



BİYOSAVUNMA TEKNOLOJİLERİ



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

Dünya yüzyıllardır araştırmacıların yaşamı kolaylaştıran teknolojik gelişmeler doğuran çalışmalarına şahit olmuştur. Keşfedilen teknolojiler bazen beraberinde yeni bir çağı getirerek yaşamı kolaylaştırmış, bazen de çok büyük sorunlara yol açmıştır. Gelecekte yaşam için fark yaratacak yenilikler hayal edildiğinde akla ilk gelenler arasında; kendi kendine öğrenen robotlar, kendi kendini tamir eden malzemeler, yeni enerji üretim ve transfer teknolojileri ile gelişen bilgi ve haberleşme teknolojilerinin hayatımıza getireceği kolaylıklar yer almaktadır. Son yıllarda ise mekanik teknolojilerin yanında hızla güçlenen ve önemi artan bir alan olan biyoteknoloji insan hayatı üzerine olumlu ve olumsuz etkileri ile iki ucu keskin bir bıçak gibidir.

Gelecek tahmini yapan araştırmacılar, bu teknolojilerin sivil hayat üzerinde yaratacağı değişiklikleri incelerken savunma sanayiini de büyük ölçüde etkileyeceğini öngörmektedir. Giyilebilir, esnek ve biyolojik malzemelerle uyumlu elektronik cihazlar, her insanın rutin işlerini yöneten yapay zekâ kişisel asistan yazılımları ve sesli dil tercümanları sivil hayatı daha da kolaylaştırmaktadır. Bunların yanında insanların zararlı biyolojik ve kimyasal etmenlerden korumayı vadeden ve erken uyarı sistemi olarak da çalışabilen biyoteknoloji ürünleri yaşamı kökten değiştirme potansiyelindedir.

Peki biyoteknoloji ve biyosavunma teknolojilerinin yeri nerede konumlanmaktadır? Biyoteknoloji, yakın gelecekte çığır açıcı ve bozucu bir teknoloji olabilir mi? Analizimizde bu sorulara cevap ararken biyoteknoloji alanında ortaya çıkan yenilikleri ve bunların savunma sanayiine olan etkilerini değerlendirip, gelişen teknolojilerle ilgili gelecek öngörülerine bakacağız.

2. BİYOTEKNOLOJİ NEDİR? HANGİ ALANLARDA KULLANILIR?

Biyoteknoloji, biyolojiye dayalı teknolojileri temsil etmektedir. Biyoteknoloji, yaşamımızı ve gezegenimizin sağlığını iyileştirmeye yardımcı olan teknolojiler ve ürünler geliştirmek için hücresel ve biyomoleküler süreçleri kullanmaktadır. Ekmek ve peynir gibi yararlı gıda ürünleri üretmek ve süt ürünlerini korumak için 6.000 yılı aşkın süredir mikroorganizmaların biyolojik süreçleri kullanılmaktadır. Modern biyoteknoloji ise nadir hastalıklarla mücadele etmek, çevresel ayak izimizi azaltmak ve açlığı ortadan kaldırmak gibi araştırma alanlarının yanında daha az ve temiz enerji kullanmak, daha güvenli ve verimli endüstriyel üretim süreçlerine sahip olmak için çığır açan ürünler ve teknolojilere de imkân sağlamaktadır^[1].

Biyoteknoloji aslında yeni bir disiplin değildir. Ancak büyük bir hızla ilerleyen ve günlük hayatımızda giderek daha fazla uygulamayla karşımıza çıkan biyoteknoloji, farmasötik geliştirmeden gıda üretimine ve hatta kirlenmiş atıkların arıtılmasına kadar çok çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Biyoteknolojinin heyecan verici alanlarını keşfetmek ve gelecekte ne kadar ileri gidebileceğini belirlemek için çeşitli araştırmalar yürütülmektedir.

Biyoteknoloji genetik mühendisliği ile bağlantılıdır. 20'nci yüzyılın başında gıda endüstrisinde kendi başına bir alan olarak ortaya çıkan biyoteknoloji, daha sonra tıp ve çevre gibi diğer sektörleri de ilgi alanına katmıştır. Bugün, modern biyoteknoloji insan, hayvan, bitki, çevre ve endüstri olarak beş alanla ilgilenmektedir.

Biyoteknoloji son yıllarda gündemde olan pandemi ile mücadelede de önemli bir rol oynamıştır. COVID-19'un gen diziliminin çözümü için biyoteknoloji yöntemleri kullanılmıştır.

Biyoteknoloji çeşitleri açısından değerlendirildiğinde, insanların sağlığı ile ilgili çalışmaların yürütüldüğü, aşılardan ve antibiyotikler içeren medikal biyoteknoloji, zararlı böceklerle dayanıklı bitkilerin yetiştirildiği ve yeni bitki ile hayvan türlerinin eşleştirildiği tarımsal biyoteknoloji, biyokatalistler, fermantasyon ve mikro organizmaların ilgi odağı olduğu endüstriyel biyoteknoloji ve küresel atıkla mücadelenin konusu olan çevre biyoteknolojisi olarak öne çıkmaktadır^[2].

Biyoteknolojinin yaygın bir şekilde alt kırılımlara ayrılması sebebiyle sınıflandırma için renk kodları da kullanılmaktadır. Beyaz, endüstriyel biyoteknolojiyi; yeşil, tarım biyoteknolojisini ve mavi de denizler ile tatlı sularla ilgilenen biyoteknoloji alanlarını temsil etmektedir^[3]. Kırmızı, insan sağlığı ve medikal biyoteknolojisini; sarı, gıda biyoteknolojisini; gri, çevre koruma ve güvenliği ile ilgili biyoteknolojiyi; altın, biyoformatiklerle ilgilenen biyoteknolojiyi ve mor da biyoteknoloji ile ilgili patentler ve kanunları kapsamaktadır. Son olarak karanlık biyoteknoloji (dark biotechnology) savunma sanayiinin önemli bir kısmını oluşturan biyolojik silahlar ve biyoterörizm ile ilgilenmektedir^[4].

Biyoteknoloji olgunlaşmaya devam ettikçe, fiziksel ve ekonomik güvenliğe katkısı daha da önemli hâle gelecektir. Önümüzdeki 20 yıl içinde biyolojik üretim, küresel ekonomideki fiziksel girdilerin yüzde 60'ını sağlayabilir potansiyelindedir. Biyoteknolojinin küresel olarak yılda dört trilyon dolara kadar doğrudan ekonomik etkisinin olabileceği düşünülmektedir.

Çin ve ABD gibi büyük ülkeler biyoteknolojiyi bir gelişme ve ulusal güvenlik meselesi hâline getirmiştir. Biyoteknolojinin sivil alanda sağladığı katkıların askeri alanda da uygulanmaya başlanmasıyla savunma sanayiindeki rolü daha da büyüyecektir^[5].

3. BIYOTEKNOLOJİNİN SAVUNMA SANAYİİNDEKİ ROLÜ

Bilim kurgu kategorisinden gerçeklik sahasına giriş yapan biyoteknoloji, savunma sanayii için yenilikçi ve ilerici bir perspektif sunmaktadır. Hâkimiyet savaşının belirlenmesinde ciddi bir eşik oluşturan bu yeni teknoloji sadece askerlerin değil, devletlerin de güçlerinde yeni dengeler oluşmasını sağlayacaktır^[6].

Biyoteknolojinin geniş potansiyeli giderek daha fazla fark edilmektedir. Biyosilahların kalitesini ve miktarını iyileştirmek için yeni biyoteknoloji çalışmaları sürdürülmektedir. Biyosilahlar, yaygın güvenlik sistemleri tarafından tespit edilememeleri, kolay erişimleri, düşük üretim maliyetleri ve kolay naklieleri nedeniyle konvansiyonel silahlara göre daha caziptir. Genetiğiyle oynanmış organizmaların ve yan ürünlerinin birçok silaha göre daha avantajlı olduğu düşünülmektedir. Bunun nedeni genetiğiyle oynanmış biyolojik maddelerin yalnızca biyolojik

silahların mevcut özelliklerini vurgulamakla kalmaması, aynı zamanda hedefe özel hâle getirilebilir olmasıdır. Biyoteknoloji, dikkatli bir şekilde kullanılırsa, birçok hastalığı etkisiz hâle getirmek ve ortadan kaldırmak için güçlü antibiyotikler, antiserum toksoitleri ve aşılardan içeren biyocephane üretiminde biyolojik tehditlere karşı koymak amacıyla kullanılabilir. Biyolojik savaş ajanlarının hızlı tespiti, tanımlanması ve nötralizasyonu için de biyosensörler kullanılabilir^[7].

Günümüzde biyoteknoloji alanında, biyosavunma ile doğrudan veya dolaylı ilgisi olan çok çeşitli teknikler geliştirilmektedir. Genom projelerinde dizilemenin otomasyonu, biyoformatik ve kombinasyon kimyasındaki gelişmeler ile bileşiklerin yüksek verimli taranması gibi süreçler bu konuda öne çıkmaktadır. Tıpta, eczacılıkta ve tarımda sivil uygulamaların yanı sıra savunma, tespit, koruma ve profilaksi gibi uygulamalar da Biyolojik ve Toksik Silahlar Sözleşmesi (Biological and Toxin Weapons Convention -BTWC) kapsamında yasal olarak geliştirilmektedir. Biyoteknoloji, hastalıkları tanımlama ve teşhis etme ile karşı önlemler için tekniklerin geliştirilmesinde hayati öneme sahiptir. Ayrıca, biyoteknolojideki son gelişmeler, biyolojik ve toksik silah ajanlarına karşı etkili önlemlerin geliştirilmesi için gerçek bir fırsat sunmaktadır. Biyogüvenlik açısından bakıldığında, aşı geliştirme ve üretimi büyük bir stratejik değere sahiptir^[8].

