



BİYOTEKNOLOJİ ÇAĞINDA BİYOLOJİK HARP



İşbu eserde yer alan veriler/bilgiler, yalnızca bilgi amaçlı olup, bu eserde bulunan veriler/bilgiler tavsiye, reklam ya da iş geliştirme amacına yönelik değildir. STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş. işbu eserde sunulan verilerin/ bilgilerin içeriği, güncelliği ya da doğruluğu konusunda herhangi bir taahhüde girmemekte, kullanıcı veya üçüncü kişilerin bu eserde yer alan verilere/bilgilere dayanarak gerçekleştirecekleri eylemlerden ötürü sorumluluk kabul etmemektedir. Bu eserde yer alan bilgilerin her türlü hakkı STM Savunma Teknolojileri Mühendislik ve Ticaret A.Ş.'ye aittir. Yazılı izin olmaksızın işbu eserde yer alan bilgi, yazı, ifadenin bir kısmı veya tamamı, herhangi bir ortamda hiçbir şekilde yayımlanamaz, çoğaltılamaz, işlenemez.



1. GİRİŞ

Kontrol altındaki hastalık yapıcı (patojen) bakteri, virüs ve mantarların, düşmana karşı üstünlük sağlanması amacıyla kullanılması ihtimali 100 yılı aşkın bir süredir kaygı vermektedir. Devletler ve terör örgütlerinin gizli biyolojik silah programı yürüttüğü ve zaman zaman buna başvurduğu öteden beri iddia edilmektedir. Öte yandan kitlesel ölümlere yol açabilme potansiyeli teslim edilmekle birlikte biyolojik silahların kullanıldığına ilişkin kanıtlanmış vakaların sayısı oldukça azdır ve etkisi sınırlı kalmıştır. Günümüzde resmen kabul edilmiş biyolojik bir silah programına sahip ülke bulunmamaktadır. Ne var ki biyoteknoloji alanında son yıllarda tanık olunan hızlı ilerlemeler, özellikle gen düzenleme çalışmalarında elde edilen başarılar, endişelerin artmasına neden olmuştur. Biyoteknoloji alanındaki gelişmeler biyolojik silahların üretilmesi sürecini hızlandırmakta ve maliyetini düşürmektedir. Öte yandan üç boyutlu (3D) yazıcı, yapay zekâ ve robot teknolojilerindeki ilerlemeler, biyoteknoloji ile üretilebilecek biyolojik silahların hızla yaygınlaşması; daha vahimi, devlet dışı yapıların eline geçerek suç ve terör amaçlı kullanılması ihtimalini güçlendirmiştir. Bu analizde sözkonusu teknolojilerin yol açtığı tehditler irdelenecektir.

2. BİYOLOJİK HARP UNSURLARI VE TARİHSEL GELİŞİMİ

Biyolojik silahlar, literatürde genel olarak, diğer canlılar üzerinde zararlı etkiler yaratmak amacıyla kullanılan bakteri, virüs ve benzeri bulaşıcı ajanlar olarak

tanımlanmaktadır. Bu tanım genellikle biyolojik olarak elde edilen toksinleri ve doğal zehirleri de kapsayacak biçimde genişletilmektedir. Biyolojik harp aracı olarak kullanılabilir 12 binden fazla ajan olduğu ifade edilmektedir^[1].

2.1 Literatürde Yer Alan Biyolojik Harp Ajanları

ABD'deki Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (CDC), biyolojik ajanları hastalık oluşturma, yayılma ve öldürücü özelliklerini göz önüne alarak üç kategoride incelemektedir (Tablo 1). Kategori A içerisinde insandan insana bulaşabilen, kitlesel ölümlere neden olarak halk sağlığını önemli oranda etkileyen ve paniğe yol açan ajanlar yer almaktadır. Kategori B içinde yer alan bazı ajanların geniş yayılma potansiyeli olsa da, genellikle daha az hastalık ve ölüme neden olmaktadır. Kategori C'de yer alan ajanlar için ise, günümüzde yüksek biyoterörizm riski olmamakla birlikte, yayılımı ve üretimi kolay olan bu ajanların, gelecekte yüksek riske neden olabilecekleri düşünülmektedir.

