



SENTETİK BİYOLOJİ DÜNYAYI KURTARABİLİR Mİ?



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.

 STM ThinkTech

1. GİRİŞ

Dünya uzun zamandır küresel iklim değişikliği, kıtlık, doğal afetler ve artan nüfus ile mücadele etmektedir. Kuraklık veya sel gibi afetlerden etkilenen bölgelerde ciddi yiyecek ve hammadde sıkıntıları yaşanırken, gelişmiş ülkelerde de artan taleplerin karşılanması için hammadde üretimini artırmanın yolları aranmaktadır. Bu yollardan bazıları ise insan sağlığını tehdit edebilmektedir.

Bilim insanları insan sağlığına zarar vermeden, artan tüketim malzemeleri talebinin karşılanması için yeni yöntemler aramaktadır. Sentetik biyoloji bu araştırma konularının temelini oluşturan bir bilim dalıdır. Organizmaların tasarlanması ile faydalı amaçlar için yeni beceriler kazanmasını sağlayan sentetik biyoloji doğadan ilham alır.

Ancak sentetik biyoloji sadece bununla sınırlı kalmayarak geniş çapta yeni suni biyolojik yolların, organizmaların ya da cihazların tasarım veya yeniden inşasını da sağlamaktadır. Moleküllerin ve bütün mikroorganizmaların uyarlanması, ilaç endüstrisinde, çevresel biyoteknolojide ve endüstriyel materyallerde muazzam fırsatlar yaratmaktadır. Bu nedenle sentetik biyoloji heyecan verici ve hızla gelişen bir araştırma alanıdır.

Dünya çapındaki sentetik biyoloji araştırmacıları ve şirketleri, birçok sektörde yaşanan hammadde ve tedarik problemleri konusunda doğayı taklit ederek çözüm aramaktadır. Sentetik olarak üretilen organik malzemelerin dünyanın artan hammadde talebi ve gelecekteki tüketim sorunlarını aşmada kilit bir rol oynayabileceği düşünülmektedir.

Analizimizde sentetik biyolojinin tanımına, nasıl ortaya çıktığına ve kullanım alanlarına değinilecek, yaşanan gelişmeler ışığında sentetik biyolojinin avantaj ve dezavantajları ortaya konularak, yapılan yatırımlar sonrası bu bilimin gelecekte ulaşacağı konum üzerinde yoğunlaşılacaktır.

2. SENTETİK BİYOLOJİ NEDİR?

Sentetik biyoloji, organizmaları yeni yeteneklere sahip olacak şekilde veya yararlı amaçlar için yeniden tasarlamayı hedefleyen bir bilim alanıdır. Sentetik biyoloji ile dünyanın dört bir yanındaki şirketler, tıp, üretim ve tarımdaki sorunları çözmek için doğanın gücünden yararlanmaktadır.

Organizmaları ilaç, gıda ve yakıt gibi maddeler üretecek veya çevresel bir durumu algılayarak adapte olma gibi yeni yetenekler kazanacak şekilde yeniden tasarlamak sentetik biyoloji projelerinin ortak hedefidir^[1].

Günümüz teknolojileriyle birlikte DNA sentezinin hız ve maliyetinde yaşanan olumlu gelişmeler, bilim insanlarının gelişmiş biyoyakıtlar, biyoürünler, yenilenebilir kimyasallar, ilaç ara ürünleri, ince kimyasallar, gıda gibi biyotabanlı özel kimyasalların üretiminde kullanılabilecek modifiye edilmiş bakteri kromozomları tasarlamalarını ve sentezlemelerini sağlayabilmektedir^[2].

Basitçe söylemek gerekirse, sentetik biyoloji çeşitli problemleri çözmek için doğanın sağladığı bu canlı makinelere mühendislik prensiplerini uygulayan disiplinler arası bir alandır. Sentetik biyoloji, hayatı, faydalı amaçları olan yeni biyolojik sistemler yaratmak için bir araç olarak kullanılmaktadır.

