmesi mümkündür (Üstek, vd., 2011). 16S rDNA geni korunmuş değişken bölgeler içerdiğinden farklı mikroorganizmalar arasında ayırım yapmak için kullanılmaktadır (Cox, vd., 2013). 16S rRNA geni, yaklaşık 1500 baz çifti uzunluğundadır ve çoğu bakteride neredeyse aynı olan ve yüksek düzeyde korunmuş dokuz hiperdeğişken bölge içerir (V1-V9). Bu bölgeler kullanılarak farklı bakteriyel taksonlar ayırt edilebilir. Bir çalışmaya başlamadan önce hangi bölge (ler) in veya bölge kombinasyonlarının hedefleneceği mutlaka belirlenmelidir. Farklı hiperdeğişken bölgeler (V1-V9) farklı şekilde gelişmiştir (Kim, vd., 2011, Yu ve Morrison, 2004). Bu sebeple en ideali tüm gen bölgesinin dizilemesinin yapılmasıdır (Gürsoy, vd., 2023). Ancak şu ana kadar, birkaç dizileme teknolojisi ile bu mümkün olabilmıştır.

Hiperdeğişken bölgelere özgü evrensel primerler kullanılarak **çok** farklı ve çok sayıda mikroorganizmanın polimeraz zincir reaksiyonu (PZR) ile amplifiye olması sağlanır. Amplifikasyon sonrasında NGS cihazları ile sekanslama yapılır ve GenBank gibi uluslararası gen veri bankalarındaki gen dizilimleri ile karşılaştırılarak bakterinin çok büyük bir kısmının, tür ve cins düzeyinde identifikasyonu gerçekleştirilir (Cox, vd., 2013).

16S rRNA geninin hiperdeğişken bölge seçiminin (V1-V3, V4-V6, V7-V9) önemi, 454 pirosekanslama teknolojisi kullanılarak NGS'nin ilk dönemlerinde ortaya konulmuştur (Kumar, vd., 2011). V4 tabanlı

Illumina MiSeq protokolü kullanılmaya başlandıktan sonra, V4 hiperdeğişken bölgesi diğerlerine göre daha fazla tercih edilmiştir (Caporaso, Lauber & Walters, 2011). Bunun nedeni, bu bölgenin tamamen iki 250 nükleotid eşleştirilmiş uç okumasını kapsaması ve böylece hata oranlarının en aza indirilebilmesidir (Kozich, vd., 2013). NGS teknolojisi ve mikrobiyom araştırmalarına adli bilimlerde ilginin artmasıyla birlikte yeni mikrobiyal-tabanlı çalışmalar geliştirilmeye başlanmıştır (Çevik ve Çakan, 2020; Karadayı, vd., 2021). Günümüzde, dizileme maliyetleri geçmiş yıllara göre nispeten azaldığından daha kapsamlı çalışmaların önü açılmıştır.

Örnek Toplama ve Depolama

Analiz edilecek örneklerin içerdiği mikrobiyal yapı farklı koşullarda değişme potansiyeli barındırdığından ve kontaminasyon riski bulunduğundan bu numunelerin analizine kadar, taşıma ve depolama şartlarına dikkat edilmelidir. İdeal durumlarda, numuneler DNA içermeyen, steril ve önceden etiketlenmiş tüplere yerleştirilir ve hızlıca soğuk zincir ile laboratuvara taşınması gereklidir. Hemen analize alınmayacak ise en geç 2 saat içinde -80 °C'de saklanması gerekmektedir. Önerilen diğer yöntem ise numune tüpünün sıvı nitrojene batırılarak anında dondurulması ve böylece numunedeki değişikliklerin önüne geçilmesidir (Karadayı ve Karadayı, 2021). Fakat çoğu durumda bu tür ideal koşullar, olay yeri örneklemeleri için her zaman mümkün değildir. Bu tür araştırmalar için numuneler en kısa sürede, en azından -20°C'de dondurulmalıdır. Son zamanlarda, örnek tüplerine önceden aktarılabilen RNeasy Protect® solüsyonu (Qiagen Hilden, Germany) gibi bakteriyel DNA veya RNA korumasını hedefleyen bazı ticari ürünler kullanıma sunulmuştur (Takeshita, vd., 2016).

Mikrobiyom analizlerinin sonuçları DNA ekstraksiyon kitlerinin başarısı, örnekleme yöntemleri ve çeşitli kontaminasyonlardan etkilenmektedir. Bundan dolayı mutlaka negatif ve pozitif kontroller kullanılmalıdır. Özellikle örneklerin düşük mikrobiyal biyokütleyle sahip olduğu durumlarda mikrobiyomu karakterize etmek için oldukça önemlidir (Eisenhofer, vd., 2019).

Metagenomik Analiz ve Deneysel İş Akışı

Genel olarak metagenomik analiz iş akışı belirli bazı süreçleri içerir (Şekil 1). Uygun toplama ve saklama koşullarında elde edilen



örneklerde ilk aşamada, mikrobiyal DNA izolasyonu yapılır. İzolasyon sonrasında elde edilen DNA'nın kalitesi ölçülür ve DNA amplifikasyonu aşaması sonrasında saflaştırma gerçekleştirilerek, NGS için kütüphane hazırlığına başlanır. Sonraki aşamada PZR ürünleri T4 ligaz, Klenow Fragment ve T4 Polinükleotid Kinaz ile küt uçlu hale getirilmektedir. Tüm 3' uçlara "A" bazı eklenerek adaptör bağlanması için uygun hale getirildikten sonra, küçük DNA parçaları (non-spesifik bağlanmalar, primer dimerler) uzaklaştırılmaktadır. Son olarak kalite kontrol aşamalarını geçen kütüphane örnekleri dizilemeye alınmakta ve NGS verisi üzerinden biyoinformatik analizler gerçekleştirilmektedir (Fadrosh, vd., 2014).

Biyoinformatik Analiz

YND teknolojileri kullanılarak elde edilen diziler bir veri kümesine işlenerek ileri biyoinformatik analiz basamaklarına geçilir. Mikrobiyom araştırmalarının ilk dönemlerinde uzun ve karmaşık süreçler içeren ampikon veri analizi için artık günümüzde, QIIME 2 ve Mothur gibi yazılım paketleri kullanılmaktadır (Bolyen, vd., 2019, Schloss, vd., 2009). Her bir yazılımın bazı avantaj ve dezavantajları bulunmaktadır. Genellikle analize Fastq formatında ham çift uçlu verilerle başlanır ve son çıktı, operasyonel taksonomik birim (operational taxonomic unit, OTU) tablosu olarak da bilinen bir özellik tablosudur. Daha sonra OTU tabanlı ve bakteri tür çeşitliliği üzerinden istatistiksel değerlendirmeler yapılır. Veri işleme adımları ve veriler üzerindeki biyoistatistiksel değerlendirme süreçleri aşağıda kısaca özetlenmiştir.

Veri işleme protokolü kapsamında adaptör dizileri ve düşük kalitede olan okumalar filtrelenerek birbiri üstüne denk gelen çift uçlu okumalar birleştirilir. Herhangi bir örneğe atanmamış diziler, yetersiz uzunluktaki diziler veya belirsiz bazlara sahip diziler uzaklaştırılır (Bokulich, vd., 2013). Daha sonra, PZR işlemi sırasında kimerik amplifikasyondan kaynaklanan kimeralar veya okumalar tespit edilerek kaldırılır (Von Wintzingerode, vd., 1997). Elde edilen diziler OTU bazında %97 sekans benzerliği ile gruplandırılır (Stackebrandt ve Goebel, 1994). OTU ve taksonomik değerlere göre alfa çeşitlilik, beta çeşitlilik ve tür bazında analizler gerçekleştirilir. Son aşamada kalite kontrol aşamalarını geçen kütüphane örnekleri dizilenir ve NGS verisinde yukarıda söz edilen istatistiksel yazılımlar kullanılarak biyoinformatik analizler gerçekleştirilir.

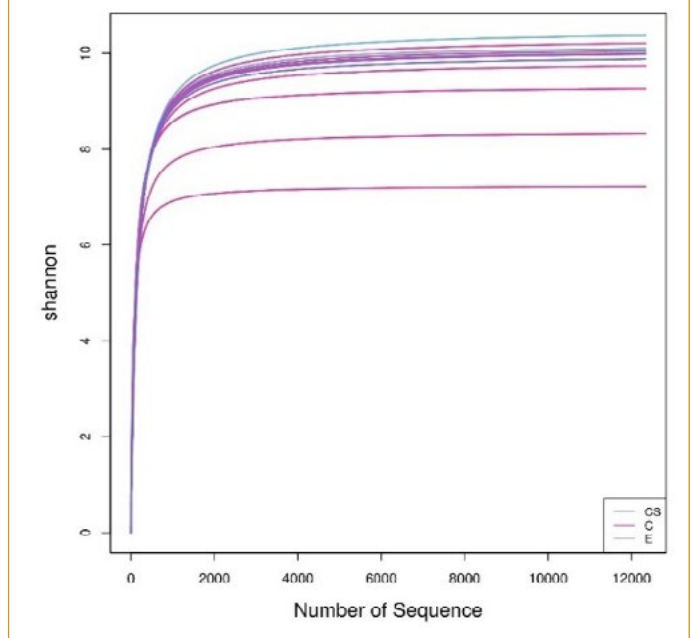
OTU Bazlı Analizler

Alfa Çeşitlilik Analizleri. Analiz edilen örnekteki bakteri çeşitliliği ve bolluğu çeşitli indekslerle ifade edilir. Shannon-Wiener indeksi zenginliği ve eşitliği birleştirir ve nadir türlere daha fazla ağırlık verir (Xia, vd., 2018). Bu da indeks arttıkça nadir türlerin sayısının daha fazla olduğu anlamına gelir. Değeri genellikle "5" i geçmez. Değeri ne kadar yüksekse, örneklerin alfa çeşitliliği o kadar fazladır (Xia, vd., 2018). Simpson indeksi de zenginliği eşitlikle birleştirir ve Shannon-Wiener indeksinin aksine, ortak türlere daha fazla vurgu yapar. Değeri 0 ile 1 arasında değişir. Değeri ne kadar yüksekse, örneklerin alfa çeşitliliği o kadar fazladır (Xia, vd., 2018).

Yukarıdaki indekslerde, zenginlik bir örnekteki toplam tür sayısını ifade ederken (Xia, Sun vd., 2018) bolluk, bir türün ham okuma sayılarını ifade eder. Tür zenginliği, yatay düzlemde tür sayısı ile artar. Dik eğri, örnekteki tür eşitliğinin az olduğunu ve yüksek orandaki türler ile düşük orandaki türler arasında büyük farklar

Şekil 2

Alfa çeşitlilik örnek grafiği



olduğunu, daha yatay bir eğri ise tür eşitliğinin fazla olduğunu gösterir (Şekil 2).

OTU Venn Şeması. Venn şeması ile örnek ve gruplar arasında ortak ve eşsiz olan OTU'ların tespiti yapılabilmektedir. OTU çokluk analizlerine göre oluşturulan venn şemalarındaki farklı renkler, farklı örnek ve grupları temsil etmektedir. Her bir örneğin veya grubun adı şema üzerinde belirtilir. Şema içerisindeki sınırlı bölgeler sembolik olarak o bölgedeki (kesişim veya eşsiz bölgeler) OTU miktarını göstermektedir.

OTU Temel Bileşenler Analizi. Örneklerdeki OTU içeriklerinin karşılaştırılması amacıyla temel bileşenler analizi (PCA, principal component analysis) grafikleri oluşturulabilir. PCA grafiklerinde birbirine yakın konumda olan örneklerin, OTU içeriği bakımından diğer örneklere göre birbirlerine daha benzer oldukları gösterilir.

Tür İçeriği ve Beta Çeşitlilik Analizleri

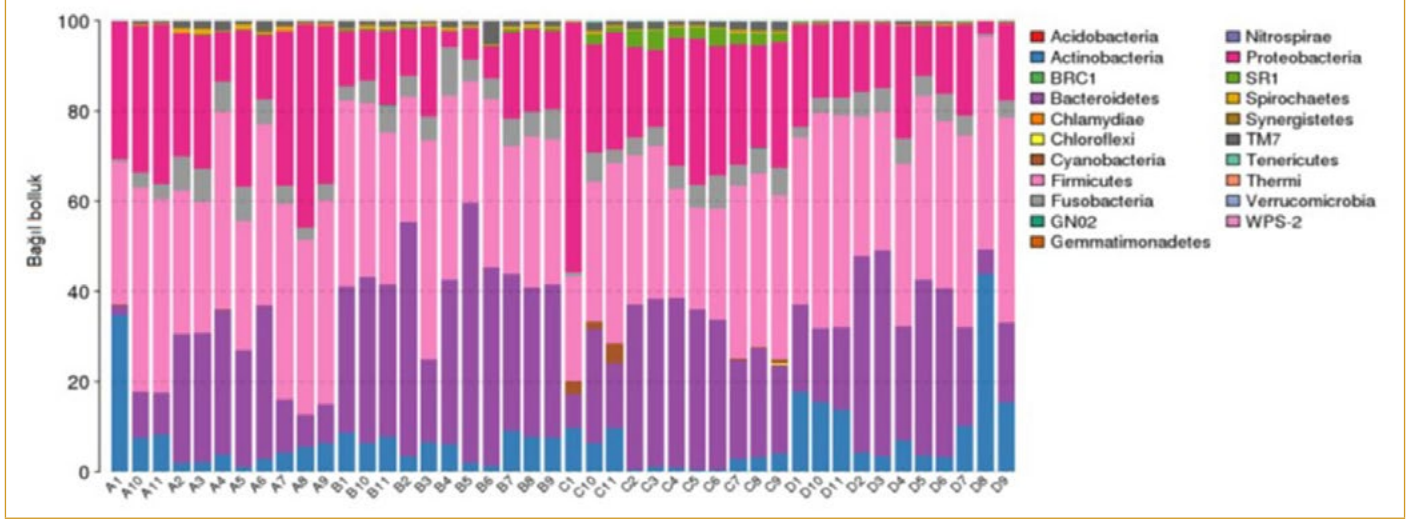
Tür İçeriği Analizleri. Örneklerdeki mikrobiyal içerikler şube, sınıf, takım, aile, cins ve tür düzeyinde taksonomik sınıflandırmaya tabi tutularak histogram şeklinde grafikler oluşturulur (Şekil 3). Grafikteki her bir farklı renk, farklı bir mikroorganizmayı ifade etmekte ve renklerin oranı mikroorganizmaların bağıl bolluklarını göstermektedir.

Tür Sıcaklık Haritası. Sıcaklık haritası, örneklerdeki tür içerikleri ve bunların örnekler içindeki genel çokluklarının gösterimi için kullanılmaktadır. Renk değişimine göre bir türün örnekteki miktarı diğer örnekler ile karşılaştırılabilir. Ayrıca bu bilgiler üzerinden örnekler arasında hiyerarşik kümeleme yapılması mümkündür. Sıcaklık haritaları ve hiyerarşik kümeleme şekilleri şube, sınıf, takım, aile, cins ve tür düzeyinde oluşturulabilir.

Beta Çeşitlilik Analizleri. Örnekler arası tür farklılığını ortaya çıkarmak için beta çeşitlilik analizleri kullanılır. Çoğunlukla

Şekil 3

Metagenomik analiz sonrasında örneklerin şube düzeyindeki taksonomik içeriklerinin bağlı bolluk değerlerinin gösterimi



örnekler arasındaki komünitelerine ait tür içeriklerinin evrimsel uzaklıklarını hesaplamak için UniFrac analiz yöntemleri tercih edilir. Unifrac değerleri weighted (dizi çokluklarını göz önünde bulunduran yaklaşım) ve unweighted (dizi çokluklarını gözardı ederek hesaplayan yaklaşım) olarak ikiye ayrılır (Metsalu ve Vilo, 2015). Örnekler arası farklılıkları göstermek için kullanılan bir diğer parametre olan Bray-Curtis uzaklık indeksi, genelde iki komünite arasındaki farklılıkları 0 ile 1 değerleri arasında olacak şekilde tanımlar. 0 değeri her iki komünitenin birebir aynı olduğunu gösterirken, 1 değeri ise bu iki komünitenin tamamen farklı olduğunu gösterir.

Beta çeşitlilik uzaklık matrislerine göre (UniFrac ve Bray-Curtis) örnekler arası farklılıkları şematize etmek için temel koordinat analizi (principal coordinat analysis, PCoA) grafikleri kullanılabilir. Elde edilen grafiklerde, örneği temsil eden noktalar arasındaki yakınlık, o örneklerdeki tür içeriğinin birbirine benzer olduğunu gösterir.

Örnekler Arası Tür İçeriğine Göre Kümeleme Analizi. Analizler sonucunda, tür içeriklerine göre kümeleme haritaları çıkarılabilir. İki örnek arasındaki yakın mesafe, örnek kompozisyonlarının benzer olduğunu gösterir.

Permanova Analizleri. Farklı toplulukların beta çeşitliliği, Permanova, Mantel testi, benzerlik analizi ve çoklu yanıt permütasyon prosedürleri gibi çeşitli istatistiksel yöntemler veya modeller kullanılarak karşılaştırılabilir. Permanova en popüler ve en güçlüsü olarak kabul edilir (Xia ve Sun, 2017). Permütasyon testinin P değeri 0,05'ten küçükse, farklı topluluklar arasındaki beta çeşitliliğin istatistiksel olarak anlamlı olduğunu gösterir. Testin bir diğer çıktısı ise toplam varyansın ne kadarının gruplama faktörü ile açıklanabileceğini gösteren R²'dir (Xia, vd., 2018).

Gruplar Arası Karşılaştırma Analizleri. Mikrobiyom verileri yüksek boyutlu olduğu için, araştırmalarda yaygın olarak çoklu karşılaştırma yöntemlerinden yararlanır. Numunenin, özellik tablosunda yüzlerce veya binlerce OTU bulunur ve bunların her biri gruplar arasında karşılaştırılabilir. Bir çalışmanın A grubu, B grubu ve C grubu gibi üç grubu olduğunu ve bir araştırmacının bu üç grup arasındaki

farklılıkları karşılaştırmak istediğini varsayalım. Her grup iki kez karşılaştırılacağı için, yani grup A'ya karşı grup B, grup A'ya karşı grup C ve grup B'ye karşı grup C olur. Yanlış pozitif sonuçları sınırlamak için de her grup veya değişken karşılaştırıldığında P değeri ayarlamalarına ihtiyaç vardır. Bu sorun Bonferroni P değeri düzeltilmesi ile bertaraf edilmeye çalışılmaktadır (Qian, vd., 2020). Bonferroni düzeltilmesinin yalnızca az sayıda çoklu karşılaştırmalı hipotez testi için geçerli olduğunu, aksi takdirde yüksek oranda yanlış negatiflere yol açacağı unutulmamalıdır (White, vd., 2009).

