

Biyolojik silahlar ve biyoterörizm

Prof. Dr. Mustafa Samastı



1951 yılında Sakarya'da doğdu. İstanbul Vefa Lisesi (1969) ve İstanbul Üniversitesi Cerrahpaşa Tıp Fakültesinden (1975) mezun oldu. Klinik mikrobiyoloji ve enfeksiyon hastalıkları uzmanlığını aynı fakültede yaptı. Cerrahpaşa Tıp Fakültesi Mikrobiyoloji Ana Bilim Dalı'nda öğretim üyesi olarak 2010 yılına kadar çalıştı. Daha sonra İstanbul Medeniyet Üniversitesi Tıp Fakültesi Kurucu Dekanı olarak görev yaptı. 2018 yılında yaş haddinden emekli oldu.

Biyolojik ajanların (bakteri, virüs, mantar, biyolojik zehir, vektör artropodlar, böcekler, vb.) kasıtlı olarak insan, hayvan ve bitkilerde zarar oluşturmak, hastalık ve ölüme yol açmak yahut toplumu korku ve endişeye sevk ederek istikrarı bozmak, ülke yönetimlerini tehdit etmek gibi amaçlarla kullanılmasına biyoterörizm denilmektedir. Biyolojik saldırı amacıyla doğal mikroorganizmalar, biyoteknolojik yöntemlerle geliştirilmiş mikroorganizmalar, çeşitli biyolojik ürünler (botulinum toksini, yılan zehri, risin, saksitoksin, stafilotoksik enterotoksin B, çeşitli mantar toksinleri, aflatoksinler vb.) yahut yapay olarak üretilen biyolojik madde benzeri ajanlar kullanılabilir.

Enfeksiyon etkeni mikroorganizmaların keşfedilmesi, tanımlanması ve saf halde elde edilip çoğaltılmaları ancak 19. yüzyıl sonlarında gerçekleşmesine karşılık biyolojik ajanların kullanımı binlerce yıllık bir tarihe dayanır. Önceleri salgın hastalık kurbanlarının (insan ve hayvan) vücut materyalleri veya çeşitli biyolojik zehirler kullanılırken mikrobiyoloji biliminin gelişimi, hastalık etkeni mikroorganizmaların laboratuvar ortamında üretilerek biyolojik silah olarak kullanılmasının önünü açmıştır. Genetik ve biyoteknoloji alanında yakın zamanda ortaya çıkan muazzam gelişmeler kaygı verici şekilde klasik biyolojik silah ajanlarından oldukça farklı yeni bir aşamaya (genetik tasarımı patojenler) geçilmesine imkân sağlamıştır.

Biyolojik ajanların nispeten kolay elde edilip üretilmesi, taşıma ve depolama avantajlarına sahip olması, insan-

dan insana bulaşarak zaman içinde etkilerini büyütebilmeleri, uygulama kolaylığının yanı sıra tespit edilmelerinin zor olması vb. gibi özellikler onları cazip birer saldırı aracı haline getirmektedir. Etkilerini belli bir kuluçka döneminden sonra göstermeleri ve doğal enfeksiyonlardan net olarak ayırt edilememeleri nedeniyle anlaşılabilirliği kolay değildir. Biyolojik saldırılar, oluşturacakları gerçek zarardan çok daha fazla panik, endişe ve korkuya yol açarak (2001 yılında ABD'de yaşanan şarbonlu posta zarfları olaylarında olduğu gibi) toplumun istikrarını bozarlar. Bunun yanı sıra ekonomiye zarar vermek, tarım ve hayvancılık faaliyetleri baltalamak, su ve gıda kaynaklarını kullanılmaz hale getirmek için de biyolojik ajanlardan yararlanılmaktadır.

Biyolojik ajanlar bireysel suikastlardan kitlesel eylemlere kadar farklı amaçlarla kullanılabilir. Ancak biyolojik bir ajanın oluşturacağı zararın çerçevesini belirlemek, belli hedeflere sınırlı uygulayabilmek ve kontrol altında tutmak kolay değildir. Etkilerini sivil-asker ayrımı yapmadan gösterdiklerinden nizami harplerde kullanılmaları kısıtlılık göstermektedir. "Stockholm Uluslararası Barış Araştırmalar Enstitüsü (SIPRI)" Mart 2019 Raporu'nda gen düzenleme teknolojilerinin riskleri konusunda şu tespitler yer almaktadır:

- Patojen mikroorganizmaların daha tehlikeli hale getirilmesi, daha hızlı yayılarak fazla sayıda canlıyı etkilemesinin önü açılmıştır.
- Mikroorganizmalar istenen özelliklerde tasarlanabilmekte, ortadan kalk-

mış olan virüsler yeniden canlandırılabilir.