3. SENTETİK BİYOLOJİ NASIL ORTAYA ÇIKTI?

Sentetik biyoloji oldukça yakın tarihli bir geçmişe sahiptir. 1970'lerden itibaren özellikle çevre uygulamaları açısından artan genetik mühendislik çalışmaları petrol bileşenlerini yiyebilen bir bakterinin geliştirilmesini sağlamıştır. Bilinen ilk biyoteknoloji patenti petrol sızıntılarını engellemek amacıyla geliştirilen bir mikro-organizmaya aittir. 2000'li yıllarda çalışmaları artan ve bütçeleri daha ekonomik hâle gelen genetik araştırmalar neticesinde, 2008 yılında ilk sentetik bakteri genomu J. Craig Venter Enstitüsü (J. Craig Venter Institute -JCVI) tarafından geliştirilmiştir. JCVI'nin geliştirdiği Mykoplasma Genitalium JCVI-1.0 ilk en büyük insan üretimi DNA yapısıdır. 2010 yılında JCVI araştırmacıları dünyanın ilk sentetik canlı formunu oluşturmuştur. Keçilerde mastit adı verilen rahatsızlığa neden olan bir bakteriden esinlenilerek laboratuvar ortamında üç kimyasalın kullanılmasıyla üretilen bakterinin sentetik olduğunun anlaşılması için DNA yapısına dört adet imza bırakılmıştır. JCVI bilim insanları bu projeyi 15 yılda tamamlamıştır^[2].

2013 yılında Londra'da yapılan yıllık sentetik biyoloji konferansı dünya üzerinde bu konuda araştırma yapan birçok bilim insanının dikkatini çekerken, bu konferanstan üç yıl sonra 2016 yılında önemli bilim insanlarından oluşan bir grup, geniş kapsamlı bir sentetik biyoloji girişiminin oluşturulmasını sağlamıştır. Bu girişim İnsan Genomu Projesi-Yazımının (Human Genome Project-Write, HGP-Write) oluşmasına yol açmıştır. Bu çalışmayla birlikte geniş kapsamlı genom projelerinin önü açılarak bu alanda yapılan çalışmaların daha ekonomik hâle gelmesi sağlanmıştır^[3].

2014 yılında ilk sentetik biyoloji şirketlerinden biri olan Synlogic tedavi edici birinci sınıf sentetik biyotik ilaçların üretimine odaklanmıştır. Synlogic, 2018 yılında çalışmalarının kanıtlarını sunarak hem anne hem de babadan genler yoluyla geçen kalıtsal bir amino asit metabolizma bozukluğu olan fenilketonüri (Phenylketonuria -PKU) ve hiperamonyemi hastaları üzerinde çalışmalar başlatmıştır^[4].

Sentetik biyolojinin evrimi, bir bütün olarak bilim dünyası üzerinde ciddi etkilere neden olmuştur. Sağlıktan tarıma birçok endüstriyel alan sentetik biyoloji ile yeni araştırmalara imza atmaktadır. Sentetik biyoloji, biyoloji bilimi ile yeni paradigmalardan yaratılması hakkında nasıl düşündüğümüz konusunda temel bir değişim yaratmış ve yaratmaya devam etmektedir^[3].

4. SENTETİK BİYOLOJİ VE GEN DÜZENLEME

Sentetik biyoloji uygulamaları başka bazı bilimsel alanlarla da benzerlik göstermektedir. Bu alanlardan biri genom düzenlemesidir. Sentetik biyoloji ile genom düzenlemenin bazı yönlerden benzerliği her iki bilim dalının da bir organizmanın genetik kodunu değiştirmeyi içermesinden kaynaklanmaktadır. Ancak, bazı insanlar bu değişikliğin nasıl yapıldığına bağlı olarak bu iki yaklaşım arasında bir ayrım olduğunu düşünmektedir.

Sentetik biyolojide, bilim insanları tipik olan uzun DNA dizilimlerini bir araya getirmekte ve onları bir organizmanın genomuna yerleştirmektedir. Bu sentezlenmiş DNA parçaları, diğer organizmalarda bulunan genler veya tamamen yeni eklerden oluşabilir. Genom düzenlemede ise bilim insanları genellikle organizmanın kendi DNA'sında daha küçük değişiklikler yapmak için araçlar kullanılmaktadır. Genom düzenleme araçları, genomdaki küçük DNA uzantılarını silmek veya eklemek için de kullanılabilir^[1].

5. SENTETİK BİYOLOJİ NASIL ÇALIŞIR?

Sentetik biyoloji, insanların tükettiği hemen hemen her şeyi yeniden yapılandırmanın yollarını sunar ve bu durum çevreye verdiğimiz olumsuz etkileri de radikal bir şekilde azaltma potansiyelindedir.