Biyoteknolojinin savunma sanayiinde kullanılması ile birlikte "biyolojik savaş" kavramı da ortaya çıkmıştır. Bu kavram ile biyoteknolojinin savunma sanayiindeki rolü daha da güçlenmiştir.

3.1 Biyolojik Savaş Nedir?

Biyolojik savaş, düşmanın askeri birliklerinin veya sivilin yiyeceğini veya içeceğini kirletmek, ülkenin vatandaşlarına ve hayvanlarına zarar vermek veya onları öldürmek için hastalık üreten ajanların kullanılmasını ifade eder. Bu konvansiyonel savaş başlığı^[9], başka insanlar ya da diğer sivil araçlarla gerçekleştirilebilmektedir. Biyolojik ajan, canlı veya cansız herhangi bir virüs, mikroorganizma veya biyoaktif bir madde olabilir. Bu ajan, şarbon ve veba gibi bulaşıcı hastalıkların başlamasına ve yayılmasına veya bir salgına neden olur. Yiyeceklerin bir herbisit, böcek ilacı veya ağır metal ile kirletilmesi gıda zehirlenmesine neden olur. Daha sonra patojenik organizmaların kasıtlı olarak salınması ekinleri öldürebilir ve önemli gıda stoklarını yok ederek düşman için paniğe neden olabilir. Bu, ekin karşıtı savaş (anti-crop warfare) olarak bilinmektedir. İnsanlar arasında kıtlığa, yetersiz beslenmeye, ekonomik koşulların bozulmasına ve açlığa neden olabilir. Vietnam Savaşı'ndaki yaprak dökücüler öncelikle tatlı patates, şeker pancarı, soya fasulyesi, pamuk, buğday ve pirinci hedeflemek için kullanılmıştır. Ekinlerin kullanılmaz hâle gelmesi Vietnam halkını zayıflatmıştır^[9].

Biyolojik savaşla mücadele edilebilmesi için biyoteknoloji yöntemlerinin savunma sanayiine entegre edilmesi ve bir ulusal savunma aracı olarak benimsenmesi önemlidir.



3.2 Ulusal Savunmada Biyoteknolojinin Önemi

Moleküler biyoloji ve biyoteknolojideki son gelişmeler, insan hayatını birçok yönden etkilemektedir. Günümüzde bu teknoloji, koruyucu hekimlik aracılığıyla aşı hazırlanmasında, ilaç teknolojileri ile tedavide, biyoteknolojik bitki ve meyve üretimi ile tarımda ve buna benzer farklı alanlarda kullanılmaktadır. İnsanlık için çok yararlı olan böyle bir teknolojinin, biyoterörist bir saldırıda kullanılması da olasıdır. Bu olasılık, ulusal savunma açısından önemli bir tehlikedir. Böyle bir saldırı durumunda, ülkelerin aşılama ve erken tanı için gerekli gelişmiş teknolojilere sahip olması gereklidir. Hatta son yıllarda yaşanan pandemi ile kendini daha da iyi göstermiştir. Bu nedenle, bu konuda çalışan enstitülerin ve üniversitelerin desteklenmesi ve bu alanda yeni teknoloji üretecek kurumların kurulması ulusal savunmada kullanılacak önemli yaklaşımlardan biridir^[10].

4. BİYOSAVUNMA TEKNOLOJİLERİ

Yeni biyoteknolojilerin ortaya çıkışı, biosavunma için ve özellikle biyogözetim, erken uyarı, mikrobiyal adli tıp, risk ve tehdit değerlendirmesi konularında büyük umutlar vaatmektedir. Gelişmekte olan biyoteknolojilerin sağladığı yeni geliştirilen yetenekleri anlamak ve bunlardan yararlanmak önemli bir konudur^[11].

4.1 Biyoteknoloji ile Radyasyon, Hastalık ve Toksinlerden Korunma

Uluslararası araştırmacılar hem sivil sanayilerde hem de savunma sanayiinde kullanılabilecek çeşitli biyoteknolojiler üzerinde çalışmalar yapmaktadır. Bu çalışmalardan birinde gen terapisi ve yeni geliştirilen ilaçlarla insanların yüksek düzeyde radyasyona dahi dayanabilmesi hedeflenmektedir. Çalışmanın çıkış noktası Mars yolculuğuna çıkacak astronotların Mars'ta maruz kalacakları yüksek düzey radyasyondan etkilenmemesidir.

Araştırmayı birçok uluslararası bilim insanıyla ortaklaşa yürüten yapay zekâ firması Insilico Medicine Inc. uzayda kurulan Uluslararası Uzay Üssü'nde 520 gün geçiren astronotların ortalama 239,6mSv radyasyona maruz kaldığını belirtmiştir. Bu maruziyet Mars yolculuğunda karşılaşılabilecek 600mSv ile karşılaştırıldığında çok düşük kalmaktadır. Bu sebeple tahmini üç yıl sürmesi planlanan Mars yolculuğunun astronotlar için daha güvenli hâle getirilmesi önemlidir. Araştırma kişiselleştirilmiş ilaçlarla ve gen terapisiyle astronotların hücre yenilemesini güçlendirerek radyasyonla mücadele etmeyi planlanmaktadır. Daha önce tardigradlar (su ayılları olarak da bilinen mikroorganizmalar) ve radioduran bakterilerle yapılan çalışmalarda insan hücreleri X-ışınının neden olduğu radyasyonun yüzde 40'ından korunabilmiştir. Biyoteknoloji ile radyasyondan korunma yöntemleri savunma sanayii için de çok kritiktir^[12].

Biyoteknoloji askeri alanda birliklerin radyasyon gibi zararlı etmenlerden korunmasının yanında zehirli gazlar, toksinler veya hastalıklardan da korunmasında kullanılabilir. Askeri araştırma laboratuvarları elektriğe ihtiyaç duymayan ve laboratuvar ortamında oluşturulmuş mikrobik canlıların askerlerin vücutlarına dahi enjekte edilmeden kıyafetlerinin üzerinden koruma sağlaması yönünde çalışmalar yürütmektedir. Bu bakteriyel mikroorganizmalar insan vücudunun radyasyondan korunmak için ürettiği melanini suni olarak üreterek kıyafetler üzerinden dahi korunma sağlayabilir. Aynı bakteriyel organizmalar sualtında dalgıçların, sahada askerlerin ve maden ocaklarında madencilerin kıyafetlerine entegre edilerek herhangi bir toksinle karşılaşıldığında yaratacakları bir reaksiyon ile sensörlerin aktive edilmesi şeklinde kullanıcının uyarılması için kullanılabilir.

Biyoteknoloji ürünü organizmaların dışında genetiği değiştirilmiş bitkiler de savunmada kullanım potansiyeline sahiptir. Askeri üslerin etrafının genetiği değiştirilmiş ve toksinlerle kimyasalları algılayarak tepki veren bitkilerle donatılması erken uyarıda fayda sağlayabilir^[13].

4.2 Biyoteknolojik Zırhlar

Bilim insanları biyoteknoloji yardımıyla örümcek ağının benzeri bir materyal üzerinde çalışmaktadır. Çelikten daha güçlü ve hafif olması planlanan materyalin kurşun geçirmez yelek ve zırhlarda testlerine başlanmıştır. Kraig Biocraft Laboratuvarları tarafından geliştirilen ve Ejderha İpeği (Dragon Silk) adı verilen materyal ipek böceklerinin örümcek ağı üretmesi için genetik yapıda geliştirilmesi prensibine dayanmaktadır. Materyalin biyoyumlu, yani kullanıcıyı fiziksel olarak rahatsız etmeyecek özellikte olması önemlidir. Ejderha ipeğinin tek kullanım alanı kurşun geçirmez yelekler ve zırhlar değildir. Bu materyal inşaat, sivil giyim ve hatta ilaç endüstrisinde de kullanım olanağına sahiptir. Araştırmacılar bu materyalin tıbbi olarak sinirlerin ve dokuların onarılmasında veya antibiyotik özelliği kazandırılmış versiyonları ile açık yaranın dikilmesinde iplik olarak kullanılmasını da araştırmaktadır^[14].

4.3 Gen Transfer Teknolojisi

Yeni gen transfer teknolojisinin şu anda sınırlı kullanımları bulunmaktadır, ancak gen kontrolü ve yeniden yapılandırma fikrinin askeri kullanım için olasılıkları oldukça fazladır^[15].

Geleceğin savaş alanında insan yeteneklerini artırmak için Düzenli Aralıklarla Bölünmüş Palindromik Tekrar Kümeleri'nin (Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats -CRISPR) potansiyel olarak kullanılması son yıllara kadar yalnızca bir olasılık olarak görülmüştür. Ancak Çinli askeri araştırmacıların bu potansiyeli keşfetmek için çalışmalar yaptığına dair yeni göstergeler bulunmaktadır.

Dünya üzerinde bulunan tüm ülkeler askerlerin yeteneklerini geliştirmek için gen düzenleme ve genomik teknolojisini kullanma konusunda hazır değildir. Ancak Fransız Askeri Etik Komitesi (The French Military Ethics Committee) kısa süre önce askerlerin beyin kapasitesini artırabilecek implantların araştırma çalışmalarına başlanmasını onaylamıştır^[16].

CRISPR, insan genini geliştirme ve değiştirme tartışmalarını yeniden canlandırmıştır. Çağdaş biyoetik görüşler, bir hastalığı tedavi etmek veya önlemek için gen düzenlemesi yapmak ve sağlık dışı amaçlar için geliştirme arasındaki farkı dikkate alarak sağlık dışı uygulamalardan kaçınılması gerektiğini vurgulamaktadır. Bu durum insana verilebilecek zararlar gözetilerek ortaya çıkmıştır. Ancak askerlerin sadece silahlı kuvvetlere katılarak girdikleri riskler dikkate alındığında gen araştırmalarıyla hayatta kalma şansının artırılması risk/fayda analizi açısından olumlu görünmektedir.