- Erişime açık genetik veri bankaları ve biyoteknolojik setler kullanarak laboratuvar altyapısı ve genetik teknoloji konusunda uzmanlığı olmayanlar dahi genetik düzenleme faaliyetlerinde bulunabilmektedirler.
- Biyoteknolojik imkânlar biyolojik silah programlarını sonlandırmış devletler için bu programlara yeniden dönmelerini teşvik edici bir mahiyet taşımaktadır.

ABD Ulusal İstihbarat Ofisi 2008'de biyoterörizmi nükleer saldırılardan daha olası bir tehdit olarak değerlendirmiştir. Biyolojik silahlar hava yoluyla, su ve gıda kaynaklarına hastalık etkenlerini bulaştırarak, zararlı böcekleri, vektörleri, ara konakları ortama salarak uygulanabildikleri gibi çok daha farklı tarzlarda bulaştırılan bireyler aracılığıyla da toplumda yaygınlaştırılabilirler. Biyolojik ajanlar hastalık oluşturma, yayılma ve ölüme neden olma potansiyellerine göre CDC (Centers for Disease Control and Prevention) tarafından A, B ve C olmak üzere üç kategoriye ayrılmaktadır.

A grubundakiler (çiçek, şarbon, veba, tularemi etkenleri, botulinum toksini, Ebola ve Lassa virüsleri vb.) insandan insana bulaşabilen, kitlesel ölümlere, ciddi korku ve paniğe neden olan ajanlardır. B grubunda olanlar (bruselloz, ruam, Q ateşi, tifo, kolera etkenleri, ensefalit yapan alfa virüsler vb.) toplumda yayılma potansiyeli olmasıyla birlikte daha az oranda hastalık ve ölüme yol açarlar. C grubundakiler (ensefalit virüsleri... gibi) yüksek risk oluşturmayan etkenlerdir.



Tarihsel Gelişim

Antik devirlerden günümüze kadar sayısız biyolojik terör/savaş uygulamaları yapılmıştır. Hitit metinlerinde (M.Ö. 1500-2000 yılları) salgın hastalıktan ölmüş olanların cesetlerinin düşman topraklarına götürülerek hastalığın bulaştırıldığı kaydedilmektedir. M.Ö. 4. yüzyılda (Herodot'a göre) Hitit askerleri yaradıkları kurbanlarına başta tetanos olmak üzere hastalık bulaştırmak için mızraklarını ve ok uçlarını çürümüş kadavra ve gübrelere batırarak yahut yılan zehri ile bulaştırarak kullanmaktaydı. Romalı askerler de kılıçlarını dışkı ve kadalara batırarak düşmana daha büyük zarar vermeye çalışmışlardır. Orta Çağ boyunca veba hastalığından ölen fare ve insan cesetleri mancınıklarla kale duvarlarından içeri fırlatılarak salgın ve korku oluşturmak için kullanılmıştır. Biyolojik maddeler özellikle düşman atlarının devre dışı bırakılması ve su kaynaklarının zehirlenmesi şeklinde yaygın kullanılmıştır. Kuzey Amerika'da 1763 yılında İngiliz ordusu komutanı barış anlaşması görüşmeleri sırasında Kızılderililere metal kutulara konmuş virüslü battaniyeler hediye ederek çiçek hastalığı bulaştırmış ve ortaya çıkan salgın sonucu 100 kadar yerlinin ölümüne neden olmuştur. Avustralya yerlileri (Aborjinler) 1789 yılında İngilizlerin kasten çiçek hastalığı yaydıklarını ileri sürmüşlerdir. Araştırmacılar bu konuda kayda değer kanıtlar bulunduğunu belirtmektedirler.