Sentetik biyoloji hâlihazırda dünyada doğal olarak mevcut olmayan biyolojik bileşenlerin ve sistemlerin yeniden tasarımı ve imalatını amaçlayarak çalışmaktadır. Sentetik biyoloji, araştırmacıların kataloglanmış DNA dizilerini hızla üretmelerini ve bunların yeni genomlar hâlinde bir araya gelmesini sağlamak için DNA'nın kimyasal sentezini genomik bilgisiyle birleştirmektedir.

Sentetik biyoloji araştırmacıları bazı önemli hedefler üzerinden hareket etmektedir. Yeni biyolojik sistemlerin yaratılmasında standartlaştırılmış biyolojik parçaların oluşturulması bunlardan biridir. Mevcut biyolojik parçaların yeniden tasarımı ve doğal protein fonksiyonlarının işlenmesi için eklemeli protein tasarımı bir diğer ilgi alanıdır. Doğal üretim sentezi ise kompleks adımları tamamlamak için üretilen mikrobik canlılarla doğal ürünlerin sentezi ve bileşimini hedeflemektedir. Son olarak sentetik genom araştırmaları doğal bir bakterinin basit genomunu üretmeyi hedefler^[2].

Sentetik biyoloji aslında dört farklı tartışma konusundan doğmuştur. Bunlardan ilki işlevsel bir sistemi temel parçalarından yeniden oluşturma yeteneğinin bilimsel fikrini pratik bir şekilde anlama testidir. Bilim insanları, sentetik biyolojiyi kullanarak, modellere dayalı sistemler kurmakta ve beklenti ile gözlem arasındaki farklılıkları ölçerek biyolojinin nasıl çalıştığına dair modelleri test etmektedir. İkinci konu, bazılarının göre biyolojinin,

kimyanın bir uzantısı olduğu ve dolayısıyla sentetik biyolojinin de sentetik kimyanın bir uzantısı olduğu fikrinin ortaya çıkmasıdır. Canlı sistemleri moleküler düzeyde manipüle etme girişimleri, biyolojik bileşenlerin ve sistemlerin daha iyi anlaşılmasına ve yeni türlerin ortaya çıkmasına neden olacaktır. Üçüncü konu da, doğal yaşam sistemlerinin insanın anlayışı ve amaçları için optimize edilmesi yerine var olmaya devam etmek için evrimleştiği kavramıdır. Doğal yaşam sistemlerini dikkatlice yeniden tasarlayarak, mevcut anlayışımızı aynı anda test etmek mümkündür. Üzerinde çalışılması ve etkileşime girmesi daha kolay olan mühendislik sistemlerini doğal süreçlere uygulamak sentetik biyoloji ile mümkün olabilir. Dördüncü konu ise biyolojinin bir teknoloji olarak kullanılabilirliği ve biyoteknolojinin, bilgi işleme, enerji üretimi, kimyasal imalat ve malzeme üretimi gibi amaçlar için entegre biyolojik sistemlerin mühendisliğini içerecek biçimde genişçe yeniden tanımlanabileceği fikridir^[6].

Sentetik biyoloji, iki alt bilim alanına sahip, büyüyen bir disiplindir. Yapay yaşam yaratmak amacıyla doğal biyolojide ortaya çıkan davranışları yeniden üretmek için doğal olmayan moleküllerin kullanılması bir alt alanı oluştururken; doğal olmayan şekilde hareket eden sistemlerde birleştirmek için doğal biyolojiden değiştirilebilir parçaların aranması diğer alt alanı oluşturmaktadır.

Her iki alt bilim dalında da sentetik içerikli bir hedef, bilim insanlarını analitik yöntemlerle kolayca karşılaşılmayan problemlerle karşılaşmak ve bunları çözmek için keşfedilmemiş bir düzleme geçmeye zorlamaktadır. Bu durum, analizin kolayca yapılamayacağı şekillerde yeni paradigmanın ortaya çıkmasına neden olmaktadır.

Her iki alt alanın ortak amacı ise performans özelliklerini karşılayacak yeni sistemler geliştirmek için değiştirilebilir parçaların kullanılmasıdır. Bu parçalar bağımsız olarak çalışmalıdır. Makroskopik dünyada değiştirilebilir parçalar elde etmek moleküler dünyada olduğundan daha kolaydır. Sentetik biyolojideki temel zorluk, moleküler dünyadaki değiştirilebilir parçaları tanımlamaktır^[6].