Mikrobiyomların Adli Bilimlerdeki Uygulama Alanları

Kişİ İdentifikasyonunda Mikrobiyom Kullanımı

Pek çok yeni araştırmaya ait bulgular bireylerin belirli bir çevreye özgü mikrobiyal profillere dayalı olarak benzersiz bir şekilde tanımlanabileceğini göstermektedir. Bu gelişmeler ile mikrobiyomun, adli bilimlerde vaka çözümlerinde, yeterli miktarda insan DNA'sının elde edilemediği durumlarda olgu çözümüne katkı verebileceği düşünülmektedir. İnsanlar arasındaki mikrobiyal varyasyonun, bireyleri benzersiz bir şekilde tanımlamak için yeterli olup olmadığı veya zaman içinde yeterince kararlı olup olmadığı, henüz tam olarak ortaya konulamamıştır. Bu sorulardan bazılarında yanıt arayan Franzosa ve ark. (2015) farklı vücut bölgelerine özgü mikrobiyal profiller arasındaki değişimi test etmiştir (Franzosa, Huang & Meadow, 2015). Araştırmacılar iki farklı zamanda (30'dan 300 güne kadar) 327 katılımcıda aynı bölgeden alınan örnekleri 25-105 mikrobiyom profiliyle eşleştirmeye çalışmıştır. Yazarlar, bu profillerin ilk örnekleme zaman noktasında bireyleri ayırt etmede faydalı olduğunu ve bireylerin %30'unun birkaç ay sonra hala benzersiz şekilde tanımlandığını bildirmiştir. Ayrıca, bağırsak mikrobiyomunun stabil olduğu ve bireylerin %80'ini belirlemede kullanıldığı belirtilmiştir. Bu sonuçlar, özellikle daha kısa zaman dilimlerinde mikrobiyom verilerinin adli kullanım için uygun olduğunu, ancak zaman içerisinde bazı faktörlere bağlı olarak nispeten yüksek değişkenlik olduğunu göstermektedir. Bu nedenle, bu tür çalışmaların bir adli vakada kullanılabilmesi için, yöntemlerde ve örnekleme prosedürlerinde iyileştirmelere ihtiyaç vardır.

Başka bir çalışmada Watanabe ve ark. (2018) minör taksonların bireyleri ayırt etmede kilit faktörlerden biri olduğunu öne sürmüştür (Watanabe, vd., 2018). Çalışmalarında, 2 yıl boyunca bireylerden (n = 11) alınan mikrobiyom örneklerini (n = 66) analiz ederek %85 doğruluk oranlarıyla bireyleri ayırt edebildiklerini bildirmişlerdir. Ancak, bu doğruluk oranı kişileri kimliklendirmek için yeterli değildir. Modelin duyarlılığında ve özgüllüğünde iyileştirmeler ve olası kontaminasyon sorunları için bir metodoloji geliştirilmelidir. Ayrıca, bulguların bir adli değere sahip olması için zaman ve mekandaki mikrobiyal dinamiklerin daha iyi anlaşılması gerekir.

İnsan mikrobiyomunu oluşturan bakteriler farklı anatomik bölgelere eşit olmayan bir şekilde dağılmıştır (kolon-1014; dış plağı-1012; ileum-1011; tükürük-1011; deri-1011; mide-107 oniki parmak bağırsağı ve jejunum-107). Her anatomik bölge belirli bir taksonomik kompozisyona sahiptir ve çeşitli faktörlerden (çevresel maruziyet, yaş, beslenme şekli, antibiyotik veya antiseptik kullanımı vb.) etkilenebilir (Ding ve Schloss 2014; Lloyd-Price, vd., 2017; Sender, vd., 2016). Bireysel mikrobiyom stabilitesi ve farklılaşmasının değerlendirilmesi ile ilgili birçok araştırma yapmak gerekir (Franzosa, vd., 2015; Lax, vd., 2015).

İnsan mikrobiyotasının hem sağlık hem de homeostaz ile ilişkili olduğu bilinmektedir. Bazı mikroorganizmaların ortaya çıkması, obezite veya diyabet (bağırsak mikrobiyotası arasındaki korelasyon) ve lokal veya sistemik enfeksiyonlar (kolonizasyon) gibi bireyin belirli klinik koşullara duyarlılık ve yakınlığının göstergesi olarak oluşabilmektedirler (Hawkins ve O'Doherty, 2011).

Son çalışmalar, mikrobiyomların kişisel tanımlamaya yönelik başka bir katkısını desteklemektedir. Mikrobiyomların kullanımı ile cinsiyetin belirlenebileceğine yönelik bazı çalışmalar yayınlanmıştır. Luongo ve ark. (2017) farklı üniversitelerin yurt odalarından (n = 91) havadaki bakteri ve mantar çeşitliliğinden (aerobiomu) yararlanarak kişilerin cinsiyetlerini belirlemeye çalıştılar (Luongo, vd., 2017). Araştırmacılar, mikrobiyotanın çeşitliliğine dayalı olarak kişilerin cinsiyetini %79 doğrulukla tahmin edebildiler. Erkekler tarafından kullanılan odalarda mikrobiyotanın daha yüksek olduğu tespit edildi. Yazarlar bunun, erkeklerin daha fazla biyolojik artık bıraktıklarını veya daha az kozmetik kullanımına bağlı olabileceğini bildirmişlerdir.

İnsanda mikrobiyotaya göre biyolojik cinsiyete bağlı farklılıklar ölümden sonra organları kolonize eden mikrobiyal populasyonlar kullanılarak gösterilmiştir (Zhou vd., 2018). Araştırmacılar, 10 bireyin kalp dokusundaki 16S rRNA geni V1-V2 ve V4 bölgelerini kullanarak, erkekler (n = 6) ve kadınlar (n = 4) arasındaki temel farklılıkları buldular. Örneğin, *Streptococcus spp.* sadece erkek kalp dokularında bulunurken, kadınlarda *Pseudomonas spp.* prevalansı önemli ölçüde daha yüksekti. Bu tekniklerin iyileştirilmesi ile gerek cinsiyet gerekse vücut parçalarının kaynağı belirlenebilir.

Tridico ve ark. (2014) çalışmalarında, kasık kılı mikrobiyomlarının analizine dayanarak erkek (n = 3) ve kadınları (n = 4) birbirlerinden ayırt edebildiklerini gösterdiler (Tridico, vd., 2014). Kadın katılımcılara özgü *Lactobacillus spp.*'yi tanımladılar. Bu çalışma daha sonra Williams ve Gibson tarafından (2017) tekrarlanarak (n=9) kasık kılına mikrobiyotasından bireyleri ve cinsiyetlerini tanımladılar (Williams ve Gibson, 2017).

Bir başka çalışmada, Phan ve ark. (2020) her iki cinsiyetten (n=45) deri mikrobiyomu örneklerini analiz ederek *Alloicoccus* bakterisi cinsinin yokluğunun, kadın cinsiyetinin tahmininde kullanılabileceğini buldular (Phan, vd., 2020). Bu çalışma, belirli bakteri türleri ile kişisel özellikler (cinsiyet vb.) arasında bir ilişki olduğunu göstermiştir. Araştırmacılar, yüzlerdeki parmak izlerinden mikrobiyotanın varlığını araştırdılar ve çapraz doğrulama analizi ile %67 cinsiyet tahmini doğruluğu elde ettiklerini bildirdiler.

Mikrobiyom analizi ile ilgili başka bir durum, bu analizlerin kişinin kimliklendirilmesinin ötesinde öngörülemez bilgileri de ortaya çıkardığı için bazı etik kaygıları, yasal ve sosyal zorlukları ortaya koymasındır. Örneğin kişinin soyu, etnik kökeni ve geçmişte maruz kaldığı çeşitli fiziksel ortamlar ve daha önce bulunduğu veya yaşadığı ülkeler/coğrafi yerler hakkında bilgi verebilir. Bu tür bilgiler, bireyin mahremiyetine girdiği için kişisel hak ihlaline girmektedir.

Deri Mikrobiyomu

İnsan derisi, herhangi bir yüzeye dokunulduğunda, yüzeylere aktarılabilen önemli sayıda mikroorganizmayı barındırır (Fierer, vd., 2010). İnsan mikrobiyomu, bireyler ile dokundukları nesnelere (klavyeler, cep telefonları ve diğer cihazların yüzeyleri) arasında bir bağlantı kurarak kişisel bir imza olarak kullanılabilen bilgiler içerir (Fierer, vd., 2010; Lax, vd., 2015). Deri mikrobiyomunun eğere sadece bakteri filumu çalışılırsa, çeşitli kişiler arasında sadece birkaç ayırt edici takson tanımlanabilmektedir. Bununla birlikte, taksonomik çeşitliliğin artırılması, cins, tür ve suş olarak popülasyon seviyelerinde tanımlanma sağlanması, elde edilen sonuçları, her bir kişi için son derece spesifik duruma getirir. Böylelikle parmak izine benzer bir ayırım gücü ile bireyselleştirilmiş bir imza görevi görebilir (Costello, vd., 2009; Fierer, vd., 2008; Gao, vd., 2007). Nitekim, her vücut örneği çeşitli faktörler (deri kalınlığı ve kıvrımları, kıl foliküllerinin yoğunluğu ve hem ektrin hem de apokrin bezlerinin varlığı) tarafından belirlenen belirli bir mikrobiyom bileşimi ile belirli bir spesifiklik oluşturmaktadır. Örneğin, *Propionibacteria* ve *Staphylococcus* türleri vücudun sebumlu bölgelerine ve *Corynebacteria* nemli bölgelerine hakimse, β -*Proteobacteria* ve *Flavobacteriales* kuru bölgelere hakimdir. Bu farklılıklar ve özellikler zaman içinde ve kişisel hijyene rağmen nispeten sabit kalmaktadır. Ayrıca, mikrobiyomu oluşturan bakterilerin bazılarının çevresel faktörlere (nem, sıcaklık ve UV radyasyonu) son derece dirençli olmasından ötürü, dokunulan yüzeylerde uzun süre kalabilmektedir (Brooke, vd., 2009). Bununla birlikte, kişisel profilin istikrarında antifungal ve antibiyotik tedavilerin neden olduğu değişiklikler sebebiyle, mikrobiyom bileşiminin spesifikliği konusunda şüpheler bulunduğu belirtilmektedir (Langdon, vd., 2016; Karadayı, vd., 2023).

Vücut Sıvıları Mikrobiyomu

Olay yerinde sıklıkla bulunan örnekler kan, meni ve tükürük olmakla birlikte kimi zaman vajinal sıvı, idrar ve ter gibi örneklerde olabilmektedir (Virkler ve Lednev 2009). Her biyolojik örneğin, mikrobiyal bileşimine dayalı olarak türünü belirlemek için biyobiyolojik olarak kullanılabilir belirli bir mikroorganizma topluluğunu içerdiği belirtilmektedir (Hanssen, vd., 2017). Örneğin, tükürük, *Veillonella atypica*, *Streptococcus mutans* ve *Streptococcus salivarius* gibi spesifik bakterilerin saptanmasıyla, vajinal sıvı ise *Lactobacillus crispatus* ve *Lactobacillus gasseri* gibi spesifik

bakterilerin saptanmasıyla tanımlanabilir [Choi, vd., 2014; Giampaoli ve Valeriani, 2017; Gül, vd., 2022].

Saç Mikrobiyomu

Adli incelemelerde olay yerinde bulunan kılların büyük bir kısmı saç kılları iken cinsel saldırı vakalarında kasık kıllarına daha sıklıkla rastlanmaktadır. Yapılan araştırmalara göre, mikrobiyom analizinden toplanan veriler, yalnızca örneğe katkıda bulunan kişinin kimliklendirilmesini değil, aynı zamanda iki kıl orijini arasında ayırım yapılmasını da sağlamaktadır. Yakın tarihli bir çalışma hem insan kafa derisinde hem de kasık kıllarında bulunan mikrobiyomu karşılaştırarak bu izlerin cezai ve hukuk soruşturmalarında kullanım potansiyelini ortaya çıkarmıştır [Tridico, vd.,2014]. Aynı çalışmada birlikte yaşayan ve cinsel açıdan aktif çiftlerin cinsel ilişki sırasında mikrobiyomlarının değiştirildiği ortaya koyulmaktadır. Ayrıca bu çalışmada, erkeğin cinsel organlarında ya da kasık bölgesinde vajinal sekresyonun ana belirteci olan *Lactobacillus crispatus* ve *Lactobacillus gasseri* bakterilerinin bulunmasını cinsel aktiviteyi işaret ettiği belirtilmektedir.

Ölüm Nedeninin Belirlenmesi

Adli mikrobiyolojik çalışmalarda, bazı mikroorganizmaların varlığı, bir ölümün nedenini belirlemeye yardımcı olarak, ceza davalarında biyolojik göstergeler olarak kanıt oluşturabilmektedir. Adli Tıp uzmanları tarafından doğal, kaza, intihar, cinayet ve belirlenmemiş ölümler olmak üzere genellikle beş ölüm orijini kabul edilir [Advenier, vd., 2016]. Araştırmacılar, Finlandiya, İtalya ve Amerika Birleşik Devletleri'nde ölüm nedenleri farklı olan [kaza sonucu ölüm (n = 88), doğal ölüm (n = 106), cinayet (n = 23) ve intihar (n = 45)] 265 cesetten toplanan mikrobiyom örneklerini çalıştıklarında, *Lactobacillus*, *Enterobacteriaceae*, *Sediminibacterium* ve *Rhizobiales*'in farklı ölüm biçimleriyle ilişkili olduğunu belirtmişlerdir [Lutz, vd., 2019]. Araştırmacılar, spesifik bakteriyel toplulukların cinayet için değil ama, doğal veya kaza sonucu ölüm ve intiharın biyolojik belirteçleri olarak belirlenebileceğini belirtmişlerdir [Lutz, vd., 2019]. *Sediminibacterium* ve *Rhizobiales* bakterilerinin, kontrol edilmesi gereken çevresel kontaminasyonu temsil edebileceğini ve ölüm şeklini belirleme çalışmalarının güvenilirliğini artırmak için kontrollü deneyler ile daha fazla doğrulama gerektiğini belirtmektedirler [Lutz, vd., 2019]. Bu çalışmanın ölüm şeklini belirleme potansiyeli, Zhang ve arkadaşları tarafından yakın zamanda yapılan başka bir çalışma ile doğrulanmaktadır [Zhang, vd., 2019]. Bu çalışmada hastane ölümlerine bağlı olgularda *Xanthomonadaceae* daha sık görülürken, *Actinomyces spp.* intihar vakalarında daha sık görülmektedir. Örnek sayısının artırılması ile çalışma modellerinin doğruluğunu da arttırmak mümkündür. Araştırmacılar, bu çalışmaların temel bilgiler sağladığını ve gelecekte mikrobiyal bilgi kullanımı ile ölüm tahminlerine yardımcı olabilecek veri tabanlarının geliştirilmesinin yapay zekâ algoritmaları ile mümkün olabileceğini öne sürmektedir.

Christoffersen ve ark. [2015] ölüm nedenini belirleme çalışmalarında otopsi sonuçlarını inceleyerek, vakaların %42'sinde ölüm nedeninin mikrobiyolojik analizle belirlenebildiklerini bildirmişlerdir [Christoffersen, 2015]. Kaszubinski ve ark. [2020] ölüm sonrası 188 vakadan (her vakada beş vücut bölgesi) oluşan bir mikrobiyom veri seti kullanarak ölüm biçimini ve nedenini belirlemek için beta dağılımını modellemişlerdir [Kaszubinski, vd.,

2020]. Beta dağılımı ve demografik veriler kullanılarak ölüm şekli ve nedeni arasında ayırım yapılabildiğini göstermişlerdir. Araştırmacılar, özellikle, kardiyovasküler hastalık ve uyusturucuya bağlı ölümlerde, vakaların %79'unu doğru bir şekilde sınıflandırmışlardır. Bu çalışmanın sonuçları, ölüm şeklini belirlemek için ölüm sonrası mikrobiyomların kullanılması konusunda umut vaat etmektedir. Ancak, araştırmacılar, daha fazla örnekle çalışılması gerektiğini vurgulamaktadır [Kaszubinski, vd., 2020].

Bir otopsideki zorluklardan biri de, sudan çıkarılan cesetlerde uzun bir PMI sonrası boğulma teşhisinin yapılmasıdır. Diatomların kurbanlardan alınan kanda veya organlarda (örneğin akciğerler, böbrekler, dalak, karaciğer ve kemik iliği) varlığı, suda boğulma tanısı için altın standart olarak kabul edilmektedir. Hatta boğulma yerinin belirlenmesi için de kullanılabilir [Sitthiwong, vd., 2014]. Ancak diatomların bazı su kaynaklarında düşük konsantrasyonlarda olmaları sebebiyle bazı gerçek boğulma vakalarında bile tespiti zor olmaktadır [Kakizaki, vd., 2010; Lee, vd., 2017].

YND tekniklerinin kullanıldığı birkaç çalışmada, gerçek zamanlı PZR deneyleri tasarlanarak, *Aeromonas spp.* gibi su ortamlarıyla ilişkili bakteri türlerinin tespiti, boğulmaya bağlı ölümün bulgusu olarak destek sağlamıştır [Aoyagi, vd., 2009; Uchiyama, vd., 2012; Voloshynovych, vd., 2019]. Bu çalışmalar, mikrobiyotanın nispeten yüksek tespit oranlarına dayanarak, ölüm nedeninin belirlenmesi için destek sağlamaktadır. Ayrıca biyoluminesan bakterilerin, deniz suyunda boğularak gerçekleşen ölümün biyobelirteçleri olabileceği belirtilmektedir. Kakizaki ve ark. [2010] sadece *Vibrio fischeri* ve *Vibrio harveyi* gibi biyoluminesan kolonileri tanımlamak için 16S rRNA genini hedefleyen bir analiz geliştirmiştir [Kakizaki, vd., 2010].