Gen transfer teknolojisinin etik açıdan herkes tarafından kabul görmesi için iki önemli aşama gerçekleştirilmelidir:

İlk olarak, etik konusunda CRISPR'ı askeri geliştirme teknolojisinde kullanabilmek için kamu ve paydaş katılımları teşvik edilmelidir. Şu anda, CRISPR'ın kullanımına ilişkin kamuoyu görüşlerine göre gen mutasyonu ve bunları geliştirme amaçları endişe vericidir. Öncelikle yapılacak araştırmalarda bu endişelerin tanımlanması ve giderilmesi için çalışma yapılmalıdır.

İkinci olarak da savunma bakanlıkları ve askeri yetkililer gibi sorumluluk sahiplerinin bazı önemli konuları dikkate alması gerekmektedir. Bu teknoloji ilerledikçe araştırmalarla ilgili etik sorunlar ortaya çıkabilir. Gen düzenleme araştırmaları hızla ilerlemektedir. Gen modifikasyonu ile ilgili askeri araştırmalara kabul edilen katılımcıların risklerini en aza indirmek için gerekli değerlendirmeler öncelikli olarak yapılmalıdır. Katılımcılar araştırmanın yapısına uygun şekilde bilgilendirilmelidir. İnsan deneylerinin çok yakından izlenmesi ve araştırma uygulamaları öncesi tüm seçeneklerin değerlendirilerek risklerin tanımlanması gerekir. Bu riskler doğrultusunda çalışmaların nasıl ilerleyeceği bir etik kurul tarafından incelenmelidir^[17].

Gen transferi ile yeni kabiliyetler kazanmak, daha dayanıklı olmak ve gelişmiş bir insana dönüşmek mümkündür. Bu süreçte önemli olan fayda sağlanırken daha fazla zarar verebilecek yaklaşımlardan kaçınmaktır.

4.4 Biyoteknoloji İle Üretilen (Biyolojik) Silahlar

Biyoteknoloji faydalı amaçların yanı sıra silah olarak kullanılacak biyolojik ajanların üretimine de katkıda bulunabilir.

COVID-19 pandemisi, biyoteknoloji araştırmalarının olası faydalarına ve potansiyel risklere keskin bir şekilde odaklanılmasını sağlamıştır. Bu tür araştırmalar, hastalıklarla savaşmak, daha sağlıklı ekinler ve çiftlik hayvanları geliştirmek ve tıbbi tedavi yöntemleri ortaya çıkarmak için olduğu gibi, biyolojik silahlar üretmek için de kullanılabilir. Çoğu bilim insanının iddia ettiği gibi son yıllarda binlerce ölüme yol açan pandemilerin doğal şekilde ortaya çıktığına inanılsa da geleceğin biyoteknoloji laboratuvarlarından kasıtlı veya kasıtsız başka enfeksiyonların ortaya çıkma olasılığı göz ardı edilemez.

Bu risklerden yola çıkarak oluşturulan Biyolojik Silahlar Sözleşmesi (Biological Weapons Convention -BWC), biyolojik silahların geliştirilmesini, üretimini ve stoklanmasını yasaklayan çok taraflı bir silahsızlanma anlaşmasıdır. 1975'te yürürlüğe giren BWC, bu alandaki

tüm silah kategorilerini yasaklayan, türünün ilk antlaşmasıdır. Bioteknolojideki ikili kullanım olasılıkları göz önüne alındığında, BWC herhangi bir biyolojik materyali doğrudan yasaklamaz. Bunun yerine, biyotoksinlerin ve diğer biyolojik ajanların barışçıl amaçlar için gereken miktarın üzerinde üretilmesini, stoklanmasını ve her türlü biyolojik materyalin silah olarak kullanılmasını yasaklamaktadır^[18].

Şarbon, botulinum toksini ve veba gibi biyolojik ajanlar, kısa sürede çok sayıda ölüme neden olabilir. İkincil bulaşma yeteneğine sahip biyolojik ajanlar ise salgınlara yol açabilir. Biyolojik ajan içeren bir saldırı, halk sağlığı gözlemini ve müdahalesini zorlaştırabilecek bir doğal olayı taklit edebilir. Savaş ve çatışma durumunda, ciddi sağlık sonuçlarına yol açabilecek yüksek tehdit altındaki patojen laboratuvarları hedef alınabilir. Bu sayede salgınlara yol açılabilir. Biyolojik ajanların kullanımı ciddi bir endişe kaynağıdır ve bu ajanların bir terör saldırısında kullanılma riskinin arttığı düşünülmektedir^[19].

Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (The Center for Disease Control and Prevention -CDC), biyoterörizmi “insanları, çiftlik hayvanlarını veya ekinleri hasta edebilecek veya öldürebilecek virüslerin, bakterilerin veya diğer mikropların kasıtlı olarak salınması” olarak tanımlamaktadır. Bu terör yöntemi, aerosol spreyley, patlayıcı cihazlar, yiyecek veya su yolları, ciltten emilim veya enjekte edilmesi gibi birkaç yolla yapılabilir.

CRISPR teknolojisi biyolojik silah üretiminde de rol oynayabilmektedir. Ucuz ve herkes tarafından erişilebilir bir teknoloji olması CRISPR’ı biyoterör konusunda riskli bir konuma getirmektedir. Ancak tarihte sıkça karşılaşılmış geleneksel virüsler ve bakterilerin kullanımı çok daha kolay olduğundan yakın gelecekte gen değişim tekniklerinin biyoterör amaçlı kullanımının çok olası olmayacağı görüşü de hâkimdir^[20].

Biyolojik silahlar üç temel kategoride değerlendirilmektedir. A, B, C olarak tanımlanan bu kategoriler biyolojik ajanın etkisine göre belirlenmiştir.

Kategori A ajanlar çok yüksek öncelikli olarak tanımlanarak insandan insana çok hızlı geçebilen, yüksek ölüm oranına sahip, panik ve sosyal kargaşa yaratabilme özellikleri göstermektedir. Bu kategoriye örnek olarak şarbon, suçiçeği, tularemia, botulizm ve viral hastalıklar gösterilebilir.

Kategori B ajanlar ikincil öneme sahiptir. Bu ajanlar kolaylıkla bulaşabilir. Ortalama ölüm oranlarına sahiptir ve uzun süren etkilerde ölüm oranı düşmektedir. Brusella, Q Ateşi, Kolera bu kategorinin örneklerindedir.

Kategori C ajanlar üçüncül önceliğe sahiptir. Henüz kayda değer bir risk teşkil etmeyen gelişen patojenlerden oluşan ve gelecekte genetik bilimi ile daha tehlikeli hâle gelme potansiyeli olan bu ajanlara örnek olarak Nipah Virüsü ve hantavirüs gösterilebilir^[21].

Biyolojik silahlarla ilgili güncel tartışmalar farkındalığı artırmak ve potansiyel bir saldırıya karşı hazırlıklı olmak açısından kesinlikle önemlidir. Ancak hâlihazırda dünya üzerinde gezinen virüsler ve hastalıklar nedeniyle her yıl milyonlarca insanın öldüğü düşünüldüğünde biyolojik silahların toplu saldırı amaçlı kullanımına çok olası gözleyle bakılmamaktadır^[22].

4.5 Biyosensörler

Salgın hastalıkların engellenmesindeki en büyük problem çok hızlı yayılan bu hastalıkların teşhislerinin yeterince hızlı yapılamamasından kaynaklanmaktadır.

ABD’de geliştirilen bir cilt altı biyosensörü, grip benzeri enfeksiyonları semptomlar ortaya çıkmadan önce bile tespit ederek sağlık çalışanlarının hastalığı teşhis ve tedavi etmelerine yardımcı olması amacıyla araştırılmaktadır. Sensörün yapımcısı olan Profusa firması, cihazın 2021 yılı başlarında FDA onayına sunulacağını açıklamıştır.

Bu sensör iki bileşenden oluşmaktadır: İlk bileşen, bazı kontakt lenslerde ve diğer implantlarda polimer zincir ağı olarak kullanılan bir malzeme olan 3 mm’lik bir hidrojel dizisidir. Bir şırınga ile derinin altına yerleştirilen ip şeklindeki malzeme vücut bir enfeksiyonla savaşmaya başladığında vücudun dışına bir floresan sinyal gönderen özel olarak tasarlanmış bir molekül içerir. İkinci kısım ise cilde bağlı elektronik bir bileşendir. Cildin içinden ışık göndererek floresan sinyali algılar ve kullanıcının bir doktora veya internet sitesine gönderebileceği başka bir sinyal üretir. Bu sensör vücudun hastalığa verdiği tepkiyi diğer hastalıklardan önce alabilen derideki bir kan laboratuvarı gibi çalışmaktadır ve öksürük gibi belirtileri de dikkate alabilmektedir^[23].

Bir piriç tanesinden bile küçük olan 5mm’lik sensörlerin vücudun oksijen ve glukoz seviyelerini de ölçmesi ve hatta bir ilaç veya organ nakli sonrası vücudun reddetmesi durumunu da fark etmesi planlanmaktadır. DARPA tarafından desteklenen araştırma çalışmalarının devam ettiği bilinmektedir^[24].

5. BİYOSAVUNMA TEKNOLOJİLERİNDEKİ GELİŞMELER

Günümüzde biyoteknolojinin en büyük etkileri sağlık ve savunma alanında ortaya çıkmaktadır. Kişiselleştirilmiş ilaçlar, tedavi yöntemleri, koruyucu ajanlar ve tehlikeleri uyabilen bakteriler küresel ilaç endüstrisi ve savunma sanayiini yakından ilgilendirmektedir.