6. SENTETİK BİYOLOJİNİN KULLANIM ALANLARI

Sentetik biyoloji birçok sorunun üstesinden gelmek için kullanılabilir. Uygulamaları çok geniştir. Mevcut sentetik biyoloji uygulamaları teşhis, tedavi, enerji, çevre, gıda ve imalat başta olmak üzere çok çeşitli sektörler altında toplanabilmektedir.

Sentetik biyoloji ile oluşturulan ve biyolojik iyileştirme için kullanılabilen mikroorganizmalar sudaki, topraktaki veya havadaki kirliliği yok etmekte kullanılabilir. Sentetik biyoloji gıdaların özelliklerini değiştirerek daha faydalı hâle gelmelerini de sağlayabilmektedir. Pirincin değiştirilerek beta-karoten özelliği kazandırılması, sadece havuçlarla elde edilebilen A vitamininin herkesin erişimine sunulmasını sağlayabilir. Bu sayede özellikle A vitamini eksikliği nedeniyle görme kaybı yaşayan yüzbinlerce çocuğun daha sağlıklı büyümesine imkân sağlanabilir. Benzer şekilde farklı vitaminlerle desteklenen

yeni ürünler hastalıklarla mücadelede doğal bağışıklığın oluşturulmasına bile yol açabilir. Hatta parfüm endüstrisi bile sentetik biyolojiden faydalanabilmektedir. Sentetik biyoloji ile üretilen gül yağı hem güllerin ekosistemde hammadde olarak kullanımının önüne geçmekte hem de istenilen yoğunlukta üretim imkânı sunmaktadır^[1].

Son yıllarda artan gıda kıtlığının bir çözüm yolu da sentetik biyoloji ile aranmaktadır. Özellikle et endüstrisinde gelişmeye devam eden yapay et çalışmaları sentetik biyolojinin önemli araştırma alanlarından birini oluşturmaktadır. 2016 yılında bir kardiyolog, bir onkolog ve bir biyomedikal mühendisinin işlerinden ayrılarak kurdukları Upside Foods bu alanda faaliyet gösteren startup'ların en bilinenlerinden biridir. Hayvanlardan ve yumurtalardan alınan kök hücrelerin bir biyoreaktör yardımıyla çeşitli vitaminler, mineraller, yağlar ve besinlerle güçlendirilmesini içeren çalışmalar sentetik sığır, ördek ve tavuk eti üretimine imkân sağlamıştır^[7].

Zymergen isimli bir firmanın sentetik biyoloji ile yaptığı çalışmalar monomer yapılı ince bir poliamid film tabakası olan sentetik kıkırdak tipi hyalin üretilmesine imkân vermiştir. Poliamidlerin en bilineni aslında kaptondur. Kapton özellikle yüksek termal/kimyasal dayanımlı mekanik özelliği ile tanınmaktadır. Ancak kaptonun renkli yapısı özellikle şeffaflık gerektiren uygulamalarda sorun yaratmaktadır. Hyalin esnek, dayanıklı, mekanik olarak güçlü ve katlanabilir telefonlar gibi teknolojiler için kullanışlı bir materyaldir.

Çiftçiler için geliştirilen bir sentetik biyoloji ürünü olan KV137 (y-proteobacterium) özellikle mısır üretiminde ihtiyaç duyulan nitrojeni sağlayacak gübreyi ortaya çıkarmıştır. Pivot Bio firmasının geliştirilen KV137 mısır kökleriyle etkileşerek ihtiyaç duyulan nitrojeni ortaya çıkarabilmektedir. Bu ürünle sıvı nitrojen gübresinde kullanılan kimyasalların yağmurla yeraltı sularına karışması sorunu da ortadan kalkmaktadır.

Biyoteknoloji mühendisliği ile geliştirilen canlı hücrelerin tedavi amaçlı kullanımı geleceğin tıp uygulamalarının önemli bir temelini oluşturmaktadır. Uluslararası bir ilaç firması olan Novartis tarafından geliştirilen Kymriah tedavisi, B-hücreli akut lenfoblastik lösemisinin tedavisi için kullanılmaktadır. Kymriah ABD'nin Gıda ve İlaç Dairesi (Food and Drug Administration -FDA) tarafından sentetik biyoloji ürünü olarak onaylanan ilk tedavi yöntemidir. 2020 yazı itibarıyla bilinen 671 kan kanseri vakası Kymriah ve benzeri tedavi yöntemleri uygulanarak tedavi edilmeye çalışılmaktadır^[8].