Lee ve ark. [2017] boğularak ölümün gerçekleştiğini teşhis etmek için bir belirteç geliştirmek amacıyla femoral arter ve venden, sağ ve sol ventriküllerden aldıkları örneklerde, mikrobiyom bileşimini ve pulmoner sürfaktan proteinin (SPA) ekspresyonunu analiz etmişlerdir [Lee, vd., 2017]. Ayrıca, fekal bakterilerin, boğulan kişilerde diğer ölüm nedeni tanılarına kıyasla her zaman mevcut olduğunu belirtmişlerdir [Lucci, vd., 2008; Marella vd 2019]. Lucci ve ark. [2007] inceledikleri tatlı suda boğulma vakalarının (n = 22) tümünde fekal streptokok olduğunu ve %90,91'inde koliform bulunduğunu göstermişlerdir [Lucci ve Cinnelli, 2007]. Başka bir çalışmada, Lucci ve ark. [2008] boğulan kişilerden (n = 5 tatlı su ve n = 5 deniz suyu) ve ölümden sonra su altında kalan kurbanlardan (n = 3) topladıkları örneklerde boğulan tüm kurbanlarda koliformları ve streptokokları tespit ederken, su içerisinde belli bir süre beklemiş kurbanlarda bu bakteri türlerini tespit edemediklerini belirtmişlerdir [Lucci, vd., 2008]. Bu bulgular fekal koliformların ve streptokokların boğulma belirteçleri olarak kullanılabilmesini vurgulamakla birlikte, örneklem sayısının artırılması gerekliliği göze çarpmaktadır.

Postmortem Interval (PMI) Tahmini

PMI'nin (ölümden sonra geçen süre) belirlenmesi genellikle bir ceza soruşturmasının önemli bir parçasını oluşturmaktadır. Filogenetik ve/veya taksonomik olarak bilgilendirici gen belirteçleri [16S rRNA ve 18S rRNA] yalnızca mikrobiyal PMI sırasındaki değişiklikleri değil, aynı zamanda mikrobiyal popülasyonlarındaki farklılıkları karakterize eden kanıtların analizi için de kullanılabilir

(Javan, vd., 2016; Burcham, vd., 2019; Metcalf, vd., 2017). Böylelikle ölüm sonrası çürümeyle ilişkili olarak prokaryotik ve ökaryotik mikroorganizmalardan yararlanılarak, hayvan leşi ve insan cesetleri ayrılabilir.

Ön çalışmalar, ölümden sonra mikrobiyal popülasyonun, organlarda PMI'nin belirlenmesine yardımcı olabilecek önemli aradışık değişikliklere uğrayabileceğini göstermektedir (Adserias-Garriga, vd., 2017). Ölümden sonraki 48 günlük bir dönem için Metcalf ve ark. (2013) bakteri ve arke toplulukları için 16S rRNA genini ve mikro-ökaryotlar için 18S rRNA genini dizileyerek bir PMI tahmini yapmak için bir "mikrobiyal saat" ortaya çıkarmayı amaçlamışlar ve ortaya konulan modeller oldukça güvenilir PMI tahminleri (223 ± 3 gün) ($n = 223$) sağlamıştır (Metcalf, vd., 2013). Çalışma, deneysel fare modelleri kullanılarak kontrollü koşullarda yürütülmüştür. Bu nedenle, bu verileri "gerçek yaşam" durumlarına göre tahmin ederken dikkatli olunması gerekir. Başka bir çalışmada Pechal ve ark. (2014) domuz kadvraları üzerinde zamanla meydana gelen mikrobiyom değişimini araştırarak PMI'yi ölüm zamanından sonraki 2-3 saat aralığını %94,4 doğruluk oranı ile tahmin etmişlerdir (Pechal, vd., 2014). Pechal ve ark. postmortem örneklerde geniş çaplı bir araştırma yaparak ($n=188$), bu mikrobiyomların ölümden sonraki 24-48 saat içinde antemortem sağlık koşullarını yansıttığını göstermişlerdir (Pechal, vd., 2018).

Johnson ve ark. (2016) çürüyen insan kadvraları deri mikrobiyomunu örnekleyerek PMI'yi tahmin etme üzere bir algoritma geliştirmişlerdir (Johnson, vd., 2016). Araştırmacılar, 21 kadvradan elde ettikleri 144 deri numunesini kullanarak, düşük hata oranları ile ± 2 günlük bir PMI tahmin doğruluğu elde etmişler ve bu konudaki önceki çalışmalara kıyasla örneğin, entomolojik analize göre önemli bir gelişme sağlamışlardır. Yine insan kadvraları üzerinde Belk ve ark. (2018) 16S rRNA amplikon dizilimini yaparak sınıf veya filum taksonomik seviyelerine sahip modeller oluşturmuşlar ve PMI için en doğru tahminleri elde etmişlerdir (Belk, vd., 2018). Ayrıca bu çalışma Johnson ve ark. tarafından gerçekleştirilen çalışmayı da doğrulamıştır.

Singh ve ark. (2018) insan kadvra ayrışmasının toprak bakteri topluluk yapısı üzerindeki mekansal (0, 1 ve 5 m) dinamiklerini araştırmışlar. Bu çalışmada, toprak örneklerinde (0 m için $n = 14$, hem 1m hem de 5m için $n = 17$) değişen kadvra ayrışması gözlenmiştir (Singh, vd., 2018). Araştırma sonuçları 0m'deki bakteriyel topluluk bileşiminin (beta çeşitliliği) 1m ve 5m popülasyonlarından önemli ölçüde farklılık gösterirken, 1m ve 5m popülasyonları arasında önemli farklılıklar olmadığını göstermektedir. Araştırmacılar ayrıca 0 m numunelerinde bakteri alfa çeşitliliğinin önemli ölçüde daha düşük olduğunu bulmuşlardır. Bu da kadvralardan gelen ek besin girişinin bakteri alfa çeşitliliğini azaltabileceğini düşündürmüştür. Bu çalışma, adli mikrobiyom uygulamalarının bu alanındaki artan bilgi birikimini geliştirmek için önemli konuları vurgulamaktadır (Singh, vd., 2018).

Beyin, kalp, karaciğer ve dalak gibi birkaç önemli organda ölüm sonrası mikrobiyomun çeşitliliğini ve sayısını belirlemek için 454 pirosekanlama tekniğinin kullanıldığı bir başka çalışmada, 29,5-240 saat arasında değişen PMI'ler çalışılmış ve kısa PMI tahminlerinde *Lactobacillus* gibi anaerobik spor oluşturan bakterilerin ve uzun PMI tahminlerinde ise *Clostridium* türü bakterilerin daha etkili olduğu ortaya konmuştur (Can, vd., 2014).

Genel olarak, ayrışma ilerledikçe mikrobiyal toplulukların çeşitliliği sadece birkaç cinsin baskın hale gelmesiyle azalmaktadır. Ayrıca, aerobik bakteri tabanlı bir topluluktan (şube Bacteroidetes: Bacteroides ve Parabacteroides; şube Firmicutes: Faecalibacterium, Phascolarctobacterium, Blautia ve Lachnospiraceae incertae sedis) anaerobik bakteri tabanlı bir topluluğa (şube Bacteroidetes: Clostridium; şube Firmicutes: Peptostreptococcus ve Anaerospaera; şube Gammaproteobacteria: Wohlfahrtiimonas, Ignatzschineria, Acinetobacter ve Providenciaryun) geçiş belirtilmektedir (DeBruyn ve Hauther, 2017). Bu nedenle, iç organlarda bulunan bakteri taksonlarının, minimum PMI'yi tahmin etmek için potansiyel olarak yararlı olduğu sonucuna varabiliriz. Böylelikle, NGS tabanlı teknoloji ile bir kadvrada bulunan mikroorganizmalardan ölüm zamanı eşleştirmelerine olanak sağlanacağını söylemek mümkün görünmektedir.

Toprak Mikrobiyomu kullanımı

Topraktan mikrobiyal profilleri analiz etme potansiyeli adli mikrobiyolojik araştırmalarda giderek daha fazla çalışılan bir konu haline gelmiştir. Hem rizosfer hem de toplu toprak mikrobiyomları, farklı alanlar arasında yüksek düzeyde heterojenlik sergiler. Bu nedenle, metodolojik iyileştirme ile toprak mikrobiyomu örnekleri, toprak örneğinin kaynağını lokalize etmek için değerli biyocoğrafik veriler sağlayabilir. Başka bir potansiyel uygulaması da bir suçla bağlantılı bir öğenin veya maddelerin kaynağını belirlemeye yardımcı olacak bilgilerin edinilmesidir.

Yeni analiz tekniklerinin kullanıma girmesiyle, topraktaki mikrobiyal toplulukların örnekler arasındaki ayrım potansiyeli de artmıştır. Topraktaki mikrobiyal topluluğun yapısının oluşumunda çeşitli faktörlerin (toprak tipi, mevsimsel değişiklik, alan yönetimi, bitki örtüsü ve çevresel koşullar) etkisi olduğundan, bakteri ve mantar popülasyonu bölgeye özgü bir profile sahiptir (Grantham, vd., 2015). Metagenomik analiz yöntemlerindeki son gelişmeler belirli bir toprak örneğinde bulunan mikrobiyal popülasyonu kapsamlı bir şekilde gösterebilmektedir (Demanèche, vd., 2017; Young, vd., 2014; Young, vd., 2015; Young, vd., 2017).

Postmortem değişim sürecinde mikrobiyomların, toprak yüzeyinde ve gömülü olma durumlarına göre farklı davranışlar sergilediği gösterilmiştir. Finley ve ark. tarafından yapılan çalışmalarda yüzey toprağından gelen mikrobiyal topluluklar, takson zenginliği ve çeşitliliği azalan bir eğilim gösterirken; gömülü kadvralarla yakın temas halinde olan mikrobiyal topluluklar, artan özellikler göstermişlerdir (Finley, vd., 2015; Finley, vd., 2016). Ayrıca, *Proteobacteria*, mezar toprağı örneklerinde en bol bulunan filum olarak bildirilmiş, yüzey kadvra-toprak topluluklarında bolluk açısından *Acidobacteria* azalmış ve *Firmicutes* artmıştır. Bununla birlikte mikrobiyal topluluk bileşimi gömülü topraklarda sabit kalmıştır (Finley, vd., 2015; Finley, vd., 2016).

Toprak mikrobiyal topluluklarının karmaşıklığı göz önüne alındığında, metagenomik analiz uygulamaları bu tür toplulukların tanımlanmasını önemli ölçüde hızlandıracaktır. Yakın zamanda yayınlanan çalışmalar mikrobiyal toplulukların coğrafi dağılımını ve haritalarını oluşturmak için gerçekleştirilen başlangıç çalışmaları olarak değerlendirilmektedir (Thompson, vd., 2017; Delgado-Baquerizo, vd., 2018). Veri tabanlarının kapsamı genişledikçe, geniş alanlarda ölüm yerinin belirlenmesinde faydalı olacaktır.

Habtom ve ark. (2019) topraktan alınan mikrobiyal örnekler arasındaki mesafe-bozunma ilişkilerini, numuneler arasındaki mesafe ne kadar büyük olursa, mikrobiyotanın o kadar farklı olduğunu göstermiştir (Habtom, vd., 2019). Bu da hem toprak tipinin hem de coğrafi konumun mikrobiyal topluluk kompozisyonunu belirlemede önemli faktör olduğunu ortaya koymuştur. Jesmok ve ark. (2016) çeşitli biyoinformatik yöntemler kullanarak toprak bakteri profillerinin %95,4' ünün konumlarına göre doğru bir şekilde sınıflandırıldığını göstermiştir (Jesmok, vd., 2016).

Farklı toprak karışımlarından oluşan numuneler, bakteriyel 16S rRNA ve fungal ITS1 rRNA bazlı metagenomik analizler kullanılarak doğru bir şekilde ayırt edilebilir (Karadayı, 2021). Sanachai ve ark. denatüre gradyan jel elektroforez tekniği ile elde edilen toprak bakterisi 16S rDNA profillerinin benzerliğini karşılaştırarak, bir ayakkabı tabanından elde edilen toprağın coğrafi konumunun belirlenebileceğini göstermiştir (Sanachai, vd., 2016).

Toprak mikrobiyomu çalışmalarının adli olaylar açısından yadsınamaz yarar sağladığı bilinmektedir. Ancak daha fazla çalışma yaparak bu alandaki sınırlamaların da ele alınması gerekmektedir. Pasternak ve ark. (2019) mikrobiyomik analizlerin sonuçlarını yorumlarken dikkate alınması gereken sınırlayıcı birkaç faktör belirlemiştir (Pasternak, vd., 2019). Toprak örnekleri, kısa ölçeklerde bile oldukça karmaşık ve heterojendir. Bu da bir olayın çözümünde toprakla ilgili kanıtların kullanılabilmesi açısından önemli bir sorun teşkil eder. Mikrobiyomlar, yüksek düzeyde fiziksel, kimyasal ve biyolojik çeşitlilik sergiler. Pasternak ve ark. aktinobakteriyel parmak izlerinde, aynı bölgede iki mevsim (yaz ve kış) arasında önemli ölçüde farklılık olabileceğini göstermiştir (Pasternak, vd., 2013). Ayrıca, Keet ve ark. (2019) toprak mikrobiyomunun, abiyotik toprak koşullarının bir sonucu olarak değişebileceğine dikkat çekmiştir (Keet, vd., 2019). Fakat kısa zaman periyotlarında toprağın mikrobiyal bileşimi küçük değişiklikler gösterdiğinden, adli olgu çözümlerinde önemli bir potansiyeli barındırdığı Karadayı'nın adli olgu kurgusu çalışması ile gösterilmiştir (Karadayı, 2021). Şu ana kadar yapılan çalışmalarda insan ve hayvan kavrularının etrafındaki mezar toprağının metagenomik analizi adli amaçlarla yapılmıştır. Carter ve ark. (2015) iki mevsimde (yaz ve kış) domuz kavrularının gömülü olduğu topraklarda mikrobiyal yapı çeşitliliğini araştırmış ve postmortem mikrobiyal topluluğun belirli ve tekrarlanabilir şekillerde değiştiğini, ancak toprak mikrobiyal toplulukları üzerindeki ayrışma etkilerinin mevsimler arasında önemli ölçüde farklılık gösterdiğini saptamışlardır (Carter, vd., 2015).

Toprak mikrobiyomu analizi, adli tıpta kullanılma potansiyeline sahiptir; ancak sonuçların duyarlılığını ve tekrarlanabilirliğini doğrulamak için ek araştırmalara ihtiyaç duyulmaktadır (Young, vd., 2017). Genel olarak, mikrobiyomla ilişkili hem mekansal hem de zamansal dinamikleri daha iyi anlamak amacıyla daha fazla sayıda mikrobiyom araştırmaları yapmak gerekmektedir.

Sonuç

Metagenomik analizlerdeki yeni gelişmeler doğrultusunda mikrobiyomların adli bilimlerde çok önemli kullanım potansiyeli olduğu görülmektedir. Cinsel suçlarda, suç işlendikten birkaç yıl sonra bile suçlu ve mağduru ilişkilendirme çalışmalarında biyoindikatör olarak kullanılması mümkündür. Ancak yeni gelişen ve gelişmeye

açık bu alanda şu ana kadar yapılan çalışmaların pek çoğu bir ön çalışma şeklinde ya da nispeten daha az kapsamlı çalışmalardır. Çevresel, mekansal ve zamansal koşulların her bir kombinasyonu ile ilişkili mikrobiyal özelliklerin belirlenmesine yönelik araştırmalar gerçekleştirilmelidir.

Günümüzde henüz adli mikrobiyom veri tabanı bulunmamaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmalar daha çok "bire bir" karşılaştırma şeklinde gerçekleştirilmektedir. Sorgulanan deliller (örneğin bir şüphelinin ayakkabısı) olay yerinden alınan deliller ile karşılaştırılabilir. Fakat karşılaştırmalı adli mikrobiyom çalışmalarında, farklı yerlerden veya kişilerden toplanan örneklerde karışık kökene sahip mikrobiyomla karşı karşıya kalındığında örnek analizi ve değerlendirilmesinde zorluklar yaşanabilir. Karışım analizi, insan DNA örneklerinde bile güç iken daha karmaşık olan mikrobiyom analizinde çok daha da zordur.

Daha önce belirtildiği gibi, adli mikrobiyom çalışmalarının geniş alanlardaki uygulamalarından önce, birkaç adımın dikkate alınması gereklidir. Öncelikle, numune toplama, işleme ve saklama için standart protokollerin tanımlanması gereklidir. Duyarlılık, özgüllük, tekrar üretilebilirlik, tekrarlanabilirlik ve tespit sınırı gibi tüm parametreler daha fazla sayıda çalışma ile doğrulanmalıdır. Son olarak, elde edilen sonuçların doğru yorumlanması için güvenilir ve kapsamlı veri tabanlarının da oluşturulması zorunludur.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declare that there are no competing interests

Kaynaklar

Adserias-Garriga, J., Hernández, M., Quijada, N. M., vd. (2017). Daily thanatomiocriome changes in soil as an approach of postmortem interval estimation: an ecological perspective. *Forensic science international*, 278, 388-395. [\[Crossref\]](#)

Advenier, A. S., Guillard, N., Alvarez, J. C., vd (2016). Undetermined manner of death: an autopsy series. *Journal of forensic sciences*, 61, S154-S158. [\[Crossref\]](#)

Aoyagi, M., Iwadata, K., Fukui, K., vd. (2009). A novel method for the diagnosis of drowning by detection of *Aeromonas sobria* with PCR method. *Legal Medicine*, 11(6), 257-259. [\[Crossref\]](#)

Belk, A., Xu, Z. Z., Carter, D. O., vd. (2018). Microbiome data accurately predicts the postmortem interval using random forest regression models. *Genes*, 9(2), 104. [\[Crossref\]](#)

Bell, C. R., Wilkinson, J. E., Robertson, B. K., vd (2018). Sex related differences in the thanatomiocriome in postmortem heart samples using bacterial gene regions V12 and V4. *Letters in applied microbiology*, 67(2), 144-153. [\[Crossref\]](#)

Bokulich, N. A., Subramanian, S., Faith, J. J., vd. (2013). Quality-filtering vastly improves diversity estimates from Illumina amplicon sequencing. *Nature methods*, 10(1), 57-59. [\[Crossref\]](#)

Bolyen, E., Rideout, J. R., Dillon, M. R., vd (2019). Reproducible, interactive, scalable and extensible microbiome data science using QIIME 2. *Nature biotechnology*, 37(8), 852-857. [\[Crossref\]](#)