Biyoyakıt alanında yapılan yatırımlar da dünyanın geleceği açısından önem kazanmıştır. Fosil yakıtlardan daha sürdürülebilir yakıtlara geçilmesi çevre güvenliği için ekonomik ve temiz bir çözüm sunabilir. ABD’nin Columbia Üniversitesindeki araştırmacılar, amonyak ve karbondioksit arasındaki reaksiyonlardan salınan enerjiyi kullanan ve ters mikrobiyal yakıt hücreleri (Reverse Microbial Fuel Cells -R-MFCs) içinde yan ürün olarak sıvı biyoyakıt yapan N. europaea adlı bir bakteri türü üzerinde çalışmaktadır. Harvard Üniversitesinde, Shewanella adı verilen farklı bir bakteri türünün yardımıyla biyoyakıtların yapıldığı benzer araştırmalar da bulunmaktadır.

Biyoteknoloji alanında gelişen bir diğer konu da doku mühendisliğidir. Doku mühendisliği ve rejenerasyon sağlayan ilaçlar yardımıyla yaraların hızla iyileşmesi ve insan ömrünün uzaması için olanak sağlanabilir. Apligraf (iki



katmanlı bir deri benzeri materyal) venöz bacak ülserlerinin tedavisi için satış izni alan ilk allojenik hücre bazlı tedavidir.

Apligraf, neonatal epidermal keratinositlerin kültürlendiği ve katmanlaşmasına izin verildiği bir siğir tip I kolajen matrisinde insan sünnet derisinden türetilen neonatal fibroblastların (bir tür kök hücre) büyütülmesiyle oluşturulmuştur. Ancak Apligraf cildi doğrudan onarmayarak yaralı cildi geçici olarak korumaktadır. Bu sayede cilt yenilenmesini destekleyen ve hızlandıran yapı iskelesi ve sinyal moleküllerinin üretilmesini sağlar^[25].

Son yıllarda gündemde olan COVID-19 pandemisi de biyoteknolojinin yardımı ile baş edilebilir hâle gelmiştir. Biyoteknoloji yardımı ile üretilen aşılarda pandemilerin önüne geçmek için büyük bir avantaj sunmaktadır.

Biyoteknolojinin gelişim sağladığı bir diğer alan da 4D baskılardır. 4D baskı fikri, doku mühendisliği ve üretim uygulamaları için kendi kendini iyileştiren maddelerin oluşturulmasında popülerlik kazanmıştır. Ancak bileşimi ve hücre uyumsuzluğu nedeniyle tarım ve çiftçilik uygulamalarında sınırlı kullanım alanı oluşmuştur. 4D malzemeler, belirli ortamlara maruz kaldıklarında şekil değiştirmektedir. Bu araştırma alanı her ne kadar geçmiş çalışmalarda hücre uyumsuzluğuna takılmış olsa da Eben Alsberg liderliğindeki bir araştırma ekibi, suya tepki vererek şekil değiştiren, hücre uyumlu ve geri dönüştürülebilir jelatin benzeri hidrojellere dayalı yeni 4D malzemeler yaratmıştır. Bu çalışma, 4D malzemelerini gelişmiş doku mühendisliği için ideal seçenekler hâline getirmiştir. Araştırmacılar kemik iliği kök hücrelerini hidrojelde çok yüksek yoğunlukta yok etmeden implant olarak uygulayabilmiştir. Bu gelişme biyomühendislik açısından büyük bir ilerlemedir^[26].

Biyoteknoloji veri depolama alanında da devrim yaratma potansiyelindedir. Manyetik tambur ve diskler gibi elektronik veri depolama sistemlerinin ilk günlerinden bu yana teknoloji daha da gelişmiştir. Bu gelişmeler, veri depolama kapasitesini onlarca kilobyttan petabayt aralığına kadar büyük ölçüde artırmıştır. Bu muazzam depolama alanıyla birlikte, bulutu destekleyen sunucu gruplarını çalıştırmak için çok büyük bir fiziksel alan ihtiyacı da ortaya çıkmıştır^[27].

Bilim insanları ilk olarak 1988'de, E. coli genomuna 5x7 bitlik bir görüntüyü kodlayarak 35 bitlik alana birer ve sıfırların eklenmesiyle veri depolama için DNA moleküllerini kullanma alanını araştırmaya başlamıştır^[28].

Bu araştırmalar neticesinde, çeşitli kurum ve şirketler çalışmalarını DNA tabanlı veri depolama sistemleri geliştirmeye yöneltmiştir. Dünyadaki tüm verilerin saklanması için yalnızca 1 kg DNA'nın yeterli olabileceği tahmin edilmektedir.

Washington Üniversitesi ve Microsoft'taki bilim insanları, otomatikleştirilmiş bir DNA depolama sistemi için yaptıkları araştırmalarında bu konuyu ele almaya çalışmıştır. Araştırmacılar, çalışma konusu cihazlarla 5 baytlık bir "Merhaba"yı bir DNA dizisine kodlayabilmiş, DNA'yı sentezleyebilmiş, saklayabilmiş, dizileyebilmiş ve "Merhaba"yı geri alabilmiştir. Tüm süreç 21 saat sürdüğünden bugün tek bir fotoğrafı saklamak bu teknoloji ile pratik değildir. Ancak bu tür teknolojilerin geliştirilme hızı göz önüne alındığında, çok yakın bir gelecekte kullanılabilir örneklerini görmek şaşırtıcı olmayacaktır^[27].

Biyoteknoloji çalışmaları özel kuruluşlar ve hükümetlerce kontrol edilmekte ve gerçekleştirilmektedir. Uluslararası ortaklıkların yanı sıra ülkelerin biyoteknoloji alanında bireysel olarak yaptığı çalışmalar da hızla artmaktadır.

6. ÜLKELER BİYOSAVUNMA TEKNOLOJİLERİ ALANINDA NE GİBİ ÇALIŞMALAR YAPIYOR?

Biyoteknoloji araştırmaları yüksek maliyetli, sofistike laboratuvarlarda ehil kişilerce gerçekleştirilmesi gereken bir konudur. Bu alanda çalışmalarını öne çıkan ülkelerin aldığı kararlar uluslararası çalışmalar için de önemli hâle gelmektedir.

Biyolojik saldırılar, kimyasal ve nükleer saldırılarla birlikte, sonuçları açısından uluslararası toplumun vicdanını en fazla yaralayan saldırı türleridir. Bu nedenle birçok ülke Biyolojik Silahlar Sözleşmesi'ne katılmıştır. Uluslararası kanunlara rağmen günümüzde hiçbir ülke biyolojik silah programı ve silaha sahip olduğunu açıkça ilan edememektedir. Ancak mevcut düzenlemeler gizli programların yürütülmesine, biyolojik silah stoklanması ve ticaretine de tam anlamıyla engel değildir^[29].

6.1 ABD

ABD'nin yeni yönetimi, açıkladığı güncel biyosavunma stratejisi ile gelecekteki biyolojik tehdit ve pandemilerle nasıl mücadele etmeyi planladıklarını göstermiştir. ABD yönetimi planın bir parçası olarak, yeni araştırma ve teknolojileri finanse etmek, testleri hızlandırmak ve aşı geliştirmek için zaman çizelgesini kısaltmak amacıyla gelecek beş yıl içinde ABD Kongresinden 88 milyar dolar talep etmiştir. COVID-19 ve ebola gibi biyolojik tehditler ve şarbon gibi biyolojik silahlar, yurtiçi ve yurtdışındaki toplulukları işlevsiz hâle getirme yetenekleri nedeniyle ABD yönetimi tarafından ciddi bir ulusal güvenlik tehdidi olarak görülmektedir^[30].

ABD'nin stratejik hedefi 100 günde yeni bir aşı geliştirebilmek ve 130 gün sonra tüm ABD nüfusuna yetecek kadar aşya sahip olabilmek olarak belirlenmiştir. Strateji planı aynı zamanda bütün sağlık çalışanlarını öncelikli olarak aşılamaı da hedeflemektedir^[31].

ABD ayrıca biyolojik silah kullanımını tespit etmek ve ilişkilendirmek amacıyla gelişmiş teknolojilere yatırım yapmayı, kullanımı önlemeyi ve biyolojik silahlar konuşlandırılırsa kararlı bir şekilde yanıt vermek için yabancı ortaklarla birlikte çalışmayı planlamaktadır. ABD, tüm devletler arasında şeffaflığı teşvik etmek için Biyolojik Silahlar Sözleşmesi kapsamındaki çabalar da dahil olmak üzere, geleneksel ve yeni biyolojik silahlara karşı uluslararası normları güçlendirmek için çalışma yapmayı taahhüt etmiştir^[32].

ABD ordusu, yıllardır bilim ve teknoloji alanındaki üstünlüğünü sürdürmüştür. Ancak, gelişmekte olan teknolojiler daha erişilebilir hâle geldikçe, Pentagon'daki yetkililer, düşmanların yakında ABD güçlerine meydan okuyabileceği veya onları geçebileceği konusunda duydukları endişeyi belirtmişlerdir. Sentetik biyoloji veya genetik biyoloji mühendisliği araştırmaları yapma yeteneği giderek daha erişilebilir bir teknolojik alan hâline gelmiştir. Aslında, biyoteknolojinin demokratikleşmesi, rakiplerin teknolojik denklige ulaşmasını sağlayabilir. Bu

durum da bazı küresel rakiplerin üstünlük elde etmesine neden olabilir. Örnek olarak Çin, yalnızca biyoteknoloji yeteneklerine büyük yatırımlar yapmakla kalmayıp, aynı zamanda bunların hem askeri hem de ticari ortamlarda kullanımları için özel stratejilere sahiptir.