Kymriah iki tip lösemi türü tedavisinde kullanılabilir. Bunlardan ilki B-hücreli akut lenfoblastik lösemisinin (B-cell acute lymphoblastic leukaemia -ALL) çocuklarda ve 25 yaş altı yetişkinlerde daha önce farklı tedavilere yanıt alınmadığı durumlardır. Diğer olasılık ise dağınık büyük B-hücreli lenfomanın (Diffuse large B-cell lymphoma -DLBCL) tekrarladığı veya birkaç tedavi sonrası yanıt alınmadığı durumlardır^[9].

Sentetik biyoloji ile üretilen ve genetiği düzenlenmiş ilk bitki olan Calyno üzerinden üretilen yağ ABD gıda tedarikine girmiş durumdadır. Soya fasülyesi türeviden olan bu bitki normalde soya filizlerinden elde edilen soya

yağının yüksek linoleik asit içeriği ile karşılaştırıldığında kızartma gibi işlemlerde daha fazla dayanıklılık göstermiştir. Calyno yağı 2019 yılından bu yana pazarda temin edilebilmektedir^[8].

Bir biyoteknoloji şirketi olan Modern Meadow, hayvan derisinden elde edilen deriye benzer özelliklere ve dokuya sahip sürdürülebilir bir deri alternatifini sunmayı hedeflemektedir. Sentetik biyoloji ayrıca, kendi kendine monte edilebilen veya kendi kendini tamir edebilen malzemeler gibi yeni işlevselliklere ve performansa sahip gelişmiş malzemeler için yeni bir çalışma alanı yaratmıştır^[10].

Sentetik biyolojinin askeri alanda kullanımı konusunda farklı yaklaşımlar da bulunmaktadır. ABD Savunma Bakanlığına bağlı İleri Savunma Araştırma Projeleri Ajansı (Defense Advanced Research Projects Agency -DARPA) biyolojik bilgisayarların yaratılmasıyla ilgili deneyler yapmaktadır. Diğer yandan askeri bilim insanları da belirli hastalıkları hedefleyen aşı veya tedaviler olarak işlev görececek protein ve gen ürünlerini tasarlamaya çalışmaktadır.

Biyoyakıtlar konusunda çok sayıda şirket ve bilim insanı yeni nesil bir biyoyakıt üretmek için yoğun hammaddeyi parçalayabilen mikroplar yaratmaya çalışmaktadır. Bu tür hammaddeler, araçların hâlihazırda kullandığı fosil yakıtlara kıyasla daha verimli, daha ucuz ve çevresel açıdan sürdürülebilir bir şekilde yetiştirilebilir, işlenebilir ve yakılabilir özelliktedir^[11].

Sentetik biyoloji birçok alanda fark yaratmakta veya potansiyel sağlamaktadır. Daha güvenli sentetik biyoloji ürünleri araştırıldıkça gelecekte daha fazla kullanım alanı ortaya çıkması muhtemeldir.

7. SENTETİK BİYOLOJİNİN AVANTAJLARI VE DEZAVANTAJLARI

Geleceğin önemli teknolojilerinde ve insanların günlük hayatlarında yer edinme şansı bulan sentetik biyoloji ürünlerinin getirdiği çok çeşitli avantajlar bulunmaktadır.

7.1 Sentetik Biyolojinin Avantajları

Bunların en bilinenlerinden biri, ortaya çıkarılan ürünlerin en temel yapıtaşları olan glukoz, karbondioksit ve metandan başlanarak üretilibilmeleridir. En etkili enzimler farklı türler arasında kullanılabilir. Ayrıca reaktif veya toksik etmenler hücre aşamasında kontrol edilerek zararsız hâle getirilebilmektedir. Bu sayede zorlu arındırma işlemlerine gerek kalmayabilmektedir^[12].