Brooke, J. S., Annand, J. W., Hammer, A., vd. (2009). Investigation of

- bacterial pathogens on 70 frequently used environmental surfaces in a large urban US university. *Journal of Environmental Health*, 71(6), 17-23.
- Burcham, Z. M., Pechal, J. L., Schmidt, C. J., vd (2019). Bacterial community succession, transmigration, and differential gene transcription in a controlled vertebrate decomposition model. *Frontiers in microbiology*, 10, 745. [Crossref]
- Can, I., Javan, G. T., Pozhitkov, A. E., vd. (2014). Distinctive thanatomicrobiome signatures found in the blood and internal organs of humans. *Journal of microbiological methods*, 106, 1-7. [Crossref]
- Caporaso, J. G., Lauber, C. L., Walters, W. A., Berg-Lyons, D., Lozupone, C. A., Turnbaugh, P. J., ... & Knight, R. (2011). Global patterns of 16S rRNA diversity at a depth of millions of sequences per sample. *Proceedings of the national academy of sciences*, 108(Supplement 1), 4516-4522. [Crossref]
- Carter, D. O., Metcalf, J. L., Bibat, A., vd (2015). Seasonal variation of postmortem microbial communities. *Forensic science, medicine, and pathology*, 11(2), 202-207. [Crossref]
- Choi, A., Shin, K. J., Yang, W. I., vd (2014). Body fluid identification by integrated analysis of DNA methylation and body fluid-specific microbial DNA. *International journal of legal medicine*, 128(1), 33-41. [Crossref]
- Christoffersen, S. (2015). The importance of microbiological testing for establishing cause of death in 42 forensic autopsies. *Forensic science international*, 250, 27-32. [Crossref]
- Costello, E. K., Lauber, C. L., Hamady, M., vd. (2009). Bacterial community variation in human body habitats across space and time. *science*, 326(5960), 1694-1697. [Crossref]
- Cox, M. J., Cookson, W. O., Moffatt, M. F. (2013). Sequencing the human microbiome in health and disease. *Human molecular genetics*, 22(R1), R88-R94. [Crossref]
- Çevik EE, Çakan H. (2020). Adli mikrobiyal genetik. Gündoğmuş ÜN, editör. Adli Mikrobiyoloji. 1. Baskı. Ankara: *Türkiye Klinikleri Adli Tıp ve Adli Bilimler*; 2020. p.32-38.
- DeBruyn, J. M., Hauther, K. A. (2017). Postmortem succession of gut microbial communities in deceased human subjects. *PeerJ*, 5, e3437. [Crossref]
- Delgado-Baquerizo, M., Oliverio, A. M., Brewer, T. E., vd. (2018). A global atlas of the dominant bacteria found in soil. *Science*, 359(6373), 320-325. [Crossref]
- Demanèche, S., Schausser, L., Dawson, L., vd. (2017). Microbial soil community analyses for forensic science: application to a blind test. *Forensic science international*, 270, 153-158. [Crossref]
- Ding, T., Schloss, P.D. (2014). Dynamics and associations of microbial community types across the human body. *Nature*, 509(7500), 357-360. [Crossref]
- Eisenhofer, R., Minich, J. J., Marotz, C.,vd. . (2019). Contamination in low microbial biomass microbiome studies: issues and recommendations. *Trends in microbiology*, 27(2), 105-117. [Crossref]
- Fadrosh, D. W., Ma, B., Gajer, P., vd. (2014). An improved dual-indexing approach for multiplexed 16S rRNA gene sequencing on the Illumina MiSeq platform. *Microbiome*, 2(1), 1-7. [Crossref]
- Fierer, N., Hamady, M., Lauber, C. L., vd. (2008). The influence of sex, handedness, and washing on the diversity of hand surface bacteria. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(46), 17994-17999. [Crossref]
- Fierer, N., Lauber, C. L., Zhou, N., vd. (2010). Forensic identification using skin bacterial communities. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(14), 6477-6481. [Crossref]
- Finley, S. J., Benbow, M. E., Javan, G. T. (2015). Potential applications of soil microbial ecology and next-generation sequencing in criminal investigations. *Applied Soil Ecology*, 88, 69-78. [Crossref]
- Finley, S. J., Pechal, J. L., Benbow, M. E., vd. (2016). Microbial signatures of cadaver gravesoil during decomposition. *Microbial ecology*, 71(3), 524-529. [Crossref]
- Franzosa, E. A., Huang, K., Meadow, J. F., vd. (2015). Identifying personal microbiomes using metagenomic codes. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(22), E2930-E2938. [Crossref]
- Gao, Z., Tseng, C. H., Pei, Z., vd. (2007). Molecular analysis of human forearm superficial skin bacterial biota. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(8), 2927-2932. [Crossref]
- Giampaoli, S., DeVittori, E., Valeriani, vd. (2017). Informativeness of NGS analysis for vaginal fluid identification. *Journal of forensic sciences*, 62(1), 192-196. [Crossref]
- Grantham, N. S., Reich, B. J., Pacifici, K., vd. (2015). Fungi identify the geographic origin of dust samples. *PLoS one*, 10(4), e0122605. [Crossref]
- Gül, F., Karadayı, S., Yurdabakan, Z., Özbek, T., & Karadayı, B. (2022). Investigating changes in salivary microbiota due to dental treatment: A metagenomic analysis study for forensic purposes. *Forensic Science International*, 340, 111447. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111447>
- Gürsoy, N., Karadayı, S., Akmayan, İ., Karadayı, B., & Özbek, T. (2023). Time-dependent change in the microbiota structure of seminal stains exposed to indoor environmental. *International Journal of Legal Medicine*, 1-12. <https://doi.org/10.1007/s00414-023-03108-9>
- Habtom, H., Pasternak, Z., Matan, O., vd. (2019). Applying microbial biogeography in soil forensics. *Forensic Science International: Genetics*, 38, 195-203. [Crossref]
- Hanssen, E. N., Avershina, E., Rudi, K., vd. (2017). Body fluid prediction from microbial patterns for forensic application. *Forensic Science International: Genetics*, 30, 10-17. [Crossref]
- Hawkins, A. K., O'Doherty, K. C. (2011). "Who owns your poop?": insights regarding the intersection of human microbiome research and the ELSI aspects of biobanking and related studies. *BMC Medical Genomics*, 4(1), 1-9. [Crossref]
- Javan, G. T., Finley, S. J., Abidin, Z., vd. (2016). The thanatomicrobiome: a missing piece of the microbial puzzle of death. *Frontiers in microbiology*, 7, 225. [Crossref]
- Jesmok, E. M., Hopkins, J. M., Foran, D. R. (2016). Next generation sequencing of the bacterial 16S rRNA gene for forensic soil comparison: a feasibility study. *Journal of forensic sciences*, 61(3), 607-617. [Crossref]
- Johnson, H. R., Trinidad, D. D., Guzman, S., vd. (2016). A machine learning approach for using the postmortem skin microbiome to estimate the postmortem interval. *PLoS one*, 11(12), e0167370. [Crossref]
- Kakizaki, E., Kozawa, S., Matsuda, H., vd. (2010). Freshwater bacterioplankton cultured from liver, kidney and lungs of a decomposed cadaver retrieved from a sandy seashore: possibility of drowning in a river and then floating out to sea. *Legal Medicine*, 12(4), 195-199. [Crossref]
- Karadayı, B., Karadayı, S., Sezgin, N. (2018). Presumptive and Confirmatory Tests Used In Identification of Biological Evidence and the Latest Developments in This Topic. *Türkiye Klinikleri Journal of Forensic Medicine and Forensic Sciences*, 5(2), 80-92. [Crossref]
- Karadayı, S. (2021). Assessment of the link between evidence and crime scene through soil bacterial and fungal microbiome: A mock case in forensic study. *Forensic Science International*, 111060. [Crossref]
- Karadayı, S., Arasoglu, T., Akmayan, İ., vd. (2021). Assessment of the exclusion potential of suspects by using microbial signature in sexual assault cases: A scenario-based experimental study. *Forensic Science International*, 325, 110886. [Crossref]
- Karadayı, S., Karadayı, B. (2021). Forensic Use of the Saliva Microbiome: Metagenomic Analysis Methods: Traditional Review. *Türkiye Klinikleri Journal of Forensic Medicine and Forensic Sciences*, 18(3), 260-73. [Crossref]
- Karadayı, B., Karaismailoğlu, B., Karadayı, S., Arslan, A., Gözen, E. D., & Özbek, T. (2023). The uselessness of using salivary microbiota in forensic identification purposes of a person with recent antibiotic use. *Legal Medicine*, 102338. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2023.102338>
- Kaszubinski, S. F., Pechal, J. L., Smiles, K., vd. (2020). Dysbiosis in the dead: human postmortem microbiome beta-dispersion as an indicator of manner and cause of death. *Frontiers in microbiology*, 11, 2212. [Crossref]
- Keet, J. H., Ellis, A. G., Hui, C., vd. (2019). Strong spatial and temporal

turnover of soil bacterial communities in South Africa's hyperdiverse fynbos biome. *Soil Biology and Biochemistry*, 136, 107541. [Crossref]

Kim, M., Morrison, M., Yu, Z. (2011). Evaluation of different partial 16S rRNA gene sequence regions for phylogenetic analysis of microbiomes. *Journal of microbiological methods*, 84(1), 81-87. [Crossref]

Kozich, J. J., Westcott, S. L., Baxter, N. T., vd. (2013). Development of a dual-index sequencing strategy and curation pipeline for analyzing amplicon sequence data on the MiSeq Illumina sequencing platform. *Applied and environmental microbiology*, 79(17), 5112-5120. [Crossref]

Kumar, P. S., Brooker, M. R., Dowd, S. E., vd. (2011). Target region selection is a critical determinant of community fingerprints generated by 16S pyrosequencing. *PLoS one*, 6(6), e20956. [Crossref]

Langdon, A., Crook, N., Dantas, G. (2016). The effects of antibiotics on the microbiome throughout development and alternative approaches for therapeutic modulation. *Genome medicine*, 8(1), 1-16. [Crossref]

Lax, S., Hampton-Marcell, J. T., Gibbons, S. M., vd. (2015). Forensic analysis of the microbiome of phones and shoes. *Microbiome*, 3(1), 1-8. [Crossref]

Lee, S. Y., Woo, S. K., Lee, S. M., vd. (2017). Microbiota composition and pulmonary surfactant protein expression as markers of death by drowning. *Journal of forensic sciences*, 62(4), 1080-1088. [Crossref]

Lloyd-Price, J., Mahurkar, A., Rahnavard, G., vd. (2017). Strains, functions and dynamics in the expanded Human Microbiome Project. *Nature*, 550(7674), 61-66. [Crossref]

Lucci, A., Campobasso, C. P., Cirnelli, A., vd. (2008). A promising microbiological test for the diagnosis of drowning. *Forensic science international*, 182(1-3), 20-26. [Crossref]

Lucci, A., Cirnelli, A. (2007). A microbiological test for the diagnosis of death by drowning. *Forensic science international*, 168(1), 34-36. [Crossref]

Luongo, J. C., Barberán, A., Hacker Cary, R., vd. (2017). Microbial analyses of airborne dust collected from dormitory rooms predict the sex of occupants. *Indoor air*, 27(2), 338-344. [Crossref]

Lutz, H., Vangelatos, A., Gottel, N., vd. (2019). Manner of death and demographic effects on microbial community composition in organs of the human cadaver. bioRxiv, 752576. [Crossref]

Marella, G. L., Feola, A., Marsella, L. T., vd. (2019). Diagnosis of drowning, an everlasting challenge in forensic medicine: review of the literature and proposal of a diagnostic algorithm. *Acta Med*, 35, 900-919.

Metcalfe, J. L., Parfrey, L. W., Gonzalez, A., vd. (2013). A microbial clock provides an accurate estimate of the postmortem interval in a mouse model system. *Elife*, 2, e01104. [Crossref]

Metcalfe, J. L., Xu, Z. Z., Bouslimani, A., vd. (2017). Microbiome tools for forensic science. *Trends in biotechnology*, 35(9), 814-823. [Crossref]

Metsalu, T., Vilo, J. (2015). ClustVis: a web tool for visualizing clustering of multivariate data using Principal Component Analysis and heatmap. *Nucleic acids research*, 43(W1), W566-W570. [Crossref]

Pasternak, Z., Al-Ashhab, A., Gatica, J., vd. (2013). Spatial and temporal biogeography of soil microbial communities in arid and semiarid regions. *PLoS One*, 8(7), e69705. [Crossref]

Pasternak, Z., Luchibia, A. O., Matab, O., vd. (2019). Mitigating temporal mismatches in forensic soil microbial profiles. *Australian Journal of Forensic Sciences*, 51(6), 685-694. [Crossref]

Pechal, J. L., Crippen, T. L., Benbow, M. E., vd. (2014). The potential use of bacterial community succession in forensics as described by high throughput metagenomic sequencing. *International journal of legal medicine*, 128(1), 193-205. [Crossref]

Pechal, J. L., Schmidt, C. J., Jordan, H. R., vd. (2018). A large-scale survey of the postmortem human microbiome, and its potential to provide insight into the living health condition. *Scientific reports*, 8(1), 1-15. [Crossref]

Phan, K., Barash, M., Spindler, X., vd. (2020). Retrieving forensic information about the donor through bacterial profiling. *International journal of legal medicine*, 134(1), 21-29. [Crossref]

Qian, X. B., Chen, T., Xu, Y. P., vd. (2020). A guide to human microbiome research: study design, sample collection, and bioinformatics analysis.

Chinese Medical Journal, 133(15), 1844. [Crossref] [Crossref]

Sanachai, A., Katekeaw, S., Lomthaisong, K. (2016). Forensic soil investigation from the 16S rDNA profiles of soil bacteria obtained by denaturing gradient gel electrophoresis.

Schloss, P. D., Westcott, S. L., Ryabin, T., vd. (2009). Introducing mothur: open-source, platform-independent, community-supported software for describing and comparing microbial communities. *Applied and environmental microbiology*, 75(23), 7537-7541. [Crossref]

Sender, R., Fuchs, S., Milo, R. (2016). Revised estimates for the number of human and bacteria cells in the body. *PLoS biology*, 14(8), e1002533. [Crossref]

Singh, B., Minick, K. J., Strickland, M. S., vd. (2018). Temporal and spatial impact of human cadaver decomposition on soil bacterial and arthropod community structure and function. *Frontiers in microbiology*, 8, 2616. [Crossref]

Sitthiwong, N., Ruangyuttikarn, W., Vongvivach, S., vd. (2014). Detection and identification of diatoms in tissue samples of drowning victims. *Chiang Mai J Sci*, 41(5.1), 1020-1031.

Stackebrandt, E., & Goebel, B. M. (1994). Taxonomic note: a place for DNA-DNA reassociation and 16S rRNA sequence analysis in the present species definition in bacteriology. *International journal of systematic and evolutionary microbiology*, 44(4), 846-849.

<https://doi.org/10.1099/00207713-44-4-846>

Takehita, T., Kageyama, S., Furuta, M., vd. (2016). Bacterial diversity in saliva and oral health-related conditions: the Hisayama Study. *Scientific reports*, 6(1), 1-11. [Crossref]

Thompson, L. R., Sanders, J. G., McDonald, D., vd. (2017). A communal catalogue reveals Earth's multiscale microbial diversity. *Nature*, 551(7681), 457-463.

Tridico, S. R., Murray, D. C., Addison, J., vd. (2014). Metagenomic analyses of bacteria on human hairs: a qualitative assessment for applications in forensic science. *Investigative genetics*, 5(1), 1-13. [Crossref]

Uchiyama, T., Kakizaki, E., Kozawa, S., vd. (2012). A new molecular approach to help conclude drowning as a cause of death: simultaneous detection of eight bacterioplankton species using real-time PCR assays with TaqMan probes. *Forensic science international*, 222(1-3), 11-26. [Crossref]

Üstek, D., Abacı, N., Sırma, S., vd. (2011). Yeni nesil DNA dizileme. *Deneysel Tıp Araştırma Enstitüsü Dergisi*, 1(1), 11-18.

v. Wintzingerode, F., Göbel, U. B., vd. (1997). Determination of microbial diversity in environmental samples: pitfalls of PCR-based rRNA analysis. *FEMS microbiology reviews*, 21(3), 213-229. [Crossref]

Virkler, K., Lednev, I. K. (2009). Analysis of body fluids for forensic purposes: from laboratory testing to non-destructive rapid confirmatory identification at a crime scene. *Forensic science international*, 188(1-3), 1-17. [Crossref]

Voloshynovych, V. M., Kasala, R. O., Stambulska, U. Y., vd. (2019). Determination the presence of amplification products of 16s rRNA microcystis aeruginosa as a biomarker of drowning. *Rom. J. Leg. Med*, 27, 16-21. [Crossref]

von Wintzingerode, F., Rainey, F. A., Kroppenstedt, R. M., & Stackebrandt, E. (1997). Identification of environmental strains of *Bacillus mycoides* by fatty acid analysis and species-specific 16S rDNA oligonucleotide probe. *FEMS microbiology ecology*, 24(3), 201-209.

<https://doi.org/10.1111/j.1574-6941.1997.tb00437.x>

Watanabe, H., Nakamura, I., Mizutani, S., vd. (2018). Minor taxa in human skin microbiome contribute to the personal identification. *PLoS one*, 13(7), e0199947. [Crossref]

White, J. R., Nagarajan, N., Pop, M. (2009). Statistical methods for detecting differentially abundant features in clinical metagenomic samples. *PLoS computational biology*, 5(4), e1000352. [Crossref]

Williams, D. W., Gibson, G. (2017). Individualization of pubic hair bacterial communities and the effects of storage time and temperature. *Forensic Science International: Genetics*, 26, 12-20. [Crossref]

Xia, Y., Sun, J. (2017). Hypothesis testing and statistical analysis of microbiome. *Genes & diseases*, 4(3), 138-148. [Crossref]

Xia, Y., Sun, J., Chen, D. G. (2018). Introductory overview of statistical analysis of microbiome data. *Statistical Analysis of Microbiome Data with R*, 43-75. [\[Crossref\]](#)

Young, J. M., Austin, J. J., Weyrich, L. S. (2017). Soil DNA metabarcoding and high-throughput sequencing as a forensic tool: considerations, potential limitations and recommendations. *FEMS microbiology ecology*, 93(2). [\[Crossref\]](#)

Young, J. M., Rawlence, N. J., Weyrich, L. S., vd. (2014). Limitations and recommendations for successful DNA extraction from forensic soil samples: a review. *Science & Justice*, 54(3), 238-244. [\[Crossref\]](#)

Young, J. M., Weyrich, L. S., Breen, J., vd. (2015). Predicting the origin of soil evidence: High throughput eukaryote sequencing and MIR spec-

troscopy applied to a crime scene scenario. *Forensic Science International*, 251, 22-31. [\[Crossref\]](#)

Yu, Z., Morrison, M. (2004). Comparisons of different hypervariable regions of rrs genes for use in fingerprinting of microbial communities by PCR-denaturing gradient gel electrophoresis. *Applied and environmental microbiology*, 70(8), 4800-4806. [\[Crossref\]](#)

Zhang, Y., Pechal, J. L., Schmidt, C. J., vd. (2019). Machine learning performance in a microbial molecular autopsy context: a cross-sectional postmortem human population study. *PLoS one*, 14(4), e0213829. [\[Crossref\]](#)

Zhou, W., Bian, Y. (2018). Than a to microbiome composition profiling as a tool for forensic investigation. *Forensic sciences research*, 3(2), 105-110. [\[Crossref\]](#)

BÖLÜM 5

ADLI VİROLOJİ

Yeşim TOK
Seda SALMAN YILMAZ

Adli Viroloji

Forensic Virology

BÖLÜM HAKKINDA

Adli olayların çözümlenmesi ve doğru karara ulaşılması için tıp, psikoloji, tıbbi biyoloji, biyokimya, matematik gibi farklı bilim dallarının dahil edildiği multidisipliner bir yaklaşım gereklidir. Adli mikrobiyoloji-virolojiden, suç olaylarının aydınlatılmasında sıklıkla yararlanır. Şüpheli/mağdur ya da suç ile bağın ortaya konması, suçlunun kimliğinin belirlenmesi, şüpheli ölümlerin belirlenmesi, cinsel saldırı sonucu bir hastalık bulaştığında, viral hastalığın karakteristik özellikleri ile enfeksiyon kaynağının belirlenmesi ayrıca virüslerin biyolojik silah olarak kullanılabilme potansiyelleri nedeniyle biyoterörizm vakalarının araştırılması gibi geniş bir yelpazede viroloji bilimi adalete hizmet eder. Günümüzde, gelişen bilimsel tanı teknolojileri sayesinde, elektron mikroskopik incelemelerden hücre kültürüne, viral genomunun dizi analizi yapılarak filogenetik profilinin oluşturulmasına kadar bir çok laboratuvar tanı aracından bu amaçla faydalanılmaktadır. Virüs mühendisliği ve rekombinant DNA teknolojisindeki ilerlemeler de yine adli tıba yardımcı olabilmesi açısından ümit vaatmektedir.