ABD'nin askeri merkezi Pentagon, savaş alanına yönelik yeni fikirleri teşvik etmek için Savunma İcat/Buluş Birimi (Defense Invention Unit -DIU) ve SOFWERX gibi girişimlere yatırım yapmaktadır. Bu merkezler insansız hava araçları, siber teknoloji ve savaşçı dış iskeleti için kuluçka merkezleri hâline gelmiştir. Ancak bu merkezlerde henüz belirli biyoteknolojik prototipler üretilmemiştir. Austin Teksas'ta kurulacak yeni Geleceğin Ordusu Komutanlığı (Army Futures Command), gelecekteki çeşitli ihtiyaçlar için yeni teknolojilere öncelik vermeyi planlamaktadır. Ancak yeni komutanlığın listesinde henüz biyoteknoloji ürünleri bulunmamaktadır.

Geleceğin Ordusu Komutanlığının aksine oluşturulan Askeri Ortamlar için Sentetik Biyoloji Araştırma Programı (The Synthetic Biology for Military Environments), Kara, Deniz ve Hava Kuvvetlerinin tüm hizmet laboratuvarlarını da dahil ederek yeni biyobazlı malzemeler ile sensörler geliştirmeyi ve sentetik biyolojideki yenilikler yoluyla savaşçı performansındaki ilerlemeleri kullanmayı amaçlamaktadır. Program aynı zamanda askeri bilim insanlarını akademiye ve sentetik biyoloji şirketlerine yerleştirerek biyoteknoloji uzmanlığını artırmaktadır^[33].

Kansas Eyalet Üniversitesi Manhattan kampüsündeki Pat Roberts Hall'da bulunan Biyogüvenlik Araştırma Enstitüsü (Biosecurity Research Institute), eyaletin biyosavunma araştırmalarında ulusal bir lider olmasına yardımcı olan benzersiz bir biyolojik koruma araştırma ve eğitim tesisidir. Enstitü, tek bir tesiste birden fazla patojen ve konakçı tür üzerinde çoklu disiplin araştırması yapma kapasitesi bakımından benzersizdir. Enstitüde bugüne kadar 20 yüksek etkili patojen araştırması yürütülmüştür^[34].

ABD Savunma Bakanlığı 2022 Temmuz ayında, bilinen ve ortaya çıkan biyolojik tehdide karşı korunmak için önümüzdeki beş yıl içinde yılda 300 milyon dolar daha yatırım yapacağını açıklamıştır. ABD'nin nükleer, kimyasal ve biyolojik programlardan sorumlu Savunma Bakan Yardımcısı Deb Rosenblum, "biyo-yakınsama" olarak adlandırılan yaklaşımla biyoloji bilimleri ve gelişmekte olan teknolojilerin birleştirilmesinin hem toplum için bir nimet hem de ABD kuvvetleri ve anavatan için bir tehdit olabileceğini bildirmiştir.

Sentetik biyoloji veya laboratuvarında tasarlanmış ajanlar, devletler, kötü niyetli kişiler ve organizasyonlar tarafından tehlikeli patojenler yaratmak için kullanılabilir. Birleşmiş Milletler, Kuzey Kore ve Rusya'nın saldırgan biyolojik silah programlarını sürdürdüğünü ve Çin'in de çift kullanımlı (hem barışçıl hem de saldırgan) teknolojilere büyük yatırım yaptığını ve bazı Çin yayınlarının bunu "yeni bir savaş biçimi" olarak nitelendirdiğini belirtmiştir.

ABD şu anda biyolojik bir saldırıyı hemen tespit edip ilişkilendirecek bir kapasiteye sahip değildir. Ancak biyoteknolojinin benimsenmesi ve biyolojik silahlarla mücadele politikaları sayesinde artan yatırımlar ülkeyi kısa sürede bu kapasiteye ulaştırmayı vadetmektedir^[35].

ABD’li yetkililer biyolojik savaş alanında yüzde 100’lük bir savunma stratejisinin çok zor olduğunu düşünmektedir. Bu nedenle oluşturulan “%85 Biyolojik Savunma Projesi (85% Biological Defense Project)” askeri kuvvetlerin hayatta kalmasını kolaylaştırmak, savunma yeteneklerini geliştirmek ve operasyonel olarak kirli biyolojik ortamlarda bile bulunabilmelerini sağlayacak fikirleri değerlendirmektedir. Proje kapsamında 56 yenilikçi fikir ortaya çıkmıştır. Bu fikirler arasında ordunun tamamının aşılandığı programlar, biyolojik tehditlere yönelik özel eğitimler ve biyolojik kârlılık etmenleri gibi öneriler bulunmaktadır^[36].

ABD’nin Hükümet Hesap Verebilirlik Ofisi (Government Accountability Office -GAO) de 2021 yılında, İç Güvenlik Bakanlığının (Department of Homeland Security -DHS) aerosol hâline getirilmiş bir biyolojik saldırıyı tespit etmek için BiyoGözlem (BioWatch) programını uygulama çabalarıyla ilgili zorluklar hakkında bir rapor sunmuştur. GAO en son olarak, Mayıs 2021’de DHS’nin BD21 olarak bilinen Biyogözlem’i değiştirmeye yönelik mevcut çabasını bildirmiştir. GAO, BD21’in, olası yanlış alarmlar da dahil olmak üzere, biyoalgılama amacıyla kullanılan teknolojilerin birleştirilmesiyle ilgili zorluklarla karşılaştığını tespit etmiştir. GAO, BD21 program ofisinin, programın gelecekteki satın alma ve geliştirme kararından önce teknoloji hazırlık değerlendirmeleri yürütmesi de dahil olmak üzere üç ayrı eylem gerçekleştirilmesini önermiştir. DHS bu tavsiyeleri kabul etmiş ve bunları ele almak için adımlar atmaya başlamıştır^[37].

Son olarak Eylül 2022’de Biden yönetiminin biyoteknolojiyi öne çıkardığı stratejileri destekleyen ABD Savunma Bakanlığı (Department of Defense -DoD) da biyoüretim alanında 1,2 milyar dolarlık yeni yatırım yaptığını duyurmuştur. Gelişmekte olan biyoüretim kabiliyetleri, DoD’nin birden fazla görev alanındaki lojistik zorlukları ele almasına yardımcı olacaktır. Biyoteknoloji, bakanlığın hassas tedarik zincirlerine dayanmadan görev açısından kritik malzemeleri yurtiçinde tedarik etmesini sağlamaya imkân vermektedir. Hipersonik araçlardan denizaltılara kadar değişen sistemleri geliştirmek için yeni özelliklere sahip malzemeler geliştirmek ve inşaat malzemeleri ile enerji üretimi için ihtiyaç anında üretim sağlamak önemlidir. Bu şekilde lojistik ve ikmal zaman çizelgeleri büyük ölçüde azaltılabilir.

Gelecek beş yıl içinde DoD, ABD’li girişimlerin erişebileceği bir yerli biyo-endüstriyel üretim üssünün kurulmasını hızlandırmak için 1 milyar dolar yatırım yapacağını da duyurmuştur. Bu destek, özel sektör ve kamu sektörü ortaklarını, kritik kimyasallar gibi hem ticari hem de savunma tedarik zincirleri için önemli olan ürünlerin üretim kapasitesini artırmaya teşvik edecektir. Ek olarak sağlanacak 200 milyon dolar, bu tesislerde biyogüvenlik ve siber güvenlik durumlarındaki iyileştirmeleri desteklemek amacıyla kullanılacaktır^[38].

ABD, biyolojik tehditlere yanıt verme kabiliyetini geliştirmek için büyük yatırımlar yapmaktadır. Ancak ABD Kongresindeki şarbon olayından neredeyse altı yıl sonra, hükümetin biyosavunma ve biyogüvenlik araştırmalarına hâlen yetersiz bir yaklaşımı bulunmaktadır. Federal

hükümet farklı programları birleştirmek için adımlar atarken, eyalet ve yerel düzeyler olası bir biyolojik tehdit için hazırlıksızdır.

Federal hükümet planlı finansman yoluyla biyolojik tehditlerle ilgili risklerin ve bir müdahale hâlinde uygulanması gerekecek mekanizmaların daha iyi anlaşılmasını sağlayarak, bu gibi durumlara hazırlık kalitesini artırmaya çalışmaktadır. Aynı derecede önemli olan bir konu da doğru türde biyolojik tehditlere hazırlanmanın sağlanmasıdır. Ek olarak, ileri araştırma ve geliştirme projeleri, biyolojik bir tehdit ajanı konuşlandıracaklara karşı stratejik avantaj elde etmeye yardımcı olabilir^[39].

ABD yönetiminin strateji programı henüz geleceği belirsiz bir yapıdadır. Bu durum biyoteknoloji ürünlerini savaşçılar için konuşlandırılabilir araçlara dahil etmeye yönelik kapsayıcı bir Pentagon stratejisinin sürece dahil edilememiş olmasından kaynaklanmaktadır.

Çeşitli endüstriler hâlen biyoteknolojinin ilaçlara bağlı ve sağlığın korunmasına yönelik kullanılması yönünde çalışmaktadır. Ancak bugün, biyoteknolojinin faydaları bu alanın çok ötesine uzanmaktadır. Biyoteknoloji alanında DARPA tarafından finanse edilen yüksek riskli araştırma ve geliştirme programları ile çok çeşitli alanlarda orta düzey hizmet araştırmaları bulunmaktadır. Kimyasal ve Biyolojik Savunma Programı (Chemical and Biological Defense Program) tarafından yönetilen tıbbi karşı önlemlerin geliştirilmesi de bunların içinde yer almaktadır. Zorunlu sağlık koruması için ilaçların ve tıbbi teknolojilerin kullanımından sorumlu olan Savunma Sağlık Dairesinin (Defense Health Agency) strateji programına da dahil olması bu süreci daha karmaşık hâle getirmektedir. Farklı departmanları koordine etmek, hükümet yöneticilerinin ve politikacıların ABD’nin ulusal güvenlik stratejisine uygun biyoteknoloji portföyünün tüm yönlerini anlaşılabilir hâle getirmesini sağlayacaktır^[33].