Mikrobiyoloji biliminin gelişmesiyle biyolojik silahların geliştirilmesi ve üretiminin önü açılmıştır. Birinci Dünya Savaşı (1914-1918) ile biyolojik silahların kullanımını hız kazanmış, başta Almanya ve

Fransa olmak üzere birçok ülke biyolojik silah üretimine başlamıştır. Alman sabotaj ekipleri kızaklarıyla Rus ordusuna ait at ahırlarına şarbon ve ruam etkenlerini bulaştırmıştır. 1925 tarihli Cenevre Protokolü kimyasal ve biyolojik silahların kullanımına yasak getirmekle birlikte bu protokol uygulanamamıştır. İkinci Dünya Savaşı (1939-1945) biyolojik silahların çok daha etkin ve kapsamlı kullanıldığı bir dönem olmuştur. İngiltere biyolojik silahları endüstriyel üretime sokan (1942) ilk ülke olmuştur. Fransa, Japonya, ABD gibi diğer ülkeler de kendi biyolojik silah programlarını oluşturmuşlardır. Bunlar arasında biyolojik silahları en yoğun şekilde kullanan Japonya olmuştur. İmparatorluk Japon ordusunun gizli 731. birimi 1932-1945 yıllarında Çin ve Sovyetler Birliği'ne karşı birçok biyolojik saldırıda bulunmuş, esirler üzerinde biyolojik silah denemeleri yapmıştır. Bu bilgiler ancak birimde görev yapmış kişilerin itiraflarıyla öğrenilmiştir.

ABD'de 1940'lı yıllarda başlatılan biyolojik silah programında dört bin kadar kişinin görev yaptığı bilinmektedir. Ancak 1969 yılında Başkan Nixon tek taraflı olarak saldırı amaçlı biyolojik silah programının sonlandırılması kararını almıştır. Sovyetler Birliği 1920'lerden itibaren biyolojik silah çalışmalarına başlamıştır. Gizlilik içinde yürütülen bu programlar hakkındaki bilgiler Sovyetler Birliği dağıldıktan sonra İngiltere, ABD gibi ülkelere sığınan program çalışanlarının ifadeleriyle ortaya çıkmıştır. 1972 yılında Birleşmiş Milletler "Biyolojik ve Zehirli Silahlar Sözleşmesi (BWC)" aralarında ABD, İngiltere, Almanya, Sovyetler Birliği ve Türkiye'nin de olduğu 46 ülke tarafından imzalanarak bilimsel

araştırma, bağışıklama ve biyogüvenlik gibi savunma önlemleri dışında biyolojik silahların geliştirilmesi, üretilmesi, depolanması ve transferi yasaklandı. Sözleşmeyi imzalayan ülke sayısı 2011 yılında 165 olmuştur. Sözleşmeyi imzalamasına rağmen Sovyetler Birliği gizli şekilde programlarına devam etmiş, 1979 yılında Sverdlovsk askeri üssündeki laboratuvarından kaza ile havaya karışan şarbon sporlarına bağlı bir salgın ortaya çıkmış ve 68 kişi hayatını kaybetmiştir. Sovyet yönetimi saldırı amaçlı biyolojik silah programına sahip olduğunu uzun süre reddetmiş, ancak 1992'de Başkan Yeltsin programın varlığını kabul ederek sonlandırılması emrini vermiştir. 2001 yılında ABD Kongre üyelerine ve Medya kuruluşlarına şarbon sporları içeren mektupların gönderilmesiyle biyoterrorizm yeniden gündem oluşturmuştur. Bu saldırılarda 5'i ölümlü sonuçlanan 22 şarbon vakası ortaya çıkmıştır. Bu konuda duyarlı hale gelen kamuoyu (Kongre üyeleri, Birleşmiş Milletler) Irak'ın biyolojik savaş programına ilişkin iddialarla 2003 yılında işgal edilmesine destek vermiştir. Ancak işgalin ardından bu iddiaların gerçek olmadığı ortaya çıkmıştır.

Biyoteknolojik Gelişmeler ve Biyolojik Silahlar

Biyokimya, genetik, biyoteknoloji ve biyoenformatik alanındaki gelişmeler, erişilebilir genetik veri tabanlarındaki olağanüstü artışla birlikte tasarlanmış organizmaların oluşturulmasına imkân sağlamıştır. Biyolojik sistemlerin hemen her yönünü kapsayabilen ve "sentetik biyoloji" olarak da isimlendirilen biyoteknoloji hastalıkların tanımından genetik hastalıkların tedavisi ve aşı çalışmalarına uzanan

boyutlarıyla sağlık alanında olumlu yönde olduğu kadar aynı zamanda biyolojik tehdit boyutuyla da bir devrim niteliği taşımaktadır. İlk olarak 1968 yılında DNA ipliğini spesifik bölgelerden keserek farklı DNA yapılarının birleştirilmesine imkân sağlayan sınırlayıcı endonükleaz enzimlerinin keşfedilmesi "rekombinant DNA teknolojisi"nin doğmasına yol açmıştır. Ancak 2013 yılında keşfedilen CRISPR/Cas (Clustered Regularly Interspace Short Palindromic Repeats/ Crispr associated system) sistemi ile genetik yapının istenen her bir bölgesinde değişiklik yapma imkânı ortaya çıkmıştır.