Anahtar kelimeler: Adli, viroloji, suç, dizi analizi, filogenetik

ABOUT the CHAPTER

A multidisciplinary approach, including different branches of science such as medicine, psychology, medical biology, biochemistry and mathematics, is required to analyze forensic cases and reach the right decision. Forensic microbiology-virology are frequently used to elucidate criminal events. Virology science serves justice in a wide range of areas, such as revealing the connection between the suspect/victim or the crime, determining the identity of the criminal, suspicious deaths, the source of infection with the characteristic features of the viral disease when a disease is transmitted as a result of sexual assault, and investigating bioterrorism cases due to the potential of viruses to be used as biological weapons. Today, thanks to developing scientific diagnostic technologies, many laboratories diagnostic tools are used for this purpose; from electron microscopic examinations to cell culture, to creating a phylogenetic profile by sequence analysis of the viral genome. Advances in virus engineering and recombinant DNA technology are also promising in terms of aiding Forensic Medicine.

Keywords: Forensic, virology, crime, sequence analysis, phylogenetic

Giriş

Adli olayların araştırılmasında ve çözüme ulaştırılmasında bilimsel bilgi ve teknolojilerin kullanımı adli bilimler olarak tanımlanır. Çoğu adli olay biyoloji, tıp, psikoloji, kimya, matematik gibi birçok alt kategoriyi içeren multidisipliner yaklaşım gerektirirken, hangi bilim dallarından yararlanılacağını suç ve suçun işlendiği koşullar belirler. 21. yüzyılın ilk yirmi yılında moleküler teknolojilerde kaydedilen hızlı gelişmeler sayesinde en küçük organik yapıtaşlarının moleküler konfigürasyonu çözümlenebilir hatta laboratuvar ortamında yeniden dizayn edilebilir hale gelmiştir. Bu sebeple, adli mikrobiyoloji ve onun bir dalı olarak da adli viroloji günümüzde daha sık olarak suç olaylarına konu olabilmekte failin tanımlanması, suç mahalının tespiti ve suçlu-kurban ilişkisi gibi temel soruların yanıtlanmasında adalete hizmet etmektedir. Bu bölümde virüslerin genel tanımı, viral enfeksiyonların oluşumu, adli viroloji, virüslerin moleküler epidemiyolojisi ve virüslerin tanımlanmasında kullanılan yöntemlerden bahsedilecektir.

Adli Viroloji

Bazı olguların aydınlatılmasında, şüpheli/mağdur ya da suç ile bağın ortaya konması, suçlunun kimliğinin belirlenmesi, şüpheli ölümlerin belirlenmesi, suçluların izlenmesi gibi geniş kapsamda viroloji bilim dalından yararlanır. Ayrıca virüsler biyolojik silah olarak kullanılabilirdiği için bu biyopatojenlerin genetik materyalinin ve replikasyonunun anlaşılması ile bulaşmanın nedeni ve kaynağı belirlenebilir (Gunn, 2009). Örneğin; Variola virüsünün neden olduğu çiçek hastalığı, her ne kadar dünya genelinde kalıcı olarak



Yeşim Tok¹

Seda Salman Yılmaz^{2,3}

¹ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Tıbbi Mikrobiyoloji Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

² İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksek Okulu, Tıbbi Hizmetler ve Teknikler Bölümü, Tıbbi Görüntüleme Teknikleri Programı, Türkiye

³ İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Cerrahpaşa Tıp Fakültesi, Tıbbi Genetik Ana Bilim Dalı, İstanbul, Türkiye

E-posta: dr.yesimtok@gmail.com.tr
salmanseda@gmail.com

Bu bölümü alıntıla / Cite this chapter as:
Tok, Y., Salman Yılmaz, S. (2024). Adli viroloji. G. Filoğlu & Ö. Bülbül (Ed). *Adli biyoloji: Doğanın izleriyle adaletin peşinde* / içinde (s. 108-117). İstanbul: İÜC Üniversite Yayınevi.



CC BY 4.0: Telif hakkı yazarlardadır. Bu kitabın içeriği Creative Commons Atıf 4.0 Uluslararası lisans altında lisanslanmıştır.

sona ermiş (eradikasyon) olsa da yüksek derecede bulaşıcı oluşu, direkt temas veya aerosol yoluyla kolayca yayılabilmesi nedeniyle, viral etkeni halen potansiyel bir biyolojik silahtır. Genetik mühendislik teknikleriyle virülansı artırılabilir ya da terör amaçlı laboratuvarlarda *de novo* sentezlenebilir. Ebola virüsü de Afrika kıtasındaki şiddetli yayılışı ile biyolojik silah listesinin başında yer alan diğer bir viral ajandır. Bu son derece patojenik viral etkenlerin kültürde üretilmesi ve çoğaltılması özel tesis, yüksek maliyet ve büyük destek gerektirir. Biyolojik etkenlerle gerçekleşen kriminal olaylarda daha çok insan hedefleri üzerine odaklanılsa da ziraat ve hayvancılığın hedef alınmasının da besin kaynaklarının bozulmasıyla büyük ekonomik kayıplara neden olabileceği unutulmamalıdır.

Geyik, bizon, mink, yaban domuzu gibi yaban yaşam türlerinin izinsiz avlanması ya da onların ekosistemlerine yapılan kontrolsüz müdahaleler nedeniyle viral patojenler (Ebola virüsü, hemorajik ateş virüsleri, ensefalit virüsleri, Hanta virüsü, Nipah ve Hendra virüsleri gibi) için rezervuar olan yarasa, şempanze, yılan, ısırıcı böcekler gibi türlerden insanlara zoonotik hastalıklar bulaşabilmekte ve salgınlara neden olabilmektedir.

Virüslerin adli olgularda incelenmesi, suç soruşturmalarında farklı bakış açılarının kazanılmasına yardımcı olmuştur. Cinsel saldırı sonucu bir hastalık bulaştığında, viral hastalığın karakteristik özellikleri ve bulaşan virüsün filogenetik profili, enfeksiyon kaynağının belirlenmesine ve saldırgan ile kurban arasında bağlantı kurulmasına yardımcı olabilir. Bugüne kadar bildirilen vakalar, insan bağışıklık yetmezliği virüsü (Human Immunodeficiency Virus-HIV) bulaşı üzerinden izin sürülmesi şeklinde olmuştur. HIV genomunun dizi analizi yapılarak ve filogenetik profile oluşturularak failin belirlenmesi mümkün olabilmektedir.

Viroloji, ayrıca şüpheli ölüm durumlarında kişinin kimliğinin belirlenmesine de yardımcı olabilir. Örneğin, Epstein-Barr virüsü (EBV), hepatit B virüsü (HBV), BK polyomavirüs (BKV) ve John Cunningham virüsü (JCV) gibi coğrafi bölgeler arasında genetik değişkenlik sergileyen virüsler, bireyin doğum yerinin belirlenmesine yardımcı olur. Polyomaviridae familyasına ait BKV ve JCV, %75 benzer gen dizisine sahiptir ve ancak %25'lik kısmı değişkenlik gösterir ki, bu da tanımlamaya yardımcı olur. Bu virüslerin diğer bir özelliği de böbrek tropizmi göstermeleridir. Böbrek, yumuşak dokular arasında en son çürüyen ve yanmış cesette bile korunma eğiliminde olan bir organ olduğu için adli açıdan önemlidir (Siegel, vd., 2000).

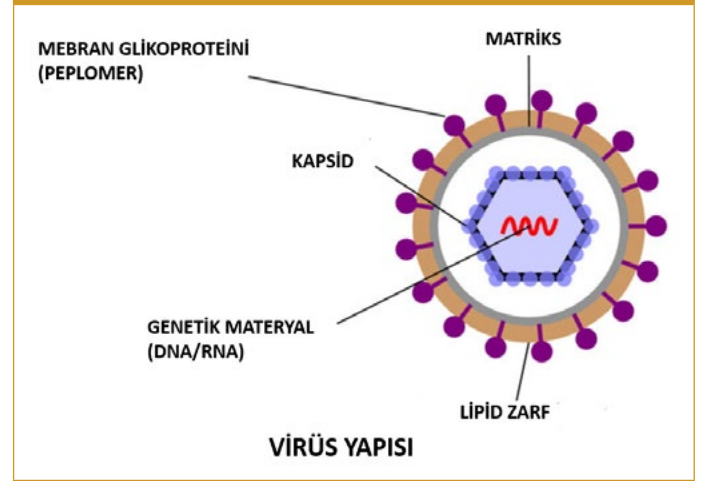
Viral enfeksiyonlar, suçta sürükleyen çeşitli davranışlar üzerinde de etkilidirler (Saferstein, 1998). Beyni etkileyen herhangi bir viral enfeksiyon, santral sinir sistemi semptomlarını indükleyebilir ya da doğum öncesi dönemde kızamıkçık veya influenza virüsleriyle enfekte olmuş kişilerde, erişkinlik döneminde şizofreni gibi kalıcı beyin bozukluklarına neden olabilir. Beyin ve omurilik inflamasyonu giden ve salgınlara sebep olan letarjik ensefalit, çocuklarda çeşitli davranış sorunları ve yetişkinlerde de sinir-kas hastalıkları ve psikolojik bozukluklarla karşımıza çıkabilmektedir (Li R, 2008).

İnsanlarda Virüs Enfeksiyonu Oluşumu

Virüsler moleküler patojenlerdir. Kendi metabolizmalarına sahip değildir ve bu sebeple moleküler parazit olarak da bilinirler. Doğada her yerde bulunabilir ve insan dışında hayvan, bitki ve bakterileri de enfekte ederek tüm biyolojik çevreyi

etkileyebilmektedirler. Tek veya çift iplikli RNA ya da DNA virüsleri tüm makro molekülleri kodlayabilir. Günümüzde moleküler tekniklerle kaydedilen gelişmeler sayesinde birçok virüsün tüm genetik dizileri ortaya konabilmiştir. Viral genomlar, kapsid olarak adlandırılan bir protein kılıf içinde paketlenmiştir. Kapsid proteinleri, genellikle virüs ailesine bağlı olarak ikozahedral, helikal veya kompleks simetride olan kılıfı oluşturmak üzere birleşirler. Kapsidin görevleri, genomun paketlenmesi, genomun çevresel zararlardan korunması ve nükleik asitlerin canlı hücre içerisine etkili bir biçimde salınmasını sağlamaktır. Birçok RNA ve bazı DNA virüsleri konak hücrelerden kazanmış olduğu bir lipid zarfla kaplıdır. Zarflı virüslerin membranları, viral tropizme yardım edecek olan virüse özgü glikoproteinler içermektedir (Şekil 1).

Şekil 1
Şematik virüs yapısı



Virüslerden daha basit sadece RNA içeren viroid olarak adlandırılan moleküler patojenler de bulunmaktadır. Viroidler, herhangi bir protein kodlamaksızın bitkileri öldürebilecek özellik gösterirler. Prion adı verilen ve sadece proteinden oluşan diğer bir patojen yapı, insanlarda spongiform ensefalopatiler olarak adlandırılan dejeneratif nörolojik hastalıklara neden olurlar.

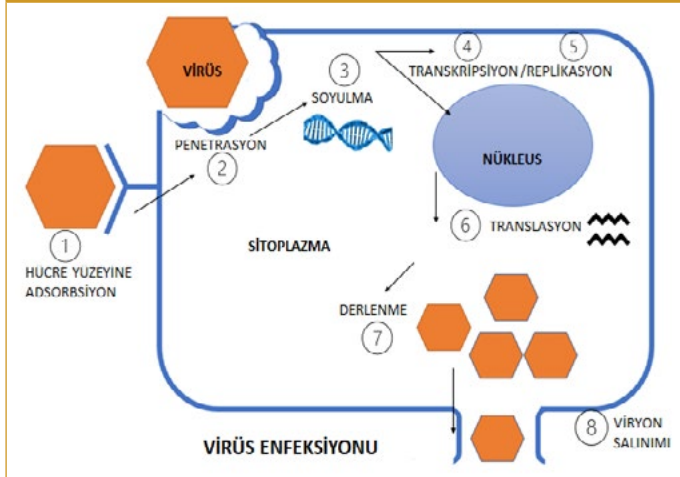
Bir ökaryotik hücrede meydana gelen viral enfeksiyonda sırasıyla şu basamaklar gerçekleşir (Şekil 2);

- **Birinci basamakta** viryon proteinlerinin spesifik hücrel reseptörler ve bazı durumlarda koreseptör moleküller ile olan etkileşimi doğrultusunda hücre yüzeyine adsorpsiyonu görülür. Bu aşamada virüsler spesifik olarak ve sıkı bir şekilde proteinlerle (HIV ve CD4 vb.), karbonhidratlarla (influenza virüsü ve sialik asit gibi) ve lipidlerle (parvovirüs B19 ve globosid vb.) etkileşime girerler. Virüs-reseptör etkileşimi büyük oranda birçok virüsün tropizmini belirler. Bu etkileşimin önlenmesi, immün sistem tarafından üretilen nötralize edici antikorların hedefidir.
- İkinci basamakta hücre yüzeyine viral penetrasyon gerçekleşir. Bu, direkt membran füzyonu veya endositozla yapılabilir.
- Üçüncü basamak, viral genomun hücre içerisinde soyulmasıdır. Birçok durumda, soyulma; viral yüzey proteinlerinin yapısal olarak yeniden düzenlenmelerine neden olacak şekilde endositik veziküllerin içerisindeki pH değişikliklerine bağlı olarak gerçekleşir.

- **Dördüncü basamak** transkripsiyon/gen ekspresyonudur. Birçok virüs, soyulmayı takiben hemen aktif olarak genomlarını eksprese etmek üzere tasarlanmışlardır. Bu durum viral polimerazların paketlenmesi, transkripsiyonel transaktivasyon proteinlerinin paketlenmesi veya üretilmesi gibi birçok stratejiyle gerçekleşebilir ve bu aşamada birçok viral genom doğrudan mRNA olarak görev yapabilir.
- **Beşinci basamak** viral genomun replikasyonudur. Viral kodlanmış proteinler, birçok virüs için bu basamakta anahtar rol oynadığından bu basamak antivirallerin geliştirilmesinde hedef olmuştur.
- **Altıncı basamak** protein translasyonudur. Birçok virüs, enfeksiyon sonrası erken veya geç aşamalarda farklı protein dizilerini sentezler. Erken sentezlenenler, genellikle virüsün hücresel mekanizmaları kullanmasını sağlayan proteinlerden oluşur. Geç sentezlenenler ise viriyonun yapısal proteinleridir.
- **Yedinci basamak**, viral genomlarının paketlenmesidir. Viral kapsitler birçok durumda kendi kendine oluşurlar ve genomik nükleik asit uygun bir şekilde içine sokulur.
- **Sekizinci basamak**, viryonların hücreden salınımıdır. Zarflı virüsler için bu, tomurcuklanmayı ve çift katmanlı lipid membran kazanımını da içermektedir (Louten, 2016).

Şekil 2

Virüsün hücreyi enfekte etme aşamaları



Virüslerin içinde buldukları koşullara uyum sağlamak için, kendilerine özgü genetiklerini hızlı değiştirme özellikleri vardır.

- Bunların **ilk örneği**, hücre kültüründe pasajı yapılan virüslerin in vitro şartlarda kolaylıkla üremeye adapte olmalarıdır. Bu adaptasyon farklı yeni genetik özellikler kazanmalarına neden olur.
- **İkinci olarak**, segmentli genoma sahip iki veya daha fazla virüsün birlikte enfeksiyonu bazı virüslerde segmentlerin yeniden düzenlenmesine neden olabilir. Bu durum, oluşan yeni virüslerin patojenitesinde anlamlı değişikliklere neden olabilir.
- **Üçüncü olarak**, DNA virüsleri nükleotid başına 10⁻⁸-10⁻¹¹ oranında mutasyon oranına sahipken, RNA virüslerinin mutasyon oranı çok daha yüksektir (10⁻³-10⁻⁴). Bu durum, virüslerin genomlarını kopyalarken meydana gelen hataları düzeltme aktivitelerini kaybetmeleri ve hata yapmaya-mutasyona yatkın hale gelmeleri ile ilişkilidir.
- **Dördüncü olarak**, virüsler fenotipik karışım ya da pseudotip oluşturabilirler. Bu durum, farklı iki virüsün enfeksiyonunda

meydana gelebilir ve iki virüsten birinin genomu diğer virüsün kapsidi ile çevrilerek yeni bir virüsü oluşturur.