6.2 Çin

Çin’in biyoteknoloji alanında çeşitli çalışmalar yürüttüğü bilinmektedir. Ancak bu çalışmaların detaylarına ilişkin somut veriler bulunmamaktadır.

Çin savunma raporlarının açıkladığı kadarıyla, “Çin Rüyası”nın gerçekleştirilmesinde güçlü ve modern silahlı kuvvetlerin önemi yinelenmektedir. Buna bağlı olarak Çin, silahlı kuvvetlerini modernize etme ve dönüştürme yolunda dev adımlar atmıştır. Çin askeri yeteneklerini geliştirmek için bilim ve teknolojiye en son gelişmelerden yararlanmak amacıyla Sivil-Asker Entegrasyonundan Askeri-Sivil Füzyon yaklaşımına geçmiştir. Çin özellikle biyoteknolojik gelişmelere askeri alanda verdiği önemi araştırma enstitüleriyle göstermektedir.

Pekin’deki Askeri Tıp Bilimleri Akademisinden (Academy of Military Medical Sciences -AMMS) He Fuchu, biyo-geçiş teknolojilerini “biyolojik silahlanmayı” mümkün kılacak araçlar olarak gördüğünü ve insan hücreleri ile bilişsel yeteneklerin (nöropsikiyatrik sistem) oluşan yeni bir savaş alanının sınırlarını çizdiğini ifade etmiştir.

2011’de AMMS, askeri birliklerin minimum bilişsel bozulma ile 72 saate kadar uyanık kalmasına yardımcı olacağını iddia ettiği bir ilaç olan Night Eagle’ı tanıtmıştır.

Cogrowth adlı bir şirket ise beyin sinyallerini yorumlayarak gelecekte düşünce gücüyle kontrol edilen silahların temeli olacak bir yapay zekâ araştırması yürütmektedir. Ayrıca, He Fuchu 2015 yılında biyoteknolojideki ilerlemelerin “beyin kontrollü” silahların yaratılmasına yol açabileceğini öne sürmüştür.

Çin’de yürütülen bir diğer biyoteknoloji çalışma alanı ise gen değişim teknolojileridir. CRISPR ile ilişkili protein 9 (CRISPR-Cas 9) teknolojisi, Çin’in büyük adımlar attığı bir alandır. Çin, köpekler, fareler, sıçanlar, domuzlar ve tavşanlar gibi bir dizi hayvan üzerinde CRISPR-Cas 9 deneyleri gerçekleştirmiştir. Aslında, dünyanın genetiği değiştirilmiş ilk köpekleri olan Hercules ve Tiangou adlı Beagle’lar Çin’de yaratılmıştır. Bu projenin arkasındaki araştırmacı Liangxue Lai, bu köpeklerin oldukça kaslı vücutları ve daha iyi koşma yeteneği olması nedeniyle güvenlik alanında kullanım avantajına sahip olduğundan bahsetmiştir.

Hayvanlar üzerinde yapılan pek çok CRISPR denemesiyle, bu tekniğin bilişsel yeteneklerin gelişimini incelemek için kullanıldığına dair spekülasyonlar da bulunmaktadır. Aslında, biyoetikçiler ve diğer paydaşlar insanlar üzerinde CRISPR denemeleri konusunu tartışırken, Çin 2016 yılında bu uygulamayı yapan ilk ülke olmuştur. Sichuan Üniversitesinden Dr Lu You, genetiği değiştirilmiş T hücrelerini bir akciğer kanseri hastasının vücuduna uygulamıştır. Ayrıca Çin’de insan embriyolarında biyoetik gözetilmeksizin İnsan İmmün Yetmezlik Virüsüne (Human Immunodeficiency Virus - HIV) karşı direnç kazandıracak gen düzenlemesi de yapılmış ve Lulu ile Nana adlı ilk geni değiştirilmiş insanlar 2018 yılında doğmuştur^[40].

ABD tarafından hazırlanan bir rapora göre de Çin, biyolojik olarak üstün yeteneklere sahip askerler geliştirme umuduyla Halk Kurtuluş Ordusu üyeleri üzerinde insan testleri gerçekleştirmektedir. Ayrıca, 2017 yılında tanınmış bir Çinli generalin, modern biyoteknolojinin ve onun bilgi, nanoteknoloji ve bilişsel alanlarla entegrasyonunun silahlar ve teçhizat, savaş alanları, savaş biçimleri ve askeri teoriler üzerinde devrim etkisi yaratacağını açıklamıştır. Bu gibi açıklamalar Çin’in biyoteknoloji alanına ve savunma sanayii etkilerine ne kadar ilgili olduğunu göstermektedir^[41].

6.3 Rusya

Rusya biyoteknoloji alanında ciddi teknolojik araştırma ve çalışmalar yapan ülkelerden biridir. Rus Hükümeti içlerinde biyoteknolojinin de bulunduğu birçok askeri teknolojik araştırmaya çok yüksek yatırımlar yapmaktadır. 2022 yılı için belirlenen askeri savunma bütçesi 51 milyar doların üzerindedir^[42].

Rusya’nın en büyük disiplinlerarası laboratuvarı olan Kurchatov Enstitüsü nükleer fizik tesislerine ev sahipliği yapmaktadır. Yeni nesil nükleer enerjiye, bilgi teknolojilerine, nanoteknolojiye, biyoteknolojiye, bilişsel teknolojiye ve diğer ileri teknolojilere de öncelik veren enstitü ulusal güvenliğin sağlanması için askeri araştırma projeleri yürütmektedir^[43].

Aslında Rusya’nın biyoteknoloji ve biyolojik silah araştırmaları 1928’e kadar uzanmaktadır. 1970’lerde çiçek hastalığı ve Marburg virüsleri ile şarbon bakterisi Bacillus anthracis dahil olmak üzere Rusya çeşitli patojenleri silahlandırmıştır. Pandemiye Rusya’nın hızlı



aşı çalışmaları biyoteknolojinin pozitif kullanımına örnek olsa da Ukrayna ile ortaya çıkan savaş durumu bu teknolojinin iki yönlü kullanım olasılıkları konusunda endişelere neden olmuştur^[44].

6.4 İngiltere

İngiltere de biyogüvenlik alanında yapılan araştırmaları destekleyen ülkelerden biridir. İngiltere'nin Savunma Bilimi ve Teknolojisi Laboratuvarı (The Defence Science and Technology Laboratory -DASA), temel savunma sorunlarını ele almak için sentetik biyoloji kavramlarını kullanan yenilikler aramaktadır. DASA 2022 yılında savunma ve güvenlik için mühendislik biyolojisi alanında bir yarışma başlatmıştır. Yarışma sonucunda kazananın 1,5 milyon pounda kadar bir fon kazanması mümkündür. Yarışmada üç temel konu ele alınmaktadır. Bunlar sırasıyla güç ve enerji teknolojilerinde mühendislik biyolojisi uygulamaları, savunma materyalleri ve sensör sistemleridir^[45].

İngiltere Araştırma ve İnovasyon (UK Research and Innovation -UKRI) ve Savunma Bilimi ve Teknoloji Laboratuvarı (Defence Science and Technology Laboratory -DSTL), İngiltere genelindeki yenilikçi projelere 20,6 milyon pound yatırım yapmıştır. Daha önce UKRI'nin Gelişim için Sentetik Biyoloji programı aracılığıyla kurulan altı Sentetik Biyoloji Araştırma Merkezi de (Synthetic Biology Research Centre -SBRC), Mart 2022'nin sonuna kadar ek bir yatırım almıştır. Toplamı 3,58 milyon pound olan bu kısa vadeli ancak çok önemli yatırım, altı araştırma merkezinin sürekli istikrarını sağlarken, İngiltere için daha önce kurulmuş olan yeterlilik düzeylerini de korumuştur^[46].

İngiltere'nin biyolojik risklere karşı oluşturduğu ulusal strateji planı iki aşamadan oluşmaktadır. İlk aşama biyolojik risklerin doğasını ve yaratabileceği fırsatları ele alarak gelişen teknolojilerle desteklenmesini içermektedir. İkinci aşama ise dört temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar Anlama, Önleme, Tanımlama ve Karşılık Verme şeklindedir^[47].

İngiltere de diğer ülkelerde olduğu gibi askeri alanda öncelikle birliklerinin güvenliğini sağlamayı hedeflemiştir. Bu kapsamda Hertfordshire Üniversitesi araştırmacıları, İngiltere Silahlı Kuvvetlerini biyolojik saldırılardan koruyan teknolojiler geliştirmek için Savunma Bakanlığı kurumları ve çokuluslu savunma şirketleriyle birlikte çalışmaktadır.

DSTL, Thales Savunma Grubu ve Hertfordshire Üniversitesinin Mikroakışkanlar ve Mikromühendislik (Microfluidics and Microengineering -MEMS) Araştırma Grubu da dahil olmak üzere bir dizi kuruluş arasındaki ortaklık, şu anda yurtdışında kullanımda olan dünya lideri bir gözetim sisteminin geliştirilmesine yol açmıştır. Biyolojik Gözetleme ve Toplayıcı Sistem (The Biological Surveillance and Collector System -BSCS), özel sensörler ve değerlendirme ekipmanları aracılığıyla havadan saldıran parçacıkları tespit ederek İngiltere'nin deniz aşırı konuşlandırılmış kuvvetlerini biyolojik saldırılardan korumak için tasarlanmıştır. Merkezi bir numune işleme laboratuvarında 144 toplama platformu ve 12 elüsyon veya

ekstraksiyon istasyonundan oluşan Thales BSCS sistemi şu anda hizmette ve altı askeri tesisi korumaktadır^[48].