2.2 Biyolojik Saldırı, Biyolojik Harp, Biyoterörizm ve Biosuç

Biyolojik ajanların insanlar üzerinde kullanımı amaçlarına göre farklı tanımlar almaktadır. Biyolojik saldırı; genel bir kavram olarak, sosyal, ekonomik, siyasi, psikolojik savaş üstünlüğü sağlamak, baskı ve yıkıma yol açmak amacıyla, mikroorganizmaların veya onlara ait toksin maddelerin insanlar, hayvanlar ve bitkiler üzerinde kasıtlı kullanımını ifade etmektedir^[2]. Biyolojik saldırı,

Kategori	Biyolojik Ajan	Hastalık
A	Basileus antrasis	Şarbon
	Klostridium botulinum	Gıda zehirlenmesi
	Vibonik veba bakterisi	Veba
	Variola major	Çiçek hastalığı
	Francisella tularensis	Tüla remi
	Filovirüs ve Arena virüsleri (Ebola, Lassa vb)	Viral kanamalı ateş
B	Brusella türleri	Bruselloz
	Klostridium Perfringens'in epsilon toksinleri	Gazlı Gangren
	Samonella türleri	Tifo, paratifo ve gıda zehirlenmesi
	Eschericia coli O157:H7	Gıda Zehirlenmesi
	Şigella	Şigelloz
	Burkholderia mallei	Ruam Hastalığı
	Burkholderia pseudomallei	Melioidoz
	Chlamydia Psittaci	Psittakoz
	Caxiella burnetli	Q ateşi
	Rickettsia prowazekii	Tifüs
	Toksinler (Ör. Risin, Stafilokkal enterotoksin B)	
Su kaynaklı ajanlar (Ör. Vibrio Cholarea, Cryptosporidium pravum)		
C	Nipah virüsleri	Esafait
	Hantavirüsler	Hantapulmoner sendrom

Tablo 1: Biyolojik ajanlar ve kategorileri

 Kaynak: ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi^[2]

bazı analizlerde saldırıyı gerçekleştiren aktörler dikkate alınmadan, “Biyolojik Harp” olarak nitelenmektedir. Biyolojik saldırının aktörleri ise devletler, terör örgütleri ile suçlular ve suç örgütleri olmuştur^[4]. Çoğu kaynakta biyolojik saldırının ideolojik, dini veya siyasi amaçlarla gerçekleştirilmesi “biyoterörizm” olarak nitelendirilmektedir. Sözkonusu saldırıların intikam veya gasp yoluyla para elde etme amacıyla tek bir kişi veya küçük bir grubu hedef alması halinde ise “biyosuç” (biocrime) tanımına başvurulmaktadır^[5].

2.3 Biyolojik Tehdit

Amerikan Bilim İnsanları Federasyonunun (Federation of American Scientists) NATO için hazırladığı bir kılavuzda, biyolojik silahların yarattığı tehditler şu şekilde sıralanmıştır:

- Biyolojik silahlar asgari lojistik ihtiyacıyla geniş bir alanda çok sayıda ölüme ve kayba yol açabilecek kapasiteye sahiptir.
- Biyolojik silahların kimin tarafından kullanıldığının tabiki güçtür.
- Biyolojik ajanların üretimi düşük maliyetlidir ve diğer silah sistemlerine göre kolay elde edilebilmektedir.

Birleşmiş Milletler'in (BM) 1969'da yaptırdığı bir araştırmaya göre, biyolojik silahın sivillere karşı kullanımının maliyeti kilometrekare başına 1 dolarken, kimyasal silahların maliyeti 600 dolar, nükleer silahların 800 dolar, konvansiyonel silahların ise 2.000 dolardır.

- Sivilleri biyolojik silahlardan korumak ve saldırıya uğrayanları tedavi etmek oldukça güçtür^[6].

2.4 Biyolojik Harp Tarişesi

Devletlerin biyolojik silaha başvurusu anlamında biyolojik harbin tarihi Antik Çağ'daki Peloponnes Savaşları'na kadar gitmektedir. Modern Biyolojik Harp tarihi ise 20'nci yüzyılın ilk devletlerinin biyolojik silah programlarına girişmesiyle başlamıştır (Tablo 2). Almanya, henüz Birinci Dünya Savaşı sürerken biyolojik harp programını başlatmıştır. İki dünya savaşı arası dönemde Fransa, Macaristan, İtalya, Japonya, Polonya ve Sovyetler Birliği biyolojik savaş programlarını yürütmeye başlamıştır. Aynı dönemde Fransa, Almanya, Hindistan, ABD ve Japonya'da ilk biyoterör ve biyosuç saldırıları kayıtlara geçmiştir. Kayıtlara geçen en fazla insanın öldüğü biyolojik saldırı Çin'de yaşanmıştır. Japonya'nın 1930'lu yılların ortasında işgal ettiği Çin'de İkinci Dünya Savaşı'nın sonuna kadar çok

Tarih	Saldırgan	Hedef	Biyolojik Ajan	Kayıplar
1914-1918	Almanya	Müttefikler	Çiçek mikrobu	Bilinmiyor
1932-1942	Japonya	Mançurya savaş esirleri	B.anthraxis (Şarbon) ve B.Mallei	En az 1000 ölü
1940-1942	Japonya	Çeşitli kentler, Çin	Y Pestis	En az 10 bin ölü
1940-1945	Almanya	Savaş Esirleri	R.prowazeki, R. Mooseri, Hepatit A	Bilinmiyor
1979	Belirsiz	Sverdlovsk, Rusya (kaza)	B.anthraxis (Şarbon)	68 ölü, 300 yaralı
1984	Belirsiz	Oregon, ABD (Biyo saldırı)	Salmonella Ssp.	751 yaralı
2001	Belirsiz	Çeşitli kentler, ABD (Biyoterör)	B.anthraxis (Şarbon)	5 ölü, 17 yaralı