- **Son olarak**, birçok virüs kendi yaşam sikluslarının normal bir parçası olarak defektif virüsler oluştururlar. Bu durum, virüs kültüründe düşük sayıda plak oluşumu ile sonuçlanır. Birçok yabancı tip RNA virüsü için, virüsün replikasyonunda defektif partiküllerin doğal olarak oluştuğu bilinmektedir. İnterferens yapan bu partiküller enfeksiyonun gidişatının daha az şiddetli olmasına neden olurken diğer yandan immün sistemi daha az uyarak dirençli enfeksiyonların oluşmasına sebep olabilirler (Louten, 2016).

Virüs Enfeksiyonlarının Tanısı

Bir hücrenin virüsle enfekte olup olmadığını belirlemek için virüsün bazı özelliklerinden ve meydana getirdiği etkilerden yararlanılabilir:

İlk olarak birçok viral enfeksiyon hücrelerde; yuvarlaklaşma, büyüme, agregasyon, lizis veya hücre-hücre füzyonu gibi sitopatik etkiler oluşturur. Bu etkiler, büyük oranda spesifik viral proteinlerin ekspresyonuna veya enfeksiyon sürecinde konak hücre makromolekülerinin sentezinin durmasına neden olur.

İkinci olarak, viral replikasyonun fokal belirtileri ve bazı virüslerde meydana gelen bir araya gelme yani inklüzyon cisimcikleri oluşumudur. Örneğin, kuduzda virüsle enfekte hücrelerde gözlenen negri cisimcikleri gibi.

Üçüncü olarak, enfekte bir hücrenin yüzeyinde eksprese edilen viral proteinler bazen alyuvarlara bağlanabilirler. Bu olay hemadsorpsiyon olarak adlandırılır ve bir ışık mikroskopunda gözlenebildiğinden tanıda anlamlıdır. Eğer bir viral enfeksiyon belirgin sitopatik etki göstermiyorsa bu teknikten yararlanılabilir. Virüsün gen ürünlerini direkt olarak tespit etmek için ise western-blot, immunofluoresans veya enzim-linked immunosorbent deneyleri (ELISA) kullanılır.

Son olarak, virüse spesifik primerler kullanılarak, yapılan polimeraz zincir reaksiyonu (PCR) ile enfekte dokudaki virüs varlığı (gereğinde kantitatif olarak da) gösterilebilir.

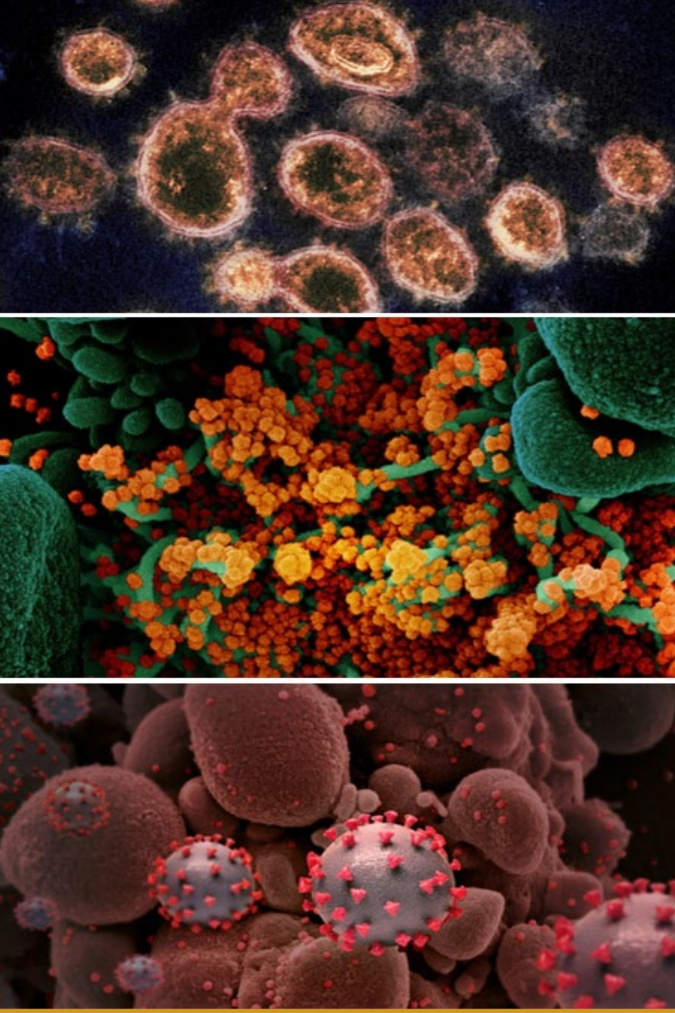
Bir örnekteki, virüs kantitasyonu PCR yöntemi dışında fiziksel ya da biyolojik testlerle de yapılabilir. Elektron mikroskobu, hemaglutinasyon testleri ve ELISA testleri (RIA'lar) gibi yaklaşık partikül sayımı kullanan metodlar bir örnekte bulunan viral partiküllerin yaklaşık olarak total sayısını verebilirler. Ancak gerçekte virüsler için biyolojik olarak aktif olan partiküller bu ölçülen sayının çok daha düşük bir kısmıdır. Bu yüzden biyolojik olarak aktif viral moleküllerin ölçümünde altın standart kabul edilen bir yöntem daha ihtiyaç duyulur. Bu yöntem biyogüvenlik düzeyi üç (BSL III) laboratuvar koşulları gerektiren ve seri dilüsyonlarda uygulanan, plak redüksiyon nötralizasyon testi (PRNT) dir.

Virüs Örneklemesi

Örnek tipleri ve örneğin alınma şekli, tanı laboratuvarlarının kapasitelerine bağlıdır. Aktif bir virüs örneğinin elde edilebilme şansı birçok faktöre bağlıdır. Hastalığın gelişimi sürecinde vücuttaki virüs konsantrasyonu değişmektedir ve hasta, semptomlar nedeniyle sağlık kuruluşuna başvurduğunda hastalık bölgesinde

Şekil 3

Hücre kültüründe çoğalan SARS-CoV-2'nin elektron mikroskopik görüntüleri



Açıklama notu. NIH. Novel coronavirus sarscov2. <https://www.niaid.nih.gov/news-events/novel-coronavirus-sarscov2-images> kaynağından alınmıştır.

virüs miktarı saptanabilir düzeyin altına inmiş olabilir hatta bulunmayabilir. Bu yüzden, zamanında ve doğru vücut bölgelerinden mümkünse çoklu örneklem yapmak önemlidir. Hastalık bölgesi dışındaki klinik örnekler genellikle virüsle uyarılmış bölgelerden veya virüsün vücutta bilinen yayılım yolları temel alınarak toplanmalıdır. Solunum sistemi enfeksiyonları için nazofaringeal sürüntü örnekleri ve bronşiyal lavaj sıvıları sıklıkla kullanılır. İdrar ve dışkı örnekleri, enterik hastalıklar için uygunken, nörolojik semptomlar mevcut ise beyin-omurilik sıvısı alınmalıdır. Virüsler pH ve sıcaklık değişimlerine, direkt güneş ışığına hassastır ve nükleik asit degradasyonuna neden olacak bu etkenlerden örnekleri korumak gereklidir. Örnekler mümkün olduğunca kısa sürede ve soğuk zincirde tanı laboratuvarına ulaştırılmalıdır [Loeffelholz, 2016].

Virüslerin Tanımlanmasında Elektron Mikroskopu Kullanımı

Virolojinin ilk dönemlerinde, araştırmacılar ve klinisyenler virüsü sadece enfektivitesini ve ilişkili patolojisini temel olarak tanımlayabiliyorlardı. Virüsler çok küçük moleküller olmaları nedeniyle çok iyi bir şekilde tanımlanamıyordu. Mantar, bakteri, küf ve sporların tanımlanması kullanılan ışık mikroskopu, virüs

partiküllerinin gösterilmesinde yeterli çözünürlükte değildir. Elektron mikroskopu (EM) ise görüntü oluşturmak için elektronları kullanmaktadır. Cihaz, sadece büyütmeyle (1.000.000 X'e kadar) kalmaz, böylesi büyütmelede ince yapıyı da gösterebilmektedir. Virüs morfolojisi diğer mikroskopik organizmalardan farklıdır. Bu yüzden, elektron mikroskopik görüntüleri temel alınarak iç ve dış yapılarına göre tanımlanabilmektedirler. Partikül morfolojisi, mermi şeklinde (kuduz virüsü), çomak şeklinde (kızamık), küre şeklinde (poliovirüs) ve filaman şeklinde (Ebola virüsü) gözlenebilir. Birçok virüs EM altında pleomorfik olarak adlandırılan değişken morfolojiye sahiptir. İnfluenza A virüsü pleomorfik yapıya sahip olup, fasulye veya filamantöz şeklinde görülebilmektedir. Bazı virüsler çok karakteristik olan viral zarflarında, çomak veya dikensi yapıda çıkıntılara sahiptirler. Dikensi çıkıntılarıyla en iyi bilinen virüs SARS-CoV-2 virüsüdür (Şekil 3).

Virüsün Saf Olarak İzole Edilmesi

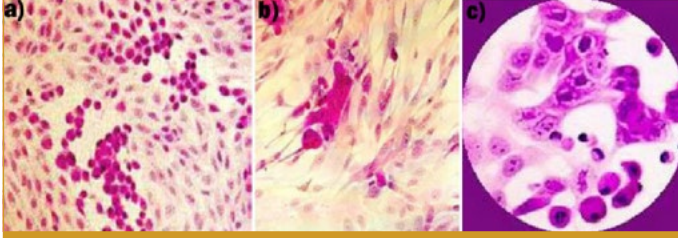
Laboratuvarlarda ilk virüs kültürleri, insan örneklerinin direkt olarak duyarlı hayvanlara veya embriyonlu yumurtalara verilmesiyle yapılmıştır. Doku kültürleri, virüslerin izolasyonu, sayımı ve daha ileri analizler için çoğaltılarak büyük stoklar oluşturulması amacıyla kullanılmaktadır. Hayvan dokularından üretilen primer hücre dizileri, sonsuz pasaj yapılabilme kapasitelerine sahiptir. İnsan örnekleri, hücre kültürüne ekilmeden önce homojen hale getirilir ve antibiyotiklerle muamele edilirler. Virüs ekimi sonrası hücreler tespit edilebilecek herhangi bir morfolojik değişiklik açısından gözlenir ve diğer serolojik deneyler için periyodik olarak toplanır. Bazı virüsler için spesifik kültür koşulları bulunmaktadır. Örneğin, konjunktiva, nazal ve solunum sistemden izole edilen virüsler, vücut dışındaki düşük sıcaklıklarda inkübe edilirler; füzyon proteinleri yoluyla hücrelere giren virüsler ise, çoğalabilmek için kültür ortamına tripsin eklenmesine ihtiyaç duyarlar. Bazı virüslerin hücre kültürleri yapılamaz ve bunların klinik örneklerinin eğitimli personel tarafından yenidoğan farelere enjekte edilmesine ihtiyaç duyulur. Tüm-organ kültürünün kullanımı da yapılan diğer hücre kültür yöntemlerindedir. Bazı virüslerin kültürü daha zordur; örneğin, hepatit C virüsü sadece şempazelerde üreyebilmektedir [Cann, 2014].

Virüslerin Oluşturdukları Sitopatik Etkiye Göre Tanımlanması

Bir virüs, karakteristik sitopatik hasar oluşturarak enfekte bir hücreyi öldürebilir veya gözlenen bir etki olmaksızın hücrelerde çoğalabilir. Bir virüs tarafından indüklenen değişiklikler virüs tipi için belirgin bir özellik gösterebilir ve bu ışık mikroskopunda gözlenebilir (Şekil 4). Sitopatik etki (SE) fokal veya tek tabakalı hücrede diffüz olabilir. Hücrelerin yuvarlaklaşmış veya genişlemiş, üzüm salkımları şeklinde görülmeleri, adenovirüs veya herpesvirüsleri işaret etmektedir. İnfluenza ve kabakulak virüsleri, hücrelerin birbirleriyle kaynaşmasına neden olarak sinsisyum oluşmasına neden olurlar. Kızamık enfeksiyonlarında tipik olarak birleşen hücreler granüler sitoplazmalı, çok nükleuslu dev hücreleri oluştururlar. Vaccinia ve poxvirüsler birleşmiş hücre odakları oluştururlarken, picornavirüsler sitoplazmadaki membranların proliferasyonunu indüklerler ve nükleusların büzülmesine (piknosis) neden olurlar. Bununla beraber, Bunyaviridae, Arenaviridae ve Retroviridae'nin üyeleri olan birçok virüs SE oluşturmaz ve kültürde herhangi gözlenebilir bir değişim oluşturmadan çoğalabilirler.

Şekil 4

Hücre kültüründe herpes simplex virüsü-HSV (a), sitomegalovirüs-CMV (b) ve adenovirüse (c) bağlı görülen sitopatik etki



Açıklama notu. Dilnessa, T., & Zeleke, H.A., 2017, Cell Culture, Cytopathic Effect and Immunofluorescence Diagnosis of Viral Infection. J Microbiol Modern Tech 2(1), 102 kaynağından alınmıştır.

Serolojik/İmmünolojik Tanı

Antikor-antijen spesifik bağlanma özelliğinden, mikrobiyolojinin tüm alanlarında olduğu gibi virüs tanısında da sıklıkla yararlanılmaktadır. Rekombinant virüs proteinlerine ve enfekte hücrelerde üretilmiş virüslere karşı poliklonal ve monoklonal antikorlar elde edilebilir. Hücre kültüründe üretilen virüs süpernatantı virüs antijenleri olarak kullanılabilir. Enfekte hücre kültürleri, hasta serumundaki anti-viral reaktiviteyi göstermede kullanılabilir. E. coli ve baculovirüs ekspresyon sistemlerinde üretilmiş olan rekombinant virüs proteinleri de insan serumu, BOS (beyin-omurilik sıvısı) ve dokularındaki antikorları tespit etmek için antijen olarak kullanılır. Ayrıca, hücre kültüründe enfekte hücrelerle reaksiyona girdiği ispatlanmış konvelasan serum, ek testler için gerekli antikor kaynağı olarak kullanılır.

Enzim-bağlı İmmunosorbent Testi

Enzim-bağlı immunosorbent testi (ELISA) çok sayıda örneğin hızlı bir şekilde virüs antijen ve antikorları için taranmasına olanak sağlar. Viral tanı laboratuvarlarında en yaygın kullanılan serolojik test ELISA yöntemidir. Genel prosedür virüs antijenlerinin veya virüse-spesifik antikorların katı bir yüzeyde tutulması ve bağlı kompleksin bir substratla birleştirilmesidir. IgM ve IgG antikorlarının tespiti için spesifik olan ELISA testi kullanılarak, yakın veya daha önceki zamanda virüsle karşılaşmaya bağlı gelişen bağışıklık yanıtı ile aşılana bağlı elde edilen bağışıklık ile ayırt edilmektedir (Örn; anti-HBs ve anti-HBc antikorlarının saptanması). Virüs antijenlerinin varlığı, akut bir enfeksiyonu göstermektedir. Mikrotitrasyon plağında, serolojik titreyi tespit etmek için farklı antikor dilusyonlarıyla hasta örnekleri test edebilir. Akut bir enfeksiyonun seyri sırasında hasta serumunun ardışık olarak çalışılmasıyla, serumdan antijenlerin yerini özgül antikorların aldığı dönem (serokonversiyon) gösterilebilir. IgG antikor titrelerinin 2 haftalık bir süreç içerisinde 2-4 kat artışı, aktif bir primer enfeksiyonun göstergesidir. ELISA testi, aşılama programlarının etkisini ölçmek ve yeni tanımlanmış bir virüse daha önceden maruz kalınıp kalınmadığını tespit etmek için serolojik taramalarda sıklıkla kullanılmaktadır.

Nötralizasyon Deneyi

Bir enfeksiyon sırasında oluşmuş olan antikorlar büyük oranda virüse bağlanma ve enfektiviteyi azaltma yeteneğine sahiptirler. Bu koruyucu, nötralize edici antikorlar virüsün yüzeyindeki epitopları tanırlar ve virüsün bir hücreyi enfekte etmesini engellerler.

Nötralize edici antikorlar sık olarak virüsleri serogruplara ayırmak için kullanılır. Birbirine yakın virüs aileleri benzer zarflara sahiptir ve grup nötralize edici antikorlarla çapraz-reaksiyon verirler. Bir nötralizasyon deneyinde, nötralize edici antikorların dilüsyonları virüsle karıştırılır ve hücreleri enfekte etme yüzde oranları test edilir. Bilinmeyen bir virüs bilinen bir serogruptan antikorlarla çapraz-reaksiyon gösterebilir. Bu da antijenik bir ilişkiyi ve genetik tanımlama için başlangıç ipucunu gösterir. Sonraki aşamada daha spesifik ve odaklanmış deneyler, virüsü tanımlamada kullanılabilir.

Hemaglutinasyon Deneyi

Hemaglutinasyon deneyinde virüslerin eritrositlere bağlanma ve onları çöktürme yeteneği gösterilir. Virüs, bir eritrosit süspansiyonu ile seri dilüsyonlar şeklinde karıştırılır ve U-tabanlı kuyucuklara sahip bir mikrotitrasyon plağına konulur. Absorbe olmayan eritrositler nokta oluşturacak şekilde kuyucuğun dibine çökerken, agregat olmuş eritrositler kuyucuğun dibini yaygın şekilde kaplar. Hemaglutinasyon inhibisyon deneyinde ise, bir virüs ailesi için spesifik antikorlar kullanılır ve eritrositlerin agregasyonu önlenir. Eritrositlere bağlanma yeteneği olan virüs ailelerini sınıflandırmak için kullanılır.

Kompleman Fiksasyon Deneyi

Kompleman fiksasyon deneylerinde bilinen virüse-spesifik antikorlardan ziyade bilinen virüse-spesifik antijenler kullanılmaktadır. Antijen-antikor arası etkileşimler, komplemanın tespitine ve sonuçta eritrosit membranının lizisine neden olmaktadır. Özet olarak, hasta serumları antijenle ve standardize edilmiş miktarda komplemanla birlikte inkübe edilir. Eritrositler, kompleman tarafından tanınan anti-eritrosit antikorları ile kaplanırlar. Eğer virüs antijenine spesifik antikorlar varsa, komplemanı bağlarlar ve eritrositler lizisten korunmuş olurlar. Gruba-spesifik virüs antijenlerinin kullanılmasıyla virüs tanımlaması yapılır.