6.5 Kuzey Kore

Kuzey Kore, önemli bir kimyasal silah envanterine sahiptir. Ancak ne kadar biyolojik silaha sahip olduğu bilinmemektedir^[49].

Kuzey Kore'nin COVID-19 için bir aşı geliştirdiğini açıklaması, dikkatlerin Pyongyang'ın geçmişte de endişe yaratan biyolojik silahlar programına odaklanılmasına neden olmuştur. Kuzey Kore biyolojik silah programının gerçekte neleri içerdiği konusunda ciddi bir belirsizlik hâkimdir^[50].

Kuzey Kore, Kimyasal Silahlar Sözleşmesi'ni imzalamamış, ancak Biyolojik ve Toksik Silahlar Sözleşmesi ile savaşta kimyasal ve biyolojik silahların kullanılmasını yasaklayan Cenevre Protokolü'nü imzalamıştır. Kuzey Kore hükümeti kimyasal veya biyolojik silah programlarına sahip olduğunu reddetmektedir. Ülkenin biyolojik silahlanmayı yasaklayan sözleşmelere katılımı bu konudaki endişeleri bir miktar giderse de ABD ve Güney Kore yönetimlerinin Kuzey Kore'yi kimyasal ve biyolojik silah araştırmaları yapmakla itham etmelerine engel olmamıştır^[51].

6.6 Türkiye

Türkiye'de biyoteknoloji alanında çeşitli çalışmalar yürütülmektedir. Türkiye'de ASELSAN bünyesinde kurulan Biyosavunma Araştırma Program Müdürlüğünde, ASELSAN'ın mevcut ve muhtemel faaliyet alanlarında bulunan nano-biyoteknoloji, moleküler biyoloji, optik ve optoelektronik alanlarında çalışmalar yapılmaktadır. Bu çalışmalarda özgün tekniklerin birleştirilmesi ile virüs ve bakteri gibi çeşitli mikroorganizmaların ve kimyasal veya biyolojik partiküllerin test ve tanısını mobil olarak gerçekleştiren yenilikçi biyosensör teknolojilerinin geliştirilmesinin hedeflendiği belirtilmiştir^[52].

Türkiye'de biyogüvenlik konusunda mevcut yasal tek düzenleme transgenik bitkilerin alan denemelerinin kurallarının belirlendiği, Tarım ve Orman Bakanlığı tarafından çıkartılmış olan "Transgenik Kültür Bitkilerinin Alan Denemeleri Hakkında Talimat"tır. Ayrıca "Genetiği Değiştirilmiş Organizmaların (GDO) Üretilmesi, Pazara Sürülmesi ve Gıda Olarak Kullanımı" ile ilgili düzenlemeler de yakın gelecekte tamamlanacaktır^[53].

Türkiye'de faaliyet gösteren NANObiz Teknoloji firması da özellikle nano-biyoteknoloji alanında biyolojik algılama ve tanı teknolojilerine odaklanmaktadır. Sağlık, veterinerlik, gıda, çevre ve savunma sanayii gibi sektörlerde uygulama alanı bulan firmanın moleküler ve biyolojik tanı kitleri biyolojik ajanların tespitinde kullanılabilir^[54].

Türkiye'de 2020 yılında 499 girişim biyoteknoloji faaliyeti yürütmüştür. Biyoteknoloji faaliyeti yürüten girişimlerin 2020 yılında en fazla kullandığı biyoteknolojik teknik, "DNA/RNA" olmuştur. Biyoteknoloji faaliyeti yürüten girişimlerin biyoteknoloji uygulamaları incelendiğinde; 2020 yılında 499 girişimin yüzde 41,3'ünün insan sağlığına, yüzde 32,9'unun tarımsal biyoteknolojiye ve yüzde 24'ünün ise rDNA teknolojisi kullanılan insan sağlığı

araştırmalarına yönelik faaliyet yürüttüğü görülmüştür. Biyoteknoloji faaliyeti yürüten girişimlerin 2020 yılında gerçekleştirdiği Ar-Ge harcamaları ise 417 milyon 560 bin 618 lira olmuştur^[55].

7. SONUÇ

Endüstriyel devrimden biyoteknoloji devrimine geçişte, olası biyo tehditlere karşı hazır bulunma seviyesinin artırılması gereklidir. Günümüzde, biyoteknolojiyi sadece yeni bir teknoloji devrimi olarak görmek büyük bir hata olabilir. İnsanoğlunun yaşamını sürdürmesinde büyük olumlu etkileri olabileceği gibi, insan neslinin tümden yok olmasına sebep olabilecek bir etki yaratması da olasıdır.

Biyogüvenlik konusu ulusal olduğu kadar küresel olarak da değerlendirilmelidir. Bazı bilim insanlarına göre

içinde bulunduğumuz çağ artık virüsler çağı olarak adlandırılmaktadır. Bu durum biyoteknolojinin gelecekte ne kadar önemli hâle geleceğinin bir göstergesidir. Hastalıkların erken tespiti, dayanıklı ve kendini onarabilen zırlar, DNA’da veri depolama ve daha birçok yenilik insanlığı daha ileriye taşıma potansiyelindeyken, kötü niyetli kişilerin toplu ölümlere yol açabileceği riskler de dikkate alınmalıdır. Olumsuz etkilerden korunması için ülkelerin ortak bir regülasyonu uygulayarak küresel ölçekte eşit şartlar yaratılması önemlidir.

Biyoteknoloji ve savunma sanayii etkileri kesin olarak savaş alanlarında değişikliklere neden olacaktır. Bu yeni gelişmeler karşısında hızlı kararlarla faydalı araştırmalar yapmak bütün insanlığa yarar sağlayabilir.

KAYNAKÇA

- [1] *Biotechnology Innovation*, “What is Biotechnology?”, <https://www.bio.org/what-biotechnology>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [2] *Iberdrola*, “Biotechnology and its impact on today’s and tomorrow’s world”, <https://www.iberdrola.com/innovation/what-is-biotechnology>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [3] S Barcelos, Mayara C; (2018), “The colors of biotechnology: general overview and developments of white, green and blue areas”, *Oxford Academic*, (21 Kasım 2018), <https://academic.oup.com/femsle/article/365/21/fny239/5106815>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [4] Rustidge, Morgan; “The Colors of Biotechnology; What do they mean?”, *AZO Life Sciences*, <https://www.azolifesciences.com/article/The-Colors-of-Biotechnology3b-What-do-they-mean.aspx>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [5] *Politik Merkez*, (2021), “Biyolojik Savaş ve Biyo-Teknoloji”, (21 Eylül 2021), <https://politikmerkez.com/konular/guvenlik/biyolojik-savas-ve-biyo-teknoloji/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [6] *Savunma Sanayii Dergilik*, (2021), “Biyoteknolojinin Militarizmi: Biyodefens”, (19 Ocak 2021), <https://www.savunmasanayiidergilik.com/tr/HaberDergilik/Biyoteknolojinin-Militarizmi-Biyodefens>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [7] Mathew, T.L.; (2001), “Biotechnology in defence”, *Research Gate*, (Ekim 2001), https://www.researchgate.net/publication/287775763_Biotechnology_in_defence. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [8] *Manohar Parrikar Institute For Defence Studies And Analyses*, (2008), “Role of Biotechnology in Defence”, (5 Eylül 2008), https://www.idsa.in/event/rolebiotechnologyindefense_alele_050908. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [9] Chakravorty, P K; (2020), “Biotechnology and Biological Warfare – its Applicability to Indian Armed Forces”, *Vifindia*, (27 Nisan 2020), <https://www.vifindia.org/2020/april/27/biotechnology-and-biological-warfare-its-applicability-to-indian-armed-forces>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [10] Güran, Şefik; (2005), “Ulusal savunmada moleküler biyoloji ve biyoteknolojinin önemi”, *Gülhane Tıp Dergisi*, https://cms.galenos.com.tr/Uploads/Article_32920/GMJ-47-153-En.pdf. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [11] Berger, Kavita M.; (2019), “Emerging and Enabling Technologies in Biodefense”, *Research Gate*, (Ocak 2019), https://www.researchgate.net/publication/332095816_Emerging_and_Enabling_Technologies_in_Biodefense. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [12] Betancourt, Sarah; (2018), “Emerging and Enabling Technologies in Biodefense”, *Guardian*, (7 Nisan 2018), <https://www.theguardian.com/science/2018/apr/07/gene-therapy-may-help-astronauts-going-to-mars-resist-deadly-radiation>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [13] FREEDBERG JR., SYDNEY J.; (2019), “Biotech: Can Microscopic Sentries Protect US Troops?”, (27 Haziran 2019), <https://breakingdefense.com/2019/06/biotech-can-microscopic-sentries-protect-us-troops/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [14] CARPINETI, ALFREDO; (2018), “The US Army Is Testing Whether Spider Silk Suits Really Can Stop Bullets”, *IFL Science*, (21 Ağustos 2018), <https://www.iflscience.com/the-us-army-is-testing-whether-spider-silk-suits-really-can-stop-bullets-49365>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [15] Ji-wei, Colonel Guo; “Ultramicro, Nonlethal, and Reversible Looking Ahead to Military Biotechnology”, *Armyupress*, <https://www.armyupress.army.mil/Journals/Military-Review/Directors-Select-Articles/Nanatechnology/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [16] Paolo Rabiah, Yusef; (2021), “From bioweapons to super soldiers: how the UK is joining the genomic technology arms race”, *The Conversation*, (29 Nisan 2021), <https://theconversation.com/from-bioweapons-to-super-soldiers-how-the-uk-is-joining-the-genomic-technology-arms-race-159889>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [17] Greene, Marsha; (2018), “Ethical Issues of Using CRISPR Technologies for Research on Military Enhancement”, *Bioethical Inquiry*, (2 Temmuz 2018), https://www.ndu.edu/Portals/59/Documents/Incoming/AY21%20Briefings/NDU%206070/CRISPR_Military.pdf?ver=2020-08-11-170728-347. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [18] LANGER, RONIT; SHARMA, SHRUTI; (2020), “The Blessing and Curse of Biotechnology: A Primer on Biosafety and Biosecurity”, *Carnegie Endowment For International Peace*, (20 Kasım 2020), <https://carnegieendowment.org/2020/11/20/blessing-and-curse-of-biotechnology-primer-on-biosafety-and-biosecurity-pub-83252>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)