Tablo 2: Yakın tarihte kayıtlara geçmiş belli başlı biyolojik saldırılar^{[4], [7]}

sayıda bölgede biyolojik silah kullanarak on binlerce sivilin ölümüne yol açtığı belirtilmektedir. ABD, 1942’de başlattığı ve yoğun olarak yürüttüğü biyolojik silah programını 1969’da terk ettiğini duyurmuştur. Mısır, Rodezya ve Güney Afrika Cumhuriyeti’nin 70’li yıllarla 80’li yılların başlarında biyolojik silah kapasitesi geliştirmeye çalıştığı, Irak’ın ise 70’li yılların sonunda geliştirdiği biyolojik silahları 80’li yıllarda savaştığı İran’a karşı kullandığı belirtilmektedir^[4].

2.5 Uluslararası Hukukta Biyolojik Silahlar

Biyolojik silahların sivil-asker ayrımı yapmadan kitlesel ölümlere, hayvan ve bitki varlığının yok olmasına yol açması bu silahların kullanımının yasaklanması yönündeki uluslararası çabaların erken denebilecek tarihlerde başlamasına yol açmıştır. Biyolojik silahların kullanımının yasaklanmasına yönelik çabaların ilk sonucu, 1925 yılında kabul edilen Cenevre Konvansiyonuna, her türlü biyolojik ajanın savaşlarda kullanılmasını yasaklayan hüküm eklenmesi olmuştur. 1972’de kabul edilen Biyolojik Silahlar Konvansiyonu, (Convention on the Prohibition of the Development, Production and Stockpiling of Bacteriological (Biological) and Toxin Weapons on Their Destruction) taraf olan ülkelerin biyolojik silah araştırmalarını durdurmasını öngörmüş ve biyolojik silah stoklanmasına ve bu silahların geliştirilmesinde kullanılacak malzeme ve ekipmanın ticaretine yasak getirilmiştir^[8]. Konvansiyona zaman içinde yapılan eklerle biyolojik silah yapımında kullanılacak malzemenin ihracat ve ithalat kontrol mekanizmaları getirilmiş, biyogüvenlik alanında standartlar oluşturulmuş ve tehlikeli madde taşımaları düzenlemeleri yapılmıştır^[9].

Biyolojik Silahlar Konvansiyonuna bugüne kadar 182 ülke taraf olmuştur. Kalan 15 ülke arasında İsrail, Suriye ve Mısır’ın olduğu dikkat çekmektedir. Suriye ve Mısır konvansiyona imza atmış ancak parlamentolarında onaylanmamıştır. Konvansiyonu hiç imzalamayan İsrail’in geçmişte yoğun biçimde biyolojik silah programı yürüttüğü ileri sürülmektedir ve bu programın bugün de sürdürüldüğü iddia edilmiştir^[10].

1972 Biyolojik Silahlar Konvansiyonu ile biyolojik silah programları askıya alınmıştır. Ancak konvansiyon

etkin bir denetleme mekanizması öngörmemektedir. Ayrıca imzacı ülkelerin, örneğin “biyoteknoloji araştırması” yapıldığını öne sürerek örtülü biyolojik silah geliştirme faaliyeti yürütebileceği ifade edilmektedir^[5].

Son olarak konvansiyon, ülkelere “Savunma amaçlı olarak” biyolojik araştırma hakkı da tanımıştır. Konvansiyona göre ülkelerin savunma amaçlı biyolojik araştırmalarına ilişkin belli bilgileri sunmaları gereklidir. Birleşmiş Milletler Güvenlik Konseyi, bu araştırmalarda konvansiyonu ihlal eden faaliyetler yürütüldüğü yönündeki raporlar üzerine inceleme yaptırmaya karar verebilmektedir. Buna karşılık Güvenlik Konseyinin daimi üyelerinin biyolojik silah denetçilerini ülkelere kabul etmeyi veto etme hakkı bulunmaktadır^[11].

3. BİYOTEKNOLOJİ VE YENİ BİYOLOJİK HARP TEHDİDİ

Günümüzde hızla gelişme kaydeden alanlardan biri biyoteknolojidir. Biyoteknoloji, genel olarak, biyolojik süreçlerin endüstriyel, tıbbi ve diğer üretim amaçları için kullanılmasına yönelik araştırma alanı olarak tanımlanmaktadır^[12]. Biyoteknoloji alanındaki çalışmalar büyük ölçüde moleküler biyoloji, biyokimya, hücre biyolojisi, embriyoloji, genetik ve mikrobiyoloji çalışmalarına dayanmaktadır. Biyoteknoloji çalışmalarının odak noktalarından biri gen düzenleme tekniğidir. Gen düzenleme, genel olarak işlevsel genlerin iki organizma arasında naklidir. Gen düzenleme teknikleri 40 yıldan fazla süredir bilinmekte ve uygulanmaktadır. Ancak günümüz teknolojisi bu işlemin çok daha basit, hızlı ve düşük maliyetle yapılmasını sağlamıştır. CRISPR adı verilen gen düzenleme araçlarıyla bilim insanları artık, bir organizmanın DNA’sını daha etkili, dana esnek ve isabetli biçimde değiştirebilmektedir.