İmmün Boyama

Antikorlar, hasta dokularındaki ve enfekte hücre kültürlerindeki virüs antijenlerini aramak için kullanılabilir. Bir antikor floresan bir boya veya enzimle işaretlenir ve virüs antijenine bağlanması sağlanır. Bu kompleks, hücre içerisindeki virüs proteinlerinin yerinin görülmesine izin verecek şekilde bir mikroskopta incelenir. Çapraz-reaksiyon veren serumlar, serolojik olarak bilinen bir ailenin üyesi olarak, bilinmeyen bir virüsü tanımlamak için kullanılabilir. Poliklonal serumlar geniş bir virüs spektrumunu tanımlayabilirlerken, monoklonal antiserumlar spesifik bir tanı sağlayabilir.

Nükleik Asit İzolasyonu ve Amplifikasyonu

Moleküler inceleme tekniklerinin gelişmesi sayesinde virüslerin genetik materyali tanımlanabilmiş ve enfeksiyonların tanısında bir devrim yaşanmıştır. Virüslerin nükleik asitlerinin izolasyonu için kan, doku, idrar, dışkı, BOS ve solunum sistemi sekresyonları gibi birçok materyal kullanılabilir. Virüs izolasyonunda genellikle enzim, deterjan, organik çözücü ve parçalayıcı tuzların kullanıldığı kimyasal teknikler uygulanmaktadır. Virüslere özgü dizayn edilen primerler, genomda korunmuş bölgelere uygun olarak tasarlanmıştır. Bu bölgeler genellikle polimeraz, helikaz ve integras gibi virüs yaşam süreci için gerekli olan proteinleri

kodlayan genleri ve protein kodlamayan bölgeleri (UTR) hedef almaktadır. Yeni bir virüsü tanımlamak için, evrensel primer setleri virüs aile dizilerine benzer ve yanlış baz çifti eşleşmelerini azaltacak şekilde tasarlanmalıdır. DNA virüsleri için PCR direkt olarak uygulanabilir. RNA virüsleri ise amplifikasyondan önce başlangıçta bir revers transkripsiyon (RT-PCR) reaksiyonuna gereksinim duymaktadırlar. Temel PCR teknikleri yanısıra çoklu primerlerin, TaqMan problemlerinin ve moleküler boncukların kullanıldığı daha kompleks varyasyonların kullanılmasıyla viral dizilerin tanımlanmasında daha duyarlı ve spesifik sonuçların elde edilmesi sağlanmaktadır (Louten, 2016).

Genomik Dizileme

Geçmişte uygulanan uzun protokolleri içeren analizlerinin yerini günümüzde virüs genetiğindeki değişimleri neredeyse eş zamanlı takip edebilmemize imkan tanıyan ve aynı gün içinde sonuç veren sekanslama teknikleri almıştır. Sekanslanan her bir genom için ücretlendirmedeki düşüş, dizileme sonucu elde edilen verilerin işleme kapasitesindeki artış ve daha düşük ücretli, kolay taşınabilir sekanslama sistemlerinin geliştirilmesi dizilemenin yaygınlaşmasını sağlamıştır (Roy, vd., 2016). Sekanslama yöntemi, numunelerde mevcut enfeksiyon etkenini tüm virülsöz özellikleri ile gösterilebilmesi ayrıca toplum sağlığı için mikrobiyal ajanın yayılımını izlenmesi, kaynak kontrolü ve korunma amaçlı aşı üretilebilmesi için, mikrobiyoloji açısından vazgeçilmezdir (Gu, vd., 2016). Tam boy sekanslama teknolojilerindeki son on yıllardaki hızlı gelişmeler, yaşanmakta olan ve gelecekte beklenen olası pandemilere karşı erken önlem alınması için strateji geliştirilmesi çalışmalarının da önünü açmıştır (Quick, vd., 2016). Tam boy sekanslama; viral enfeksiyöz etkenlerin karakterize edilmesi, filogenetik ataları, hangi yolla yayıldıkları, genomik yapılarını nasıl değiştirdikleri ve hangi yolla pandemik riski taşıdıkları sorularına cevap olmuştur. Viral patojenlerin ve risk profillerinin tanımlanmasından bir sonraki aşama olan, toplum sağlığının sürdürülmesi için aşı geliştirilmesi, erken tanı araçlarının ve etkin farmasötiklerin dizaynı için de dizileme önemli bir veri kaynağı olmuştur.

Bir mikroçevrede birbiriyle etkileşimde, mevcut tüm patojenlerin aynı anda genetik çözümlenmesine imkân sağlayan metagenomik analizler, mutasyon ve genetik karılma sonucu türeyebilecek yeni enfeksiyon ajanlarının izlenmesine olanak tanımaktadır. Günümüzde tecrübe ettiğimiz son COVID-19 pandemisinin kaynağının keşfinde kullanılan ve başdöndürücü bir hızla kontrolünü temin ederek olası kitlesel ölümlerin önüne geçilmesini sağlayan yine bu metagenomik sekanslama teknolojisi olmuştur. Genetik materyalin sekanslanmasının bir ara basamak olarak fayda sağladığı diğer bir alan da genomik yakınlık yoluyla filogenetik ağaçların oluşturulması ve mikroorganizmaların evrimsel değişimlerinin gözlemlenmesidir. Filodinamik analizler ise 'moleküler clocking' (moleküler saat) modellerinin oluşturulmasında dünya genelinde etkili olması beklenen pandemik etkenlerin tahmininde ve bu doğrultuda toplum sağlığı politikalarının geliştirilmesinde gelecekte de önemli araçlar olmaya devam edecektir (<https://www.who.int/publications/i/item/9789240018440>).

Dizileme yöntemi; numunenin genetik materyalinin saf şekilde izolasyonu, araştırılacak dizinin moleküler tanı cihazları tarafından tespit edilebilecek limitlere kadar kopyasının oluşturulması ve çözümlenme için sıralı olarak bilgisayar ortamında kodlarının

dökümünün elde edilmesi basamaklarını içermektedir. Oluşturulan konsensus datanın orijin aldığı ata diziden farklılıklarının ortaya konması ve bu mutasyonların patojenite özelliklerine olan etkisinin değerlendirilmesi ise son biyoinformatik analiz basamağıni oluşturmaktadır (Derache, vd., 2015).

Geleneksel dizileme (Sanger Sekanslama, SS) yöntemi; laboratuvar ortamında belirli kimyasal koşullar sağlanarak DNA replikasyonu sırasında, DNA polimeraz enzimi aracılığıyla zincirlerin istenen uzunluktaki fragmanlar şeklinde kesilmesine dayanan bir dizileme tekniğidir (Sanger & Coulson, 1975; Sanger, vd., 1977). Son yirmi yılda, çok uzun genetik materyallerin de hızlı ve yüksek duyarlılıkta dizilenmesine imkan sağlayan "Yeni-Nesil" dizileme yöntemleri geliştirilmiştir. SS yönteminde en sık saptanan genotipleri temsil eden, örnek başına bir konsensüs dizi oluşturulmasından farklı olarak yeni nesil dizileme (Next Generation Sequencing, NGS) mutasyonları yüksek duyarlılıkta saptayabilecek şekilde binlerce konsensus dizisini gerçek zamanlı oluşturabilmektedir. Örneğin, HIV ilaç direnci (HIVDR) genotiplendirmesinde NGS, %1 e kadar sıklıkta görülen ve minör direnç varyantları olarak da bilinen, SS yöntemiyle saptanması mümkün olmayan değişimleri de saptayabilir (Lee, 2017). SS, ancak ayrı ayrı fragmanları (1000 bp'ne kadar) ayrı reaksiyonlarda dizilemek için kullanılabilir. Bu nedende, SS yöntemi, NGS ile başarısız olduğu durumlarda, primer bağlama bölgeleri gibi kısa bölgelerdeki varyantları araştırmada, genomların kısa parçalarını dizilemede en etkin şekilde kullanılabilir. NGS platformlarında ise daha uzun ampikonlar verimli bir şekilde analiz edilebilir. Elde edilen büyük veriler biyoinformatik araçlarla analiz edilirler (Houldcroft, vd., 2016). SS, örnek içindeki tüm genetik materyalin aynı veya benzer dizilere sahip olmasını gerektirir. NGS sistemleri ise genomun binlerce farklı parçasının eş zamanlı sekanslanmasına, özellikle zamanın çok kritik olduğu vakalarda bir çalışma günü içinde çoklu örneklerin çözümlenmesine olanak sağlamaktadır. Tüm dizileme sistemleri konsensüs genomları oluşturmak için uygun olsa da, bazıları belirli hedeflerin karşılığı için daha uygun olabilir; hızlı sonuç alma klinik uygulamalar için önemli olabilirken, dizileme duyarlılığı varyantların tespitinde daha önceliklidir (http://www.unaids.org/sites/default/files/media_asset/UNAIDS_FactSheet_en.pdf, 2020).

Moleküler Epidemiyoloji

Geleneksel epidemiyoloji bir enfeksiyonun nerede başladığı ve popülasyona nasıl yayıldığını açıklamak için hastalık kliniği, patojen tanımlaması ve vaka bildirimleri gibi bilgilerin toplamını kullanır. Enfeksiyonun kaynağının bulaşıyla olan ilişkisi hakkında bir bağlantı kurmak için ortak özellikler belirlenir. Epidemiyolojik araştırmaya moleküler tekniklerin eklenmesi, etkenin genetik düzeyde tanımlanmasını sağlar ve virüsün orijini, ortaya çıkışını ve bulaşını anlamamızı kolaylaştıracak bilgiler verir. Moleküler epidemiyoloji, kalıtsallığı baz alarak virüs bulaşı ile ilgili yolları anlamamız için filogenetik yöntemleri kullanmaktadır. Bir virüs replike oldukça ve bir popülasyonda yayıldıkça, kaçınılmaz olarak mutasyonlar biriktirir. Virüslerde meydana gelen genetik değişkenlik, ortak ataları ortaya çıkarmak için kıyaslanır ve bir virüs dizisinin diğerinin oluşmasına nasıl neden olduğunu açıklar. Virüsler bazen yeni konaklarına ve çevrelerine adapte olmak için çok hızlı evrim geçirirler. Patojenin genetik yapısındaki değişkenlikler bulunduğu koşullara bağlı olarak,

zamanla ve pasajlarla artabilir. Bu sebeple, birbirlerine çok yakın virüs dizileri yakın zamanda geçirilmiş enfeksiyonlarla ve bulaşla korelasyon göstermektedirler. PCR ve diğer moleküler teknikler kullanılarak, bir salgın sırasında enfekte insan, hayvan veya böcek rezervuarlarından, virüs genetik dizileri toplanır. Bu yeni virüs dizileri, bilinen virüs dizilerinin veritabanıyla karşılaştırılırlar. Bu karşılaştırma, virüs genomları arasında nükleotidlerin basit bir karşılaştırılmasından ziyade, ortak evrimsel bir ataya sahip virüs dizilerinin kümelerini oluşturan karmaşık algoritmaları da içermektedir. Filogenetik ağaçlar, bir evrim esnasında bir virüs dizisi grubunun nasıl oluştuğunu gösterir ve bilinmeyen bir virüsün bu ağaca yerleştirilmesi ve sınıflandırılması için yardımcı olurlar. Diğer bir ifadeyle filogenetik ağaçlar, bilinen bir virüs genomuyla yeni izole edilmiş virüs dizileri arasındaki evrimsel bağın grafik olarak gösterilmeleridir. Ağacın dış düğümleri var olan virüs dizilerini göstermektedir. İç dallar, yakın zamanda izole edilmiş virüs genomlarını oluşturan kuramsal atasal virüs dizilerini göstermektedirler. Her bir dalın uzunluğu, atasal virüs ve güncel olarak çevrede bulunan virüs arasındaki genetik farklılığın miktarı ile uyumludur. Çok uzak ilişkisi olan bir viral dizi, ağacı evrimsel değişikliğin yönüne doğru çevirmek için bir dış grup olarak kullanılabilir.

Filogenetik ağaç, sınıflandırma şemalarında kullanılacak virüs dizi kümeleri olarak yorumlanabilir ve sıklıkla bu gruptan geleneksel metodları tamamlamada yararlanır. Geniş virüs aileleri, virüsün yaşam siklusunda gerekli olan polimeraz ve diğer enzimler gibi korunmuş genlerden alınan diziler kullanılarak tanımlanabilir. Belirli bir virüse spesifik genlerin dizileri kullanılarak daha ince farklılıklar tespit edilebilir. Örneğin, zarf ve yapısal proteinleri kodlayan genler, sık olarak geniş aileler içerisindeki virüs alt gruplarını tanımlamak için kullanılırlar (Şekil 5). Bu alt gruplar, belirli bir antikor ile çapraz reaksiyona girme yeteneği ile tanımlama yapılan geleneksel serolojik metodlarla tanımlanan serogruplara karşılık gelmektedir. Genlerin tamamı veya genlerin bazı kısımları filogenetik analizde kullanılabilir; fakat dizi uzunlukları hesaplama süresini etkilemesi nedeniyle, nadir olarak genomların bütünü

kullanılır. "Komşu birleştirme" filogenetik yöntemleri hızlıdır ve büyük genetik veri kümelerinin oluşturulmasında faydalıdır. Bununla birlikte, yalnızca tek bir olası ağacı dikkate alırlar ve filogenetik ilişki hakkında çıkarımlarda bulunmak için kullanılmazlar. FastTree hızlıdır ve veri araştırması için komşu birleştirme yöntemlerine alternatif olabilecek "maksimum olasılıklı" filogenetik ağaç üretir. Filogenetik ağaçlar, FigTree ve MEGA gibi ticari yazılımlar kullanılarak görselleştirilebilir. (http://www.who.int/hiv/pub/drugresistance/lab_training/en, 2020)

Bir virüs salgını sırasında ilk olarak virüsün hangi mekanizmayla yayıldığına tespit edilmesi gerekir. Virüsler sık olarak virüsleri insanlara bulaştıran hayvanları veya böcek vektörleri enfekte ederler. Aynı virüs aileleri içerisinde birden fazla vektör tipi kullanılabilir; fakat bazı virüsler belirli vektörlerle bulaşır. Bunyaviridae ailesindeki virüsler insanlara keneler, sivri sinekler, karasinekler ve kemiriciler gibi zararlılarla bulaşabilirler. Kullanılan belirli bir vektör aile içerisindeki her bir alt grubu ayırt etmektedir. Filogenetik ağaçlar, aile üyeleri arasında, hastanelerde ve bir popülasyonun duyarlı üyeleri arasındaki virüs bulaşını kanıtlamak için kullanılmaktadırlar. Bir hastadan izole edilen virüs dizisini, toplumdaki bireylerden izole edilen virüs dizileriyle karşılaştırarak bulaş yolları anlaşılabilir.

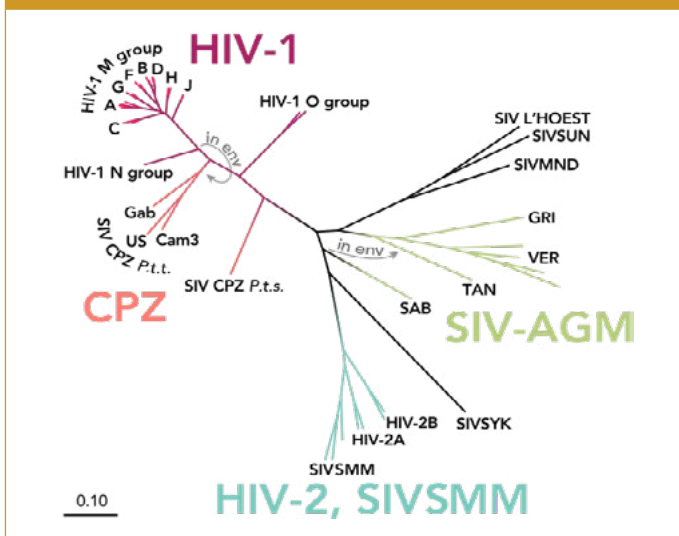
Virüsün coğrafik yerleşimine de filogenetik ağaçların kullanımıyla karar verilebilir. Farklı coğrafik bölgelerdeki rezervuarlardan izole edilmiş olan virüsler, insanların nerede enfekte olduklarını belirleyebilir. Arenavirüsler, kemiricilerde bulunmaktadır; fakat evcil kemiriciler, tarlalarda veya ormanlarda bulunan kemiricilere oranla enfeksiyonlara yol açma riskleri daha fazladır. Enfekte hastalardan, ev, tarla ve orman farelerinden elde edilen virüs dizilerinin analiziyle, rezervuar fare grubu belirlenebilir ve kemiricilerin evlere girmelerini önlemek için halk sağlığı önlemleri uygulanabilir. Virüs salgınının orijini daha geniş coğrafik alanları içerebilir. SARS salgınının gösterdiği gibi yeni virüslerin farklı coğrafyalara yayılması artan global bir sağlık sorunudur. Bütün dünyadan toplanmış olan virüs genomlarının veritabanlarına girilerek, başka bir yerden henüz gelmiş yeni bir virüs salgını hızla tanımlanabilir. Virüsler seyahatle yayılabildiği gibi, bazıları da endemik olabilirler ve uygun kontrol önlemlerinin alınmasında endemik olan ve dışarıdan gelen bir salgını ayırt etmek gerekir. Virüsler mevsimsel salgınlara da neden olabilirler. İnfluenza her yılki enfeksiyonunda genomunu değiştirmektedir. Filogenetik analizler ile virüsün yıldan yıla ne derece genomunu değiştirdiğini anlayarak gelecek yılın suşunun tahmin edilebilir ve gelecek yılın aşısının üretimini yapmak için yol gösterici olur (Loeffelholz, 2016).

Moleküler Epidemiyolojinin Adli Bilimlerde Kullanımı

Moleküler analizlerden her geçen gün daha sık yararlanılmasına rağmen, tanıyı kolaylaştırmada önemli ipuçlarını sağlayabilecek olan viral fenotipik özellikler de (tropizm, sitopatik etkiler vb.) göz ardı edilmemelidir. Oldukça küçük yapıda olmalarına ve yüksek evrim hızlarına bağlı olarak, karşılaştırmalı moleküler analizler virüslere uygulanırken bazı değerlendirmelere dikkat edilmelidir. İlk olarak, istatistiksel nedenlerden dolayı, izole edilen virüslerde değişken diziler içeren çok sayıda bölgenin incelenmesi genellikle tavsiye edilir. Ancak maliyet yüksekliği nedeniyle uygulanabilirliği sınırlıdır. Özellikle RNA virüslerindeki birçok viral gen, hızlı değişime uğrayan bölgeleri kapsarken, DNA virüsleri daha stabildir.

Şekil 5

Simian virüs ve HIV filogenetik ağacı.



Açıklama notu. Phylogenetic tree straight. Wikipedia. https://www.commons.wikimedia.org/wiki/File:HIV-SIV-phylogenetic-tree_straight.svg kaynağından alınmıştır.