Son gelişmelerle genetik düzenleme (gen ekleme/çıkarma, gen aktivasyonu/inhibisyonu, yeni düzenleme), genom dizilimi, DNA sentezi çok daha kolay şekilde yapılabilmektedir. Spesifik genler bir patojenden çıkarılıp diğerine aktivitesini değiştirmek üzere eklenebilmektedir. Böylece mikroorganizmalar arasında doğal şartlarda ancak uzun bir sürede gerçekleşen yatay gen transferi ile virülans kazanımı biyoteknoloji ile hızlı bir şekilde sağlanabilmektedir. Yaşadığımız çağ (21. yüzyıl) bu alanda ortaya konan gelişmelerle "biyoteknoloji yüzyılı" olarak vasıflandırılmaktadır. Biyoteknoloji kötü niyetle kullanıldığında insanlık için faciaya dönüşebilir. Biyolojik silahlar ve gelecek tehditleri hakkında 1997 yılında ABD'de oluşturulan araştırma grubu (JASON) toplum için ciddi tehdit oluşturabilecek altı grup genetik tasarımı patojen (ikili biyolojik silahlar, tasarlanmış genler, gizli virüsler, konak değiştiren patojenler, tasarlanmış hastalıklar ve gen tedavisinin silah olarak kullanımı) tanımlamıştır. Başlangıçta fütüristik ve spekülatif gibi görünen bu tehditlerin birçoğunun gerçeklik boyutu olduğu söz konusu patojenlerin bir kısmının üretilip stoklandığı bildirilmektedir.

İkili biyolojik silahlar: Aynı halde güvenli olduğu halde karıştırıldığında öldürücü olabilen iki komponentten oluşan biyolojik silahlardır. Sistem bir virüs ile yardımcı bir virüs ya da bakteriyel virülans plazmidini ile oluşmaktadır (hepatit D virüsünün yardımcı hepatit B virüsü ile ağır enfeksiyon yapması gibi). Sovyetler Birliği'nden bir ilticacı 1992 yılında Başkan Yeltsin'in biyolojik silah programını sona erdirmeye talimatına rağmen gizlilik içinde "Temple Fortune" kod adıyla ikili biyolojik silah çalışmalarına devam edildiğini açıklamıştır. Bu açıklamalara göre orijinal hali virülen olmayıp güvenli

çalışılıp saklanabilen bir etkeni oldukça virülen ve antibiyotiklere dirençli hale (süper veba) dönüştürecek bir mekanizma Rus bilim insanları tarafından geliştirilmiştir. İkili biyolojik silahlar kolay muhafaza ve tehlikesiz şekilde taşınabilme avantajına sahiptir. Ayrıca anlaşılabilirliği de çok daha zordur.

Tasarlanmış genler ve canlı formları: İnsan genom projesinin tamamlanması (2002), pek çok virüs, bakteri, plazmid genom dizilerinin ortaya konması beraberinde sentetik genler, sentetik virüsler ve sentetik organizmalar alanının açılmasını sağladı. Rekombinant DNA teknolojisi ile sağlık alanında önemli gelişmeler (insülin üretimi, aşı geliştirme vb.) olmuştur. Ancak aynı teknolojiyi tasarlanmış genler (ilaçlara ve aşılarla dirençli, virülans artmış vb.) üzerinden kolayca biyolojik silah geliştirmede kullanılmaya başlanmıştır. Wisconsin Üniversitesinde araştırmacılar 2004 yılında 1918 grip pandemisi virüsünü kısmen yeniden oluşturarak karakterize etmişlerdir. Bu çalışmalar her ne kadar pandemilerin ortaya çıkmasına karşı önlem amacıyla yapılmakta ise de potansiyel biyolojik silah geliştirmeye de imkân sağlamaktadır.