Gen düzenleme tekniğinin insanlığın yararına kullanılması için yoğun çaba sarf edilmektedir. Araştırmacılar yeni gen düzenleme tekniğine, ölümcül gen mutasyonlarının önüne geçmek, hastalıklara daha dayanıklı tarım bitkileri elde etmek, kanseri tedavi etmek ve hatta nakil bekleyen hastalar için laboratuvar ortamında organ geliştirmek amaçlarıyla çalışmaktadır^[13].

Ancak gen düzenleme teknolojisinin kötü amaçlarla kullanılacağı ihtimali endişe yaratmaktadır. Birleşmiş Milletler tarafından 2018’de yayınlanan bir raporda, “sentetik biyoloji ve gen düzenleme tekniklerindeki ilerlemeyle yasaklanmış silahlara erişimin önündeki engellerin aşılabileceği” yönünde kaygı dile getirilmiştir^[14]. ABD’nin istihbarat yetkilileri, 2016’da gen düzenleme teknolojisi için gerekli temel bileşenlerin “internet üzerinden sadece 60 dolara satın alınabileceğine” dikkat çekerek, sözkonusu yöntemin “kitle imha silahlarının yayılmasına yol açabilecek bir tehdit” kapsamına alınmasını önermiştir^[15]. ABD’de gen düzenleme tekniğinin kullanılmasına kısıtlı alanlarda izin verilmektedir^[16]. ABD Ulusal Bilimler Mühendislik ve Tıp Akademisi (NAP) Haziran 2018, Stockholm Uluslararası Barış Araştırmaları Enstitüsü (SIPRI) ise Mart 2019’da yayınladıkları raporlarla gen düzenleme teknolojisinin biyolojik silahların yaygınlaşması tehlikesini artırdığı uyarısında bulunmuşlardır^{[12], [17]}.

Gen düzenleme teknolojisinin yarattığı tehlikelere ilişkin SIPRI ve NAP raporlarında yer alan ifadelerden bazıları şunlardır^{[12], [17]}:

- Biyoteknoloji alanındaki ilerlemeler, gen ve organizmaların düzenlenmesine ilişkin teknikleri iletmiş, hastalık yapıcı mikroorganizmaların daha tehlikeli hale getirilmesinin önünü açmıştır.
- Hastalık yapıcı organizmalar yeni teknolojilerle daha hızla yayılırken daha fazla canlıyı etkileyebilecek, tedaviye dirençli ve daha ölümcül hale getirilebilecektir.
- Bilimsel ilerlemeler, var olanları yeniden tasarlamayı, yok edilmiş virüsleri canlandırmayı veya tümüyle yeni biyolojik silahların geliştirilmesini teorik olarak mümkün kılmaktadır.
- Biyoteknoloji, biyolojik silah olarak kullanılacak biyoloji ajanların tasarlanmasının süresini azaltırken maliyetini düşürmektedir. Biyoteknoloji geliştirdiği setler sayesinde uzman olmayanlar dahi gen düzenleme faaliyeti yürütebilecek hale gelmiştir. Bu da biyolojik silah geliştirebilecek aktörlerin sayısında belirgin artışa yol açabilecektir.
- Biyoteknolojideki gelişmeler, devletlerin dikkatini yeniden biyolojik harp programlarına yönlendirme potansiyeline sahiptir. Devletler terk edilen programlara geri dönebilir veya yeni bir programa başlayabilirler. Böylesi bir gelişme, biyolojik silahların yasaklanmasında sağlanan ilerlemeleri sekteye uğratacak, yeni bir silah yarışı başlatacak ve uluslararası istikrarı bozacaktır.
- Daha hızla yayılan biyolojik ajanların geliştirilmesi bunlarla yapılacak saldırılarda lojistik gereksinimleri de en aza indirebilecek, hastalıklar asgari gayretle hızla yayılabilecektir.
- Gen düzenleme tekniğiyle hedefe özel biyolojik silahların geliştirilmesi de mümkündür. Hedef alınan kişinin DNA’sının genetik kodlarına göre düzenlenebilecek biyolojik silahlarla, izlenmesi güç suikastlar gerçekleştirilmesi teorik olarak mümkündür.