Analizin yapılacağı viral genom bölgesinin seçiminde, yakın zamanlarda geçirilmiş enfeksiyonların ve dolayısıyla hızlı bir şekilde değişim geçiren bölgelerin bilinmesi önemlidir. İkinci olarak, eğer mümkünse, çevredeki popülasyondan izole edilmiş önemli sayıda kontrol virüslerin analize dahil edilmesi son derece yararlıdır. Bu, lokal çevrede bulunan arka plandaki virüslerin tam olarak değerlendirilmesine ve tahmin edilen enfeksiyon kaynağına olan yakınlık için kuvvetli bir istatistiksel kanıt elde edilmesine izin verecektir. Son olarak, iki virüs arasındaki ilişkiye ait tüm kuvvetli kanıtlar, bütün alternatif hipotezleri değerlendiren detaylı filogenetik ve istatistiksel analizlere ihtiyaç duymaktadırlar. Bilimsel amaçlı kullanıma nazaran analizlerin yasal olarak kullanılmasında, yüksek doğruluk ve kesinliğe ulaşmak önemlidir.

HIV, viral enfeksiyonların kaynağını tespit etmede moleküler epidemiyolojinin adli bilimlere yararına kullanımının mükemmel bir örneğidir. 1990 yılında, HIV pozitif bir diş hekiminin, bilinen risk faktörlerine sahip olmayan altı hastadaki HIV enfeksiyonunun kaynağı olabileceğinden şüphe edildi. Doktor ve hastalardan izole edilen virüslerin genomik sekanslanması, doktordan hastalara HIV bulaşı olduğu yönündeki bulguları destekleyecek güçlü epidemiyolojik veriler sağladı (Ou, vd., 1992). Ayrıca, HIV genlerinin PCR amplifikasyonu ve bunu takiben filogenetik analizleri bir cerrahın bir hastaya (Blanchard, vd., 1998) ve bir hemşireden bir hastaya (Goujon, vd., 2000) HIV bulaşının olduğunu göstermede kullanılmıştır. Diğer bazı adli olgularda başka viral enfeksiyonların epidemiyolojik izleminden de yararlanılmıştır. Örneğin, malpraktis vakalarında hepatit C virüsünün belirli suşlarının hemodiyaliz ünitelerindeki nozokomiyal yayımları belgelendirilerek kanıt sağlanmıştır (Seme, vd., 1997; Halfon, vd., 2002).

Yukarıdaki örnekler konvansiyonel viral patojenlerin moleküler epidemiyolojisini içermektedir. Biyolojik suçlardaki etken virüslerin hızlı bir şekilde tanımlanmasında destekleyici kaynakların geliştirilmesi için daha çok çalışmaya gereksinim duyulmaktadır. Olası türlerin daha geniş bir sekans veritabanının oluşturulmasına kesinlikle gereksinim vardır. Kendine özgü pattern ve imzaların önceden tanımlanması, virüs suşunun ve belki de şüphe edilen etkenin kaynağının dikkatle saptanmasını büyük ölçüde kolaylaştıracaktır. Rekombinant biyolojik savaş ajanları durumunda, virüs suşunun tüm özellikleri ile birlikte biyomühendislik özellikleri kaynağa ulaşmak için ek kanıtlar sağlayabilir.

Viral Aşılar ve Anti-Viral Tedaviler

Duyarlı bir popülasyonda viral enfeksiyonlardan korunmanın en iyi yollarından birisi aşılardan kullanılmasıdır. Aşılardan ABD’de kızamık, kabakulak ve kızamıkçığın insidansını %99.7 oranında düşürmüştür. Çiçek hastalığı ve çocuk felcinin doğal bulaşı da tamamen elimine edilmiştir. Günümüzde ölü (formalinle-fikse edilmiş virüsler), zayıflatılmış canlı (attenüe) aşılardan, rekombinant proteinlerden yapılmış sub-unit aşılardan ve yeni teknolojilerin de kullanıma girmesiyle (COVID-19 pandemisinde yaygın olarak kullanım alanı bulan) DNA ve mRNA aşılardan viral enfeksiyonlardan korunmada en önemli araçlardır. Tarihsel olarak, etkili anti-viral ilaçların gelişimi diğer anti-mikrobiyallerin gerisinde kalmıştır. Bununla beraber, moleküler viroloji ve akılcı ilaç tasarımındaki gelişmelere bağlı olarak her geçen gün yeni anti-viral bileşikler kullanıma girmektedir. Mevcut anti-virallerin başlıca hedefleri; soyulmayı (örneğin, amantadin, influenza viryonlarında intraviral pH değişikliklerini önler) ve replikasyonu

önlemede viral polimerazları (örn. AZT, ribavirin ve asiklovir), viryonların olgunlaşmasını önlemede viral proteazları, hücrelerden viral salınımı önlemede nöraminidazları ve protein sentezinde görev alan hücresel enzimleri (interferonlar) içerir. Viral hastalıkların tedavisinde antikorlar uygulanmaları da mevcuttur, ancak bu tedavilerin pahalı seçenekler olduğu ve viral mutasyonların güçlü tetikleyicileri oldukları göz ardı edilmeden, tedavide basamaklı yaklaşıma uyulması gerektiği unutulmamalıdır (Acheson, 2011).

Virüs Mühendisliği ve Rekombinant DNA Teknolojisi

Doğadaki virüsler, replikasyon stratejilerine ve yayılma alanına bağlı olarak, mutasyon, rekombinasyon, reassortman ve seleksiyon gibi birçok yolla evrim geçirmektedirler. Bu doğal özelliklerinden virolojide de yararlanılmaktadır. Örnek olarak, influenza'nın zayıflatılmış canlı aşı suşları ve soğuğa-adapte olmuş suşları, aşı adayları olarak reassortant çapraz rotavirüs türleri ve hücre kültüründe seri pasajlarla türetilerek sarı hummanın zayıflatılmış 17D aşı suşları elde edilmiştir. Rekombinant DNA devrimi virolojiyi de temelden değiştirmiştir, tam viral genomik dizileri belirleme ve spesifik viral varyantlar yaratma yeteneğimizi arttırmıştır. Bilim insanlarının yeni virüsleri mühendislikle yaratma yeteneği büyük değişiklikler göstermiştir. Bakterilerin, bitkilerin ve hayvanların küçük, pozitif-iplikli RNA virüsleri, enfeksiyöz virüslerin rekombinant DNA yoluyla üretilmesinin ilk örnekleridir. Daha yakın zamanda, Coronavirüs genomunun hem tek parçalı hem de segmentli negatif-iplikli RNA virüslerinin mühendislikle üretilmesi mümkün olmuştur. Çift-iplikli RNA genomlu Reoviridae ailesindeki virüsler için bu işlemlerin daha güç olduğu ispatlanmıştır. Genomik DNA'sı enfeksiyöz olan, herpesvirüsler için kromozomal DNA'nın büyük parçalarını klonlamak için kullanılan aynı teknolojiler, tüm herpesvirüs genomlarının üst üste gelen fragmanlarını çoğaltmak için başarıyla uygulanmıştır. Genomik DNA'sı enfeksiyöz olmayan poxvirüsler için, rekombinant virüsler, mühendislik eseri segment içeren bir plazmid ve enfekte edici parental bir virüs arasındaki birbirine benzer DNA rekombinasyonu vasıtasıyla birlikte enfekte hücreler içerisinde üretilmiştir. Tipik olarak, virüslerin rekombinant DNA uygulama çalışmaları, plazmid vektörler kullanılarak bakterilerde klonlanan ve amplifiye edilen viral nükleik asit (RNA veya DNA) ile veya PCR kullanılarak in-vitro olarak başlamıştır. Bir virüsün genom dizisi biliniyorsa, sentetik oligonükleotidler ve gen sentez teknikleri kullanılarak bu diziyi yeniden oluşturmak mümkündür. Bunun bir örneği, aşı için üretilmiş poliovirüsün zayıflatılmış formudur (Cello, vd., 2002). Teknolojik gelişmelerle virüslerin in-vitro koşullarda tekrar eldesi bir çok tartışmaya yol açmıştır. Örneğin, eğer bir enfeksiyöz virüs sentetik metodlarla yaratılabiliyorsa, o virüs gerçekten eradike edilebilir mi? Potansiyel biyoterör veya biyosavaş etkenlerinin ışığında, halka açık veritabanlarında bu genom dizilerinin elde edilebilir olmasında bir sınırlama olmalı mıdır? Bu etkenler üzerindeki araştırmalar yasaklanmalı sınıflandırılmalı veya bir şekilde düzenlenmeli midir? Bu ve diğer sorular gelecek yıllarda da tartışılmaya devam edecektir. Virüslerin üzerindeki mühendislik becerisi ile var olan virüslerin daha virulan yapıya endişesini de arttırmaktadır. Virolojideki çoğu örnek bu endişelerin aksini göstermektedir. Virüsler genellikle yüksek oranda belirli bir çevreye adapte olmuşlardır ve birçok mutasyon virüs için zararlıdır. Hücre kültüründe patojen virüslerin çoğalması sıklıkla o çevreye uyuma ve hayvan olan konakta virülansın azalmasına neden olmaktadır. Birbirine çok yakın ilişkili olan virüsler arasındaki rekombinasyon sonucu oluşan virüsler veya chimera'lar genellikle ebeveynlerinin her ikisine karşı göreceli

noksandır. Bununla beraber, virüsler bir hayvanda zararsız, diğer türde yüksek derecede patojen olan olabilir. Bu sık olarak epizootik olarak ortaya çıkan virüslerde görülmektedir. Konak türlerine spesifik olan patogenezin bir örneği, Amerika'nın vahşi tavşanlarında zararsız kutanöz fibroma neden olurken, Avrupa tavşanlarında yüksek derecede öldürücü bir hastalığa neden olabilmektedir. Bu virüs, Avrupa ve Avustralya'daki vahşi tavşanlara karşı biyolojik kontrol için kullanılmıştır. Ramsey ve arkadaşları, rekombinant fare çiçeği virüsünün ekspresyonu olan interlökin-4 (IL-4)'ün yapımını ve faredeki patogenezi tarif eden araştırmalarında virüs mühendisliği kullanarak artırılmış patojeniteyi göstermişlerdir (Jackson, vd., 2001). IL-4, çeşitli düzeylerde immün yanıtları düzenleyen bir sitokindir. Rekombinant fare çiçeği virüsü, normal olarak enfeksiyonu kontrol eden hem doğal hem de kazanılmış immün yanıtları baskılamakta, bir başka ifadeyle genetik olarak dirençli fareler için öldürücü olabilmektedir. Ayrıca, daha önceden virulan fare çiçeği virüsüne karşı aşılansız ve korunmuş hayvanlar bile fare çiçeği-IL-4 rekombinant virüsüyle olan öldürücü enfeksiyonlara karşı duyarlıdır. Bu çalışma, fare çiçeği virüsünün modifiye edilmiş versiyonlarına karşı etkili güncel aşılamaya ilgili belirgin endişeleri arttırmıştır.

Viral replikasyon, mutasyon ve evrim bir virüsün kaynağına karar vermeye hem yardım eder hem de engel olur. Doğal olarak yeni virüslerin ortaya çıkması durumunda, izole edilen suşların nükleotid dizi karşılaştırmaları ile geçici olarak hastalığa, coğrafyaya ve türe karşı ilişkileri virüsün orijinini anlamaya yardımcı olabilir. Mühendislik eseri virüslerin yapılabilmesi, durumu daha karışık hale getirmektedir. Tam dizisini bildiğimiz farklı virüslerin sayısız laboratuvar suşları bulunduğundan dolayı izole edilen bir suşun dizisi onun belirgin bir kaynaktan orijin aldığını göstermez. Virüsler transfer edilebilir veya çoğaltılabilir veya yukarıda belirtildiği gibi fonksiyonel viral genomlar, halka açık dizileri taklit etmek (veya onlardan ayrılmak) üzere sentetik olarak yaratılabilir.

Sonuç

Birçok yönden Adli Viroloji gelişmelere ihtiyaç duymaktadır. Her ne kadar, bilinen insan patojenleri ile ilgili çalışmalar devam etse de virüs izolasyonu, viral genomik ve biyoiletişimle ilgili çalışmaların genişletilmesine ihtiyaç vardır. Viral dizilerin geniş bir veri tabanında toplanması, yeni ortaya çıkan viral patojenlerin hızlı tanımlanması ve oligonükleotid diziler gibi yeni tanısal platformlar için gereklidir. Viral genomiklere ek olarak, viral hastalık süreçlerinin küresel proteomik analizi, viral nükleik asit veya seroloji yokluğunda bile, belirli bir etyolojik etkeni veya etkenler sınıfını belirlemek için kullanılacak moleküler imza olarak da adlandırılan karakteristik paternlerini açığa çıkarmaktadır. Çiçek hastalığının küresel eradikasyonu çok büyük bir başarıdır. Ancak HIV, hepatit B ve C, influenza, deng, rotavirüs ve birçok diğer viral hastalıklar hala on milyonlarca kişiyi etkilemeye devam etmektedir.

Hakem Değerlendirmesi: Dış bağımsız.

Çıkar Çatışması: Yazarlar çıkar çatışması bildirmemiştir.

Peer-review: Externally peer-reviewed.

Declaration of Interests: The authors declare that there are no competing interests

Kaynaklar

- Acheson, N.H. (2011). *Fundamentals of Molecular Virology* Second Edition (ISBN: 97804709005989). John Wiley & Sons, Inc.
- Blanchard, A., Ferris, S., Chamaret, S., vd. (1998). Molecular evidence for nosocomial transmission of human immunodeficiency virus from a surgeon to one of his patients. *Journal of virology*, 72(5), 4537-4540. [Crossref]
- Cann, A.J. (2014). *Principals of molecular virology*. Sixth Edition. Academic Press.
- Cello, J., Paul, A. V., & Wimmer, E. (2002). Chemical synthesis of poliovirus cDNA: generation of infectious virus in the absence of natural template. *Science (New York, N.Y.)*, 297(5583), 1016-1018. [Crossref]
- Derache, A., Shin, H. S., Balamane, M., vd. (2015). HIV drug resistance mutations in proviral DNA from a community treatment program. *PLoS one*, 10(1), e0117430. [Crossref]
- Dilnessa, T., & Zeleke, H.A. (2017). Cell Culture, Cytopathic Effect and Immunofluorescence Diagnosis of Viral Infection. *J Microbiol Modern Tech* 2(1), 102. [Crossref]
- Goujon, C. P., Schneider, V. M., Grofti, J., vd. (2000). Phylogenetic analyses indicate an atypical nurse-to-patient transmission of human immunodeficiency virus type 1. *Journal of virology*, 74(6), 2525-2532. [Crossref]
- Gu, W., Miller, S., & Chiu C.Y. (2019). Clinical metagenomic next-generation sequencing for pathogen detection. *Annu Rev Pathol*, (14), 319-38. [Crossref]
- Gunn, A. (2009). *Essential forensic biology*. 2nd edition. Wiley-Blackwell.
- Halfon, P., Roubicek, C., Gerolami, V., vd. (2002). Use of phylogenetic analysis of hepatitis C virus (HCV) hypervariable region 1 sequences to trace an outbreak of HCV in an autodialysis unit. *Journal of clinical microbiology*, 40(4), 1541-1545. [Crossref]
- Houldcroft, C. J., Beale, M. A., & Breuer, J. (2017). Clinical and biological insights from viral genome sequencing. *Nature reviews. Microbiology*, 15(3), 183-192. [Crossref]
- Jackson, R. J., Ramsay, A. J., Christensen, C. D., vd. (2001). Expression of mouse interleukin-4 by a recombinant ectromelia virus suppresses cytolytic lymphocyte responses and overcomes genetic resistance to mousepox. *Journal of virology*, 75(3), 1205-1210. [Crossref]
- Lee, E. R., Gao, F., Sandstrom, P., vd. (2020). External Quality Assessment for Next-Generation Sequencing-Based HIV Drug Resistance Testing: Unique Requirements and Challenges. *Viruses*, 12(5), 550. [Crossref]
- Li, R. (2008). *Forensic Biology* (ISBN: 9781420043433). CRC Press.
- Loeffelholz, M. J. (2016). *Clinical Virology Manual Fifth Edition* (ISBN: 9781555819149). ASM Press. [Crossref]
- Louten, J. (2016). *Essential human virology*. Academic Press.
- NIH. *Novel coronavirus sarscov2*. <https://www.niaid.nih.gov/news-events/novel-coronavirus-sarscov2-images>.
- Ou, C. Y., Ciesielski, C. A., Myers, G., vd. (1992). Molecular epidemiology of HIV transmission in a dental practice. *Science (New York, N.Y.)*, 256(5060), 1165-1171. [Crossref]
- Phylogenetic tree straight*. Wikipedia. https://www.wikimedia.org/wiki/File:HIV-SIV-phylogenetic-tree_straight.svg
- Quick, J., Loman, N. J., Duraffour, S., vd. (2016). Real-time, portable genome sequencing for Ebola surveillance. *Nature*, 530(7589), 228-232. [Crossref]
- Roy, S., LaFramboise, W. A., Nikiforov, Y. E., vd. (2016). Next-Generation Sequencing Informatics: Challenges and Strategies for Implementation in a Clinical Environment. *Archives of pathology & laboratory medicine*, 140(9), 958-975. [Crossref]
- Saferstein, R. *Criminalistics*. (1998) An Introduction to Forensic Science, 5th ed. (ISBN: 978-1351691598) Prentice Hall.
- Sanger, F., & Coulson, A. R. (1975). A rapid method for determining sequences in DNA by primed synthesis with DNA polymerase. *Journal of molecular biology*, 94(3), 441-448. [Crossref]
- Sanger, F., Nicklen, S., & Coulson, A. R. (1977). DNA sequencing with

chain-terminating inhibitors. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 74(12), 5463-5467. [Crossref]

Seme, K., Poljak, M., Zuzec-Resek, S., vd. (1997). Molecular evidence for nosocomial spread of two different hepatitis C virus strains in one hemodialysis unit. *Nephron*, 77(3), 273-278. [Crossref]

Siegel, J. A., Sukoo, R. J., & Knupfer, G. (2000). *Encyclopedia of Forensic Science*, Vol I, II and III, Academic Press.

UNAIDS, http://www.unaids.org/sites/default/files/media_asset/UNAIDS_FactSheet_en.pdf, 2020

WHO. (2020). *Drug resistance*. http://www.who.int/hiv/pub/drugresistance/lab_training/en/ 2020

WHO. (2021). Genomic sequencing of SARS-CoV-2: a guide to implementation for maximum impact on public health <https://www.who.int/publications/i/item/9789240018440>