Gizli virüsler: Bu tür biyolojik silahların temel konsepti insan vücudunda genetik vektörler aracılığı ile gizli viral enfeksiyon oluşturmak ve iç veya dış sinyalle tetikleninceye kadar enfeksiyonun gizli (dormant) halde kalmasını sağlamaktır. Sinyalle uyarılan virüs konakta istenen hasarı oluşturabilecektir.

Konak değiştiren patojenler: Tabiatta pek çok virüs doğal konaklarında ciddi bir hastalık oluşturmadan varlıklarını sürdürmektedir. Ancak, normal konaklarından başka bir konak türüne transfer edilmeleri halinde denge bozularak oldukça öldürücü patojenlere dönüşebilmektedirler. Bu yeni konakta virüs mutasyona uğramak veya farklı genler edinebilmektedir. Hayvan virüsleri genellikle rezervuarlarında çok az hastalık oluşturabilir veya hiç hastalık oluşturmaz. Ancak bu virüsler bir şekilde insana bulaştığında (SARS, MERS ve COVID-19 gibi) ciddi hastalık tabloları oluşturmaktadır. Konak değiştiren patojenlerle ilgili hastalıklar önemli bir biyolojik savaş tehdidi olup CDC tarafından öncelikli tehdit grubunda (A kategorisi) tasnif edilmektedir. Ancak bunların biyolojik silah olarak varlıkları tartışma konusudur.

Tasarlanmış hastalıklar: Moleküler biyoloji ve biyoteknoloji alanındaki gelişmeler önce kavramsal bir patoloji/hastalık tasarlama ve sonra da bu tasarlanmış patolojiyi oluşturacak etkeni üretebilme noktasına varmıştır. Bunun için immün sistemin işleyişi veya hücre harabiyetini sağlayan inaktif gen bölgelerinin aktive edilmesi yahut da apoptoz mekanizmaları hedef alınabilir. Bunlar halen imkân dâhilinde olmakla birlikte gelecek kurgularıdır. Ancak biyoteknolojik araçların kullanımıyla hücrenin temel metabolik aktiviteleri ve karmaşık biyokimyasal reaksiyonlarının birçoğu keşfedilmiş durumdadır. Bu bilgiler tasarlanmış organizmalar ve tasarlanmış hastalıklar için dayanak noktaları oluşturmaktadır.

Gen tedavisinin biyolojik silah olarak kullanımı: Genetik hastalıkların tedavisinde bozuk gen yerine sağlam gen ikame edilmeye çalışılır. Gen transferi için genellikle geni hedefe ulaştıracak viral vektörler kullanılır. Bu konuda önemli bir gelişme Avustralya'da fare çiçeği (*mousepox*) virüsü ile yapılan bir deneyde yaşanmıştır. Araştırmacılar deney fareleri üzerinde çalışırken beklenmedik şekilde letal bir fare çiçeği virüsü geliştirmişlerdir. Genetik değişime uğramış bu virüs immün sistemlerine saldırarak deney farelerinin tamamını öldürmüştür. İstenmeden oluşan bu modifiye virüsün insan çiçeği (*smallpox*) virüsüne eklendiğinde benzer etkiyi gösterebileceğinden endişe duyulmaktadır. Biyoteknolojik araç ve teknikler gelişip yaygınlık kazandıkça biyolojik tehdit boyutu da artmaya devam edecektir. Bu silahların bir kısmında virülans artışı, çevresel koşullara dayanıklılık, özel hedeflere/konaklara etkili olma, normalde insanda enfeksiyon yapmayan bir virüsün patojen hale getirilmesi, konak özelliğinin değiştirilmesi gibi farklı özellikler öne çıkacaktır.

Gelecek Endişesi

"Geleceğin silahları genetiği tasarlanmış biyolojik ajanlar olacaktır ve bunlara karşı korunma mümkün olmayabilir." Bu söz, eski ABD Savunma Bakanı William Cohen tarafından 1998 yılında yapılan bir röportajda dile getirilmiş olup oldukça düşündürücüdür. 1975 yılında yürürlüğe giren "Biyolojik Silahlar Sözleşmesi (BWC)" bu silahların geliştirilmesi, kullanımı, depolanması ve transferini yasaklamakla birlikte; mikroorganizmalar üzerinde teşhis, te-

davi ve aşı geliştirme gibi çalışmalarla biyolojik silah geliştirme çalışmalarını birbirinden ayırmak, söz konusu mikroorganizmaları bulunduranın arkasındaki niyeti belirlemek pek mümkün değildir. Aşı geliştirme amacıyla bir virüs üzerinde çalışırken atenué bir virüs elde etme ihtimali yanında beklenmeyen ters bir sonuçla (virülanı artmış veya konak spektrumu değişmiş bir virüsün ortaya çıkması) karşılaşmak mümkündür.