4. BİYOTEKNOLOJİNİN DİĞER YÜKSELEN TEKNOLOJİLERLE YAKINSAMASININ YARATTIĞI TEHDİTLER

Biyoteknolojinin, özellikle gen düzenleme teknolojisinin yarattığı yeni biyolojik harp tehdidi, 21’inci yüzyılın yükselen diğer teknolojilerinin yardımıyla daha da kaygı verici boyutlara ulaşma potansiyeli taşımaktadır. Aşağıda bu yeni tehditler incelenecektir.

4.1 Katmanlı İmalat

Katmanlı imalat henüz olgunluk aşamasına gelmemiştir ancak üretim ve tedarik zinciri süreçlerinde köklü dönüşümlere yol açma potansiyeline sahiptir. Sıklıkla “3 Boyutlu Yazıcı Teknolojisi (3D)” olarak da anılan katmanlı imalat ile farklı türden malzemelerle her türlü formda karmaşık nesnenin katman katman üretilmesi mümkün olabilmektedir. Buna yapay dokular dahildir. Biyobaskı (Bioprinting) adı verilen bu yöntemle canlı dokular hatta organların üretilebileceği, bu konuda çalışmaların hızla ilerlediği belirtilmektedir^[18]. Sözkonusu yapay dokular bugün ilaç araştırmalarında kullanılmaktadır. Sentetik dokuların biyolojik silah testlerinde de kullanılabilirliği belirtilmektedir^[12]. 2017’de Hollandalı bilim insanları mükemmel püskürtmeli bir 3D yazıcı ile canlı E.Coli bakterilerinden oluşan katmanlar elde ettiklerini ve bunun maliyetinin son derece düşük olduğunu duyurmuşlardır^[19].

Katmanlı imalat teknolojisi üretim süreçlerini değiştirdiği gibi üretimin ihtiyaç noktasına en yakın noktada gerçekleşmesini sağlamaktadır. Nitekim ABD ordusunun operasyon bölgelerine 3D yazıcılar götürerek gerektiğinde parça üretimi yaptığı bilinmektedir^[20]. Katmanlı imalatın bu esnekliği güvenlik alanında endişeler yaratmaktadır. 3D yazıcılardan tümüyle fonksiyonel tabanca gibi konvansiyonel silahlar üretilebildiği ispatlanmış ve kaygı yaratmıştır^[21]. Katmanlı imalat teknolojisinin bu kabiliyeti konvansiyonel olduğu kadar biyolojik, kimyasal ve nükleer silahların yayılması endişesini artırmıştır. Birleşmiş Milletler, üretim ve ticareti kontrol altında tutulan hassas kalemlerin katmanlı imalatla fark edilmeksizin üretiminin mümkün olabileceğine dikkat çekmiş ve bunun silahsızlanma ve silahların yaygınlaşmasının engellenmesi çabalarına sekte vurabileceğini belirtmiştir^[14]. Ayrıca katmanlı imalat ile biyolojik silahların üretiminde gerekli laboratuvar araç ve gereçleriyle malzemelerin üretiminin de mümkün olduğu belirtilmektedir. Böylece katmanlı imalat ile gizli biyolojik silah araştırmaları yürütülebilecektir^[12]. Katmanlı imalatla ilgili bir diğer endişe ise, bu yöntemle üretilen insansız hava araçlarıyla biyolojik saldırıların izlenmesi zor şekilde gerçekleştirilebileceği yönündedir^[12].

4.2. Nanoteknoloji

Biyoteknolojinin, özellikle gen düzenleme teknolojisinin ardında nanoteknoloji alanındaki gelişmeler yatmaktadır. Nanoteknoloji araçlarına erişimi olanların bu platformları



kötü amaçlarla kullanmasından endişe edilmektedir. Zira nanoteknoloji araçlarıyla biyolojik ajanların kızılötesi ışınlar gibi zararlı dış etmenlerden korunmasını, saklanması ve taşınmasını kolaylaştıracak nanokapsüller veya mikrokapsüller üretilmektedir^[17].

4.3 Otomasyon ve Yapay Zekâ

Otomasyon, yapay zekâ ve makine öğrenmesi teknolojileri her alanda olduğu gibi biyoteknoloji alanında da yoğun biçimde kullanılmaya başlanmıştır. Makine öğrenmesi teknolojisindeki gelişmeler sayesinde araştırmacılar karmaşık biyolojik verileri kısa zamanda, düşük maliyetle analiz edebilmektedir. Örneğin, araştırmacılar, büyük genetik dizilimleri görüntüleyebilmekte, binlerce klon ve varyantı birkaç hafta içinde inceleyebilmektedir^[17]. Böylece örneğin genlerin fonksiyonlarının yorumlanması ve belli hastalıklara yol açan genetik işaretleri belirlemek mümkündür.

Yapay zekâ ve otomasyon uygulamaları modern tıpta pek çok hastalığa karşı yeni çözümlerin geliştirilmesinin yolunu açmıştır. Ancak bu çözümlerin de kötü amaçlı kullanımından endişe edilmektedir. Çünkü kötü niyetli aktörler, bu kabiliyetleri, biyolojik silah ajanlarının geliştirilmesinde ve test edilmesinde kullanabilir^[12].