- [19] World Health Organization, “Biological weapons”, https://www.who.int/health-topics/biological-weapons#tab=tab_1. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [20] Newman, Tim; (2018), “Bioterrorism: Should we be worried?”, *Medical News Today*, (28 Şubat 2018), <https://www.medicalnewstoday.com/articles/321030#A-worrying-future>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [21] John Hopkins Bloomberg School of Public Health, “Biological Weapons”, https://www.jhsph.edu/research/centers-and-institutes/johns-hopkins-center-for-public-health-preparedness/tips/topics/Biologic_Weapons/BioWeapons.html. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [22] Frischknecht, Friedrich; (2003), “The History of Biological Warfare”, National Library of Medicine, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1326439/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [23] Tucker, Patrick; (2020), “A Military-Funded Biosensor Could Be the Future of Pandemic Detection”, *Defense One*, (3 Mart 2020), <https://www.defenseone.com/technology/2020/03/military-funded-biosensor-could-be-future-pandemic-detection/163497/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [24] Profusa, (2018), “Injectable Body Sensors Take Personal Chemistry to a Cell Phone Closer to Reality”, (19 Mart 2018), <https://profusa.com/injectable-body-sensors-take-personal-chemistry-to-a-cell-phone-closer-to-reality/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [25] DR. B. LAL INSTITUTE OF BIOTECHNOLOGY, (2022), “Latest Trends and Innovations in Biotechnology in 2022”, (24 Şubat 2022), <https://www.blalbiotech.com/blog/latest-innovations-in-biotechnology-in-2022/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [26] MCMILLEN, DANIEL; (2021), “10 Biotechnology Breakthroughs in 2021”, (16 Haziran 2021), <https://explorebiotech.com/biotechnology-breakthroughs-2021/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [27] SRIRAM, RAMYA; (2020), “Top 10 Biotech Innovations You Should Know About”, *Kolabtree Blog*, (9 Aralık 2020), <https://www.kolabtree.com/blog/top-10-biotech-innovations-you-should-know-about/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [28] REDER, KIMO; “Joe Davis’ ‘Microvenus’ as molecular muse”, *Jacket2*, <https://jacket2.org/commentary/joe-davis-microvenus-molecular-muse>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [29] STM ThinkTech, (2019), “BİYOTEKNOLOJİ ÇAĞINDA BİYOLOJİK HARP”, (Temmuz 2019), https://thinktech.stm.com.tr/uploads/docs/1608996992_stm-biyoteknoloji-caginda-biyolojik-harp.pdf. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [30] Lehrfeld, Jonathan; (2022), “New biodefense strategy seeks new research, tech to fend off outbreaks”, *Yahoo News*, (21 Ekim 2022), <https://news.yahoo.com/biodefense-strategy-seeks-research-tech-170323040.html>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [31] Tucker, Patrick; (2022), “White House Aims for Bio-Defense ‘Moonshots’ in New Strategy”, *Defense One*, (18 Ekim 2022), <https://www.defenseone.com/threats/2022/10/white-house-aims-bio-defense-moonshots-new-strategy/378554/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [32] White House, “FACT SHEET: Biden-Harris Administration Releases Strategy to Strengthen Health Security and Prepare for Biothreats”, <https://www.whitehouse.gov/briefing-room/state-ments-releases/2022/10/18/fact-sheet-biden-harris-administration-releases-strategy-to-strengthen-health-security-and-prepare-for-biothreats/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [33] DIEULIIS, DIANE; (2018), “BIOTECHNOLOGY FOR THE BATTLEFIELD: IN NEED OF A STRATEGY”, *War on The Rocks*, (27 Kasım 2018), <https://warontherocks.com/2018/11/biotechnology-for-the-battlefield-in-need-of-a-strategy/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [34] Biosecurity Research Institute, <https://www.bri.k-state.edu/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [35] Magnuson, Stew; (2022), “JUST IN: Pentagon Biological Defense Programs at ‘Pivot Point’”, *National Defense Magazine*, (28 Temmuz 2022), <https://www.nationaldefensemagazine.org/articles/2022/7/28/pentagon-biological-defense-programs-at-pivot-point>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [36] L. Pravecek, Tasha; (2005), “BIO-DEFENSE NOW: 56 SUGGESTIONS FOR IMMEDIATE IMPROVEMENTS”, *Air University*, (Mayıs 2005), <https://www.airuniversity.af.edu/Portals/10/CSDS/Books/biodefensenow2.pdf>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [37] U.S. Government Accountability Office, (2022), “Biodefense: Opportunities to Address National Strategy and Programmatic Challenges”, (17 Şubat 2022), <https://www.gao.gov/products/gao-22-105733>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [38] U.S. Department of Defense, (2022), “New Biotechnology Executive Order Will Advance DoD Biotechnology Initiatives for America’s Economic and National Security”, (14 Eylül 2022), <https://www.defense.gov/News/Releases/Release/Article/3157504/new-biotechnology-executive-order-will-advance-dod-biotechnology-initiatives-fo/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [39] Clifford, David; (2007), “Biodefense and Homeland Security Technology Development: Analysis of U.S. Policies and Process of Selection”, *Center for International Science and Technology Policy, The George Washington University*, (12 Mart 2007), https://www.ige.unicamp.br/spec/wp-content/uploads/sites/15/2015/07/Report_Biodefense-and-Homeland-Security_2007.pdf. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [40] Ramanujam, Kanchana; (2019), “China’s Military Pursuit of Bio-Technology”, *Manohar Parikar Institute For Defence Studies And Analyses*, <https://www.idsa.in/cbwmagazine/china-military-pursuit-of-bio-technology>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [41] Dilanian, Ken; (2020), “China has done human testing to create biologically enhanced super soldiers, says top U.S. official”, *NBC News*, (4 Aralık 2020), <https://www.nbcnews.com/politics/national-security/china-has-done-human-testing-create-biologically-enhanced-super-soldiers-n1249914>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [42] TASS, (2019), “Russia’s national defense budget to total \$154 bln through 2022”, (1 Ekim 2019), <https://tass.com/defense/1080646>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [43] Bendett, Samuel; (2021), “Advanced military technology in Russia”, *Chatham House*, (Eylül 2021), <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/2021-09/2021-09-23-advanced-military-technology-in-russia-bendett-et-al.pdf>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [44] Ackerman, Gary; (2018), “Ominous biosecurity trends under Putin”, *Nature*, (2 Mart 2018), <https://www.nature.com/articles/d41586-018-02693-9>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [45] Gov.uk, (2022), “UK Engineering Biology receives £20.6 million funding boost”, (12 Haziran 2022), <https://www.gov.uk/government/news/using-the-power-of-biology-to-solve-challenges-in-defence>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [46] UK Research and Innovation, (2022), “UK Engineering Biology receives £20.6 million funding boost”, (6 Mayıs 2022), <https://www.ukri.org/news/uk-engineering-biology-receives-20-6-million-funding-boost/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [47] Gov.uk, (2018), “UK Biological Security Strategy”, (Temmuz 2018), https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/730213/2018_UK_Biological_Security_Strategy.pdf. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [48] University of Hertfordshire, “UK Biological Security Strategy”, <https://www.herts.ac.uk/research/impact-our-research/case-studies/protecting-our-troops-in-biowarfare>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)

- [49] W. Bennett, Bruce; (2022), "Characterizing the Risks of North Korean Chemical and Biological Weapons, Electromagnetic Pulse, and Cyber Threats", *Rand Corporation*, https://www.rand.org/pubs/research_reports/RRA2026-1.html. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [50] Harris, Elisa; (2020), "North Korea and Biological Weapons: Assessing the Evidence", *Stimson*, (6 Kasım 2020), <https://www.stimson.org/2020/north-korea-and-biological-weapons-assessing-the-evidence/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [51] *International Crisis Group*, (2009), "North Korea's Chemical and Biological Weapons Programs", (18 Haziran 2009), <https://www.crisisgroup.org/asia/north-east-asia/korean-peninsula/north-korea-s-chemical-and-biological-weapons-programs>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [52] Savunma Haber, (2018), "ASELSAN Biyosavunma Laboratuvarı'nın Hedefi, TSK'yı Biyolojik Tehditlere Karşı Hazırlamak", (4 Eylül 2018), <https://www.savunmahaber.com/aselsan-biyosavunma-laboratuvarinin-hedefi-tskyi-biyolojik-tehditlere-karsi-hazirlamak/>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [53] *Devlet Planlama Teşkilatı*, (2000), "BİYOTEKNOLOJİ VE BİOGÜVENLİK ÖZEL İHTİSAS KOMİSYONU RAPORU", <https://www.sbb.gov.tr/wp-content/uploads/2022/08/Biyoteknoloji-ve-Bio-guvenlik-OIK-Raporu.pdf>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [54] *Target*, (2021), "Hedefimiz Savunma Sanayiinde Tam Bağımsızlık", (Ocak 2021), <https://www.tgbd.org.tr/content/upload/bulletins/documents/target-09-tek-20210316145240.pdf>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)
- [55] *Türkiye İstatistik Kurumu*, (2021), "Biyoteknoloji İstatistikleri, 2020", (5 Kasım 2021), <https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=-Biyoteknoloji-Istatistikleri-2020-37449>. (Erişim Tarihi: 22 Aralık 2022)



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