Biyolojik silah programının varlığını resmî olarak kabul eden hiçbir ülke olmamakla birlikte "Biyolojik Silahlar Sözleşmesi"ne uyma taahhüdünde bulunan imzacı devletlerden 12 kadarının devam eden biyolojik silah programları olduğu ileri sürülmektedir. Bunun tipik örneklerinden biri Rusya'da Sverdlovsk askerî tesislerinde 1979 yılında şarbon sporlarının havaya sızmasıyla 68 kişinin şarbondan hayatını kaybetmesidir. Yetkililer vakaların kontamine et yemesiyle olduğunu söylediler de otopsi örnekleri olayın çözüm şarbonu olduğunu göstermiştir. ABD'de 2001 yılındaki şarbon saldırıları sonrası 1,8 milyon kadar askere çiçek aşısı uygulanmıştır. Ayrıca ABD Stratejik Ulusal Stok'ta yeterli miktarda aşı (çiçek ve şarbon aşısı da dâhil olmak üzere) ve antiviraller hazır hâle getirilmiştir. Tularemi, Ebola, Marburg gibi etkenler için de aşı çalışmaları sürdürülmektedir.

Biyoteknoloji alanındaki hızlı gelişmeler, yapay zekâ, üç boyutlu yazıcı ve robot teknolojileri biyolojik silah üretimini hızlandırmakta ve maliyetleri giderek düşürmektedir. Bu durum aynı zamanda ileri laboratuvar altyapısına sahip olmayan ülkelerin ve devlet dışı yapıların da bunları kullanma olasılığını artırmaktadır. Ayrıca özel laboratuvar gerektirmeden biyoteknoloji meraklılarının ve teröristlerin gerekli bilgileri erişime açık yazılımlardan elde ederek istedikleri genetik dizileri ve materyalleri ticari yoldan sağlamaları mümkündür. Nitekim 2016'da Kanada'da bir araştırma grubu kamuya açık genetik veri tabanından hareketle online sipariş ettikleri genetik parçaları kullanarak at çiçeği (*horsepox*) virüsünü yeniden oluşturmuştur. ABD'de bir grup araştırmacı 1918 grip pandemisi kurbanlarından birinin akciğer doku örneğinden virüsün genomik dizilimini belirleyerek bu virüsü (H1N1) yeniden canlandırabilmiştir.

Sonuç

Biyolojik silahların yasaklanması yönündeki uluslararası anlaşmalar henüz istenen bir sonuca erişmeden biyoteknoloji alanında ortaya çıkan olağanüstü gelişmelerle birlikte biyolojik silahlar çok daha büyük bir tehdit olarak önümüzde beklemektedir. Biyoteknoloji, biyolojik tehlikelere dair gelecek öngörülerini büyük ölçüde değiştirmiştir. COVID-19 pandemisinin neden olduğu sosyal, siyasi, ekonomik, psikolojik istikrarsızlığın boyutu, kendisiyle bağlantılı olmasa da biyolojik silah konusunun önemini ve art niyetiler açısından cazibesini bütün açıklığıyla ortaya koymuştur. Her ne kadar mevcut pandeminin doğal yollarla oluştuğu konusunda ciddi bir tereddüt bulunmasa da bu durum gelecekte laboratuvar kaynaklı benzer salgınların ortaya çıkma ihtimalini dışlamamaktadır. Günümüzde ve gelecekte biyolojik silah tehdidi tarihin hiçbir döneminde olmadığı kadar muhtemel görünmektedir. Biyoteknoloji hastalıkların tanımı, tedavisi, korunması için önemli imkânlar (yeni teşhis yöntemleri, aşılar, ilaçlar...) sağlarken belki de bundan daha fazla toplumsal riskleri de barındırmaktadır. Her şeyden önce biyoteknoloji yaşadığımız ekosistemi değiştirme/doğal hâlini bozma potansiyeline sahiptir. Canlıların fitratını değiştirmeye zorlamanın tipik bir örneğini 1985'li yıllarda İngiltere'de baş gösteren "prion hastalıkları" (deli dana hastalığı ve insana bulaşan şekli olan varyant Creutzfeldt-Jakob hastalığı; vCJD) oluşturmaktadır. Olay, fitratı otlarla beslenmeye uygun olan sığırlara hayvan menşeli yemlerin verilmesiyle patlak vermiş ve daha sonra bu tip yemlerin kullanılması yasaklanmıştır. Biyolojik sistemlerin dengeleriyle oynamanın, türler arasındaki sınırları ortadan kaldırmanın uzun vadede nasıl bir sonuç getireceğini kestirmek mümkün olmasa da bunun olumlu yönde cereyan etmeyeceğini ifade etmek kehanet sayılmaz.