Bugün üretim, alım veya satımında hiçbir kısıtlama bulunmayan ticari ve eğlence amaçlı insansız hava araçları, biyolojik silahların taşınması ve kullanılmasında kullanılabilecek niteliktedir. Örneğin tarımsal amaçlı

olarak geliştirilen insansız hava araçları, mahsûlün ilaçlanmasında kullanılmak üzere püskürtme sistemlerine de sahiptir. Bu püskürtme sistemi, insanlar, hayvanlar veya mahsule karşı biyolojik saldırı gerçekleştirilmesinde kullanılabilir^[12].

Yapay zekâ teknolojisinin insansız hava araçlarına uygulanması, biyolojik saldırıların hassas biçimde gerçekleştirilmesinin de önünü açmıştır. Günümüzde yapay sinir ağlarına sahip, insansız hava araçları sürüleri üzerinde araştırmalar hızla ilerlemektedir. İHA sürüleri, hedef hassasiyetinin sağlanması için çevresel verileri toplayıp analiz edebilir ve saldırı için en uygun zaman ve noktayı tespit edebilir. Hedefe hassasiyeti sayesinde İHA'ların taşınması gereken biyolojik ajan miktarı da azalacaktır^[22].

4.4. Robot Teknolojisi

Günümüzde endüstriyel robotlar, hizmet robotları ve otonom nesnelere alanında hızlı bir gelişme yaşanmaktadır. Robotlar; mikro elektronik teknolojisi, yeni ve dayanıklı malzemeler, uzun ömürlü piller, nesnelere interneti uygulamaları ve gelişmiş yapay zekâ sayesinde, daha işlevsel hale gelirken, aynı zamanda daha küçük ve daha düşük maliyetli olarak üretilmektedir^[12]. Biyoteknoloji, endüstriyel robotlardan, hizmet robotlarından ve otonom nesnelere yararlanmaktadır. Endüstriyel robotlar araştırmacıların üzerinden emek yükünü almıştır. Robotlar sayesinde laboratuvar süreçlerinde otomasyon

hızlanmış, deneylerin verim ve etkinliği artmıştır. Dahası robotlar sayesinde araştırmacıların laboratuvara bağımlılığı azalmış, bulut laboratuvar (Cloud laboratory) olanaklarıyla araştırmalar uzaktan gerçekleştirebilir hale gelmiştir. ABD merkezli biyoteknoloji şirketi Emerald Therapeutics, laboratuvar robotlarının 60'tan fazla görevi yerine getirebildiğini, bunun için bilim insanlarının, numunelerini ve istedikleri testlerin listesini göndermesinin yeteceğini bildirmektedir^[12].

Robot laboratuvarlar, iyi ve kötü amaçlar için kullanıma açıktır. Bu tür laboratuvarlar biyolojik silah geliştirilmesi çabalarında kullanılabilmesi gibi bu tür saldırıların en kısa sürede tespit edilmesinde de kullanılabilir. Öte yandan robot teknolojisinin biyolojik harp tehdidi, bu tür kötü amaçlı araştırmalardan çok, geliştirilen biyolojik silahlarla yapılacak saldırıları kolaylaştırmasında yatmaktadır. Özellikle insansız hava araçları ve nanorobot teknolojisinin biyolojik saldırılarda kullanılmasından endişe edilmektedir.

Nano ve mikrorobot çalışmaları da endişe yaratmaktadır. Saç kılından daha küçük, böceğe benzer nanorobot geliştirme çalışmalarına ABD, Rusya ve Çin'in milyarlarca dolar harcadığı ileri sürülmektedir. Gözle fark edilmeyecek bu robotların suikastler veya hayvan, bitki, su ve gıda kaynaklarını hedef alan biyolojik saldırılarda kullanılabilmesi ifade edilmektedir^[23]. Ancak bu alanda yapılan çalışmalar henüz deneysel aşamdadır ve bu tür sistemlerin terör ve suç örgütlerinin eline geçme olasılığı düşük görülmektedir^[12].

5. SONUÇ

Biyolojik saldırılar, kimyasal ve nükleer saldırılarla birlikte, sonuçları açısından uluslararası toplumun vicdanını en fazla yaralayan saldırı türleridir. Tarih boyunca örneklerine az rastlanılmakla birlikte biyolojik harp unsurlarının geliştirilmesi ve kullanılması çabaları sert tepkiyle karşılanmış ve bu tür silahların yasaklanması yönündeki çabalar başarıya ulaşmıştır. Biyolojik Silahlar

Konvansiyonunun birkaç ülke dışında kabul edilmesi de bu tepkinin en bariz yansımasıdır. Günümüzde hiçbir ülke biyolojik silah programı ve silahına sahip olduğunu açıkça ilan edememektedir. Ancak mevcut düzenlemeler gizli programların yürütülmesine, biyolojik silah stoklanması ve ticaretine tam anlamıyla engel değildir.

Biyolojik silahların engellenmesine yönelik çabalar tam olarak başarıya ulaşmazken bugün yeni ve daha büyük bir tehdit ortaya çıkmıştır. Biyoteknoloji, katmanlı imalat, yapay zekâ, nanoteknoloji ve robot teknolojilerindeki ilerlemeler, biyolojik silah araştırmasını ve üretimini kolaylaştırmakta, hızlandırmakta ve maliyetini düşürmektedir. Bu teknolojiler, yeni biyolojik silahların geliştirilmesine, daha ölümcül hale getirilmesine ve kişi veya küçük grupları hedef alabilecek nitelikte hassasiyet kazanmasına yol açmaktadır. Üstelik insanlığın yararına da kullanılan bu teknolojileri denetlemek oldukça güçtür. Bu da biyolojik silah araştırmalarının ve saldırılarının izlenmesini neredeyse imkânsız kılmaktadır.

Yukarıda aktarıldığı gibi, uluslararası örgütler, bilim insanları ve uzmanlar, yeni teknolojilerin biyolojik silahların yayılmasını kolaylaştırdığı yönündeki kaygılarını daha güçlü dile getirmeye başlamıştır. Sözkonusu uzmanlar, yeni teknolojilerin yarattığı tehditlerle başa çıkmak için uluslararası işbirliğinin artması yanında, yeni teknolojileri kullananların bilinçlendirilmesi gerekliliğini vurgulamaktadır. Öte yandan yeni teknolojilerin, olası biyolojik saldırıların durdurulması ve etkilerinin azaltılması yönünde kullanılabilmesi de hatırlatılmaktadır. Bu konuda bilimsel araştırma alanı katkıya açıktır. Nitekim Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Başkanlığı, Haziran 2018'de, kimyasal ve biyolojik savaş ajanlarına karşı yeni nesil dekontaminasyon teknolojisi geliştirmesi amacıyla bir çağrıda bulunmuştur. Çağrıda aktif karbon, nano malzeme ve radyoaktif malzeme kullanılabilmesi belirtilmiştir^[24]. Sözkonusu çabaların artması ve uluslararası nitelik kazanması, biyolojik silahların yayılması tehdidine karşı atılacak en önemli adımlardan biri olacaktır.