Küresel düzeyde biyoteknolojinin güvenli kullanımı için belli sözleşmeler, rehberler olmakla birlikte, bunların etkin şekilde yürütülmesi, gözetim ve denetiminin yapılması pek mümkün olmamaktadır. Ayrıca biyogüvenlik konusunda tüm laboratuvarların uyması gereken küresel standartlar da mevcut değildir. Dolayısıyla hâlen biyoteknolojik tehditler konusunda etkin bir mekanizma bulunmamaktadır. Biyolojik tehditlere karşı uluslararası iş birliği ile biyolojik

savunma programı oluşturulması gerekmektedir. Bu çerçevede biyolojik saldırıları hızla tespit edebilecek bir gözetim mekanizmasına, laboratuvarların biyogüvenlik standartlarının oluşturulmasına, sağlık personelinin biyolojik silahlar konusunda eğitilmesine ve bütün bunlar için bilimsel bir danışma kurulu teşkiline ihtiyaç bulunmaktadır.

Kaynaklar

Almosara, J.O.: *Biotechnology: Genetically Engineered Pathogens*. Air University, Alabama 2010. <https://media.defense.gov/2019/Apr/11/2002115517/-1/1/0/53ALMOSARAMONO.PDF> (Erişim Tarihi: 01.11.2021).

CDC: *Bioterrorism. Emergency Preparedness and Response*. <https://emergency.cdc.gov/bioterrorism/prep.asp> (Erişim Tarihi: 01.11.2021).

Charlet K.: *The New Killer Pathogens*. *Foreign Affairs* May/June 2018. <https://www.foreignaffairs.com/articles/2018-04-16/new-killer-pathogens> (Erişim Tarihi: 05.11.2021).

Deepthy A. ve diğerleri: *Bioterrorism: An Overview of Agents, Nature, Consequence, Detection and Medical Management*. *Journal of Pharmaceutical and Scientific Innovation*, 2012, 12:35. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20123313975> (Erişim Tarihi: 01.11.2021).

Ergen E.: *Savaşın Mikrobik Tarihi. Bilim ve Ütopya*, 24 Nisan 2020. <https://bilimveutopya.com.tr/savasin-mikrobik-tarihi-i> (Erişim Tarihi: 01.11.2021) (Erişim tarihi: 02.11.2021).

<https://carnegieendowment.org/2020/11/20/blessing-and-curse-of-biotechnology-primer-on-biosafety-and-biosecurity-pub-83252> (Erişim Tarihi: 03.11.2021).

<https://ctc.usma.edu/engineered-pathogens-and-unnatural-biological-weapons-the-future-threat-of-synthetic-biology/> (Erişim Tarihi: 03.11.2021).

Kılıç S.: *Biyolojik Silahlar ve Biyoterörizm*. 2006, *Türk Hij. Den. Biyol. Derg.* 63: 1-20 https://jag.journalagent.com/turkhijyen/pdfs/THDBD_63_1_1_20.pdf (Erişim Tarihi: 01.11.2021).

Langer R., Sharma S.: *The Blessing and Curse of Biotechnology: A Primer on Biosafety and Biosecurity*. *Carnegie Endowment for International Peace*, November 20, 2020.

Wickiser JK ve diğerleri: *Engineered Pathogens and Unnatural Biological Weapons: The Future Threat of Synthetic Biology*. *CTS-Sentinel* 2020, 13 (8): 1-7.

Yenen O.Ş., Doğanay M.: *Biyoterörizm*. 2008, *ANKEM Dergisi* 22: 95-105 https://www.ankemdergi.org.tr/ANKEMJOURNALPDF/ANKEM_22_2_95_116.pdf?ID=607 (Erişim Tarihi: 01.11.2021).