KAYNAKLAR

- [1] Shringarpure, Kalpita S.; Brahme, Keyur; (2018), "Biowarfare: Where do we stand?", *International Journal of Community Medicine and Public Health*, <http://dx.doi.org/10.18203/2394-6040.ijcmph20184022>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [2] *Centers for Disease Control and Prevention*, "Bioterrorism Agents/Diseases", <https://emergency.cdc.gov/agent/agent-list-category.asp>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [3] *Department of Homeland Security*, (2019), "Biological Attack Fact Sheet: Human Pathogens, Biotoxins, and Agricultural Threats", (3 Mart 2019), <https://www.dhs.gov/publication/biological-attack-fact-sheet>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [4] Carus, W. Seth; (2017), "A Short History of Biological Warfare: From Pre-History to the 21st Century", *National Defense University Center for the Study of Weapons of Mass Destruction*, (Ağustos 2017), https://ndupress.ndu.edu/Portals/68/Documents/occasional/cswmd/CSWMD_OccasionalPaper-12.pdf. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [5] Jansen, H.J.; Breeveld, F.J.; Stijnis, C.; Grobusch, M.P.; (2014), "Biological warfare, bioterrorism, and biocrime", *Science Direct*, (30 Mayıs 2014), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1198743X14641732>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [6] *Federation of American Scientists*, (1996), "NATO Handbook On The Medical Aspects Of Nbc Defensive Operations AMedP-6(B)" (1 Şubat 1996), <https://fas.org/nuke/guide/usa/doctrine/dod/fm8-9/2ch1.htm>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [7] Johnston, Robert; (2017), "Summary of historical attacks using chemical or biological weapons", [www.johnstonsarchive.net](http://www.johnstonsarchive.net/terrorism/chembioattacks.html), (5 Aralık 2017), <http://www.johnstonsarchive.net/terrorism/chembioattacks.html>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [8] *The United Nations Office at Geneva*, "Convention On The Prohibition Of The Development, Production And Stockpiling Of Bacteriological (Biological) And Toxin Weapons And On Their Destruction", [https://www.unog.ch/80256EDD006B8954/\(httpAssets\)/C4048678A93B6934C1257188004848D0/\\$file/BWC-text-English.pdf](https://www.unog.ch/80256EDD006B8954/(httpAssets)/C4048678A93B6934C1257188004848D0/$file/BWC-text-English.pdf). (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [9] *World Economic Forum*, (2019), "How emerging technologies increase the threat from biological weapons", (27 Mart 2019), <https://www.weforum.org/agenda/2019/03/how-emerging-technologies-increase-the-threat-from-biological-weapons/>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [10] Mackby, Jenifer; (2019), "Biological Weapons", *Arms Control Association*, (Ocak-Şubat 2019), <https://www.armscontrol.org/taxonomy/term/16>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [11] Gronlund, Kirsten; (2018), "Genome Editing and the Future of Biowarfare: A Conversation with Dr. Piers Millett", *Future of Life*, (12 Ekim 2018), <https://futureoflife.org/2018/10/12/genome-editing-and-the-future-of-biowarfare-a-conversation-with-dr-piers-millett/?cn-reloaded=1>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [12] Brockmann, Kolja; Bauer, Sibylle; Boulani, Vincent; (2019), "BIO PLUS X Arms Control and the Convergence of Biology and Emerging Technologies", *Stockholm International Peace Research Institute*, (Mart 2019), https://www.sipri.org/sites/default/files/2019-03/sipri2019_bioplusx_0.pdf. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [13] Charlet, Kate; (2018), "The New Killer Pathogens", *Foreign Affairs*, (Mayıs-Haziran 2018), <https://www.foreignaffairs.com/articles/2018-04-16/new-killer-pathogens>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [14] *United Nations Office for Disarmament Affairs*, (2018), "Securing Our Common Future An Agenda for Disarmament", https://front.un-arm.org/documents/SG+disarmament+agenda_1.pdf. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [15] Regalado, Antonio; (2016), "Top U.S. Intelligence Official Calls Gene Editing a WMD Threat", *MIT Tech Review*, (9 Şubat 2016), <https://www.technologyreview.com/s/600774/top-us-intelligence-official-calls-gene-editing-a-wmd-threat/>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [16] DeArment, Alaric; (2018), "FDA green-lights CRISPR Therapeutics, Vertex Pharmaceuticals' gene-editing study", *MedCity News*, (11 Ekim 2018), <https://medcitynews.com/2018/10/fda-green-lights-crispr-therapeutics-vertex-pharmaceuticals-gene-editing-study/>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [17] *The National Academy of Sciences* "Biodefense In The Age of Synthetic Biology", (2018), , https://www.indexinvestor.com/resources/Research-Materials/Disease/NAS_Biodefense_and_Synthetic_Biology.pdf. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [18] Gurdita, Akshay; (2018), "5 Most Promising 3D Printed Organs for Transplant", *All3DP*, (4 Haziran 2018), <https://all3dp.com/2/5-most-promising-3d-printed-organs-for-transplant/>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [19] Jackson Beau; (2017), "3D printing with E .coli to produce greener materials", *3D Printing Industry* (28 Şubat 2017), <https://3dprintingindustry.com/news/3d-printing-e-coli-produce-greener-materials-106763/>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [20] Lopez, Ed; (2017), "To support readiness, Army team demonstrates ability to make essential parts with 3-D printing", https://www.army.mil/197455/to_support_readiness_army_team_demonstrates_ability_to_make_essential_parts_with_3_d_printing. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [21] Cardinal, David; (2018), "3D-Printed Guns Are Only the Tip of the DIY Iceberg", *Extreme Tech*, (30 Temmuz 2018), <https://www.extremetech.com/extreme/274499-3d-printed-guns-are-only-the-tip-of-the-diy-iceberg>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [22] Kallenborn, Zachary Bleek, Philipp C. (2019), "Drones of Mass Destruction: Drone Swarms and the Future of Nuclear, Chemical, and Biological Weapons", *War on Rocks*, (14 Şubat 2019), <https://warontherocks.com/2019/02/drones-of-mass-destruction-drone-swarms-and-the-future-of-nuclear-chemical-and-biological-weapons/>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [23] Daniels, Jeff; (2017), "Mini-nukes and mosquito-like robot weapons being primed for future warfare", *CNBC*, (17 Mart 2017), <https://www.cnbccom/2017/03/17/mini-nukes-and-inspect-bot-weapons-being-primed-for-future-warfare.html>. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)
- [24] *T.C. Cumhurbaşkanlığı Savunma Sanayii Müsteşarlığı*, (2018), "Kimyasal Ve Biyolojik Savaş Kimyasal Ve Biyolojik Savaş Ajanlarına Karşı Yeni Nesil Ajanlarına Karşı Yeni Nesil Dekontaminasyon Maddesi Dekontaminasyon Maddesi Teknolojisi Geliştirme Teknolojisi Geliştirme Savunma Sanayii Müsteşarlığı Savunma Sanayii Müsteşarlığı Ar-Ge Geniş Alan Çağrısı Ar-Ge Geniş Alan Çağrısı (SAGA)", (Haziran 2018), https://www.ssb.gov.tr/Images/Uploads/MyContents/V_20180612123216281213.pdf. (Erişim Tarihi: 28 Mayıs 2019)



thinktech
STM Teknolojik Düşünce Merkezi
<http://thinktech.stm.com.tr>