Sentetik biyoloji, normalde vahşi doğadan elde edilen ticari ürünlere yapay alternatiflerin geliştirilmesine izin vererek doğayı koruma çabalarına da dolaylı yoldan fayda sağlama potansiyelindedir. At nalı yengecinin kanı, bakteriyel kontaminasyon için farmasötikleri test etmek amacıyla kullanılan önemli bir biyomedikal üründür. Sürdürülebilir olmayan avlanma, türleri küresel yok olmaya doğru itmektedir. Nesli tükenmekte olan yengeçlerin

avlanma ihtiyacını azaltabilecek veya değiştirebilecek sentetik bir ürün, bu türün yaşama şansını artırabilir. Benzer şekilde, Omega-3 yağlarına alternatif üretilen mühendislik ürünü mikroplar ve mikro algler, azalan balık stokları üzerindeki baskıyı azaltmanın yeni bir yolu olabilir^[10].

7.2 Sentetik Biyolojinin Dezavantajları

Sentetik biyoloji sayısız olanak sunduğu gibi, birçok zorluğu da beraberinde getirmektedir.

Sentetik biyoloji ile üretilen bir organizmanın doğru kontrol şartları sağlanmadığında kaçma olasılığı bu yeni bilim dalının en endişe veren yanlarından birini oluşturmaktadır. Kontrolde çıkan sentetik organizmanın evrilerek ölümcül bir patojene dönüşme olasılığı veya bu organizmaların biyolojik silah olarak geliştirilmesi gibi riskler birçok bilim insanı tarafından endişe verici olarak görülmektedir.

Kök hücre teknolojileri ve klonlama ile ilgili yapılan araştırmalar sentetik biyolojinin de dahil olmasıyla daha da önem kazanmaktadır. Ancak genlere yapılan müdahalelerin gelecekte ne gibi sorunlar yaratabileceği de bir soru işareti olarak ortaya çıkmaktadır^[13].

Sentetik biyoloji adına yapılan çalışmalar çok çeşitli toksin ve malzemelere de erişimin kolaylaşmasını sağlamaktadır. Bu durum kötü niyetli kullanıcıların zararlı çalışmalar gerçekleştirmesine zemin hazırlayabilmektedir. Sentetik biyolojinin kötü niyetli kullanımının ciddi çevresel, ekonomik veya ölümlerle sonuçlanabilecek etkileri olabilir^[14].

Sentetik biyoloji yaşam bilimleri, endüstriyel gelişim ve çevresel biyolojik iyileştirme de dahil olmak üzere birçok alanda gelişime imkân vermiştir. Bununla birlikte, sentetik biyolojinin olası istenmeyen kullanımları, bu teknolojinin geliştirilmesi ve uygulanması aşamasında biyoemniyet, biyogüvenlik ve hatta siber biyogüvenlik konularında endişeler doğurmaktadır. Bu çalışmalar, halk sağlığını ve çevreyi bilinmeyen tehlikelere maruz bırakma potansiyelindedir^[15].

Sentetik biyoloji endüstriyel ölçekte düşünüldüğünde de yapılacak bir hata, sabotaj veya kasıtlı işlemde çok ciddi sonuçları olabilecek bir bilim dalıdır.

8. SENTETİK BİYOLOJİ VE ENDÜSTRİYEL BİYOTEKNOLOJİ İLİŞKİSİ

Endüstriyel biyoteknoloji, enzimleri, kimyasalları, polimerleri, vitaminler ve yakıtlar gibi günlük ürünleri verimli bir şekilde üretmek için biyolojik süreçlerin doğal mekanizmalarını geliştirmenin araçları üzerinde çalışmaktadır. Bilim insanları; yeni ürünler, daha temiz üretim operasyonları ve üretim adımlarının sayısını azaltmak gibi işlemler için kimyasal reaksiyonların yerini alabilecek biyolojik süreçleri tanımlamak amacıyla mikrop genomlarını incelemektedir.

Endüstriyel biyoteknoloji inovasyonları artık geleneksel petrokimya üretim süreçleriyle başarılı bir şekilde rekabet etmekte ve bunların yerini alabilmektedir. Endüstriyel biyoteknolojiyi benimseyen şirketler, maliyetleri, kirliliği ve karbon ayak izlerini azaltabileceklerini, ayrıca kârlılığını artırmabileceklerini fark etmiştir.

Endüstriyel biyoteknoloji bilim insanları ve şirketleri, yıllardır gen birleştirme ve metabolik mühendislik dahil olmak üzere sentetik biyolojinin çeşitli özelliklerini kullanmaktadır. Kapalı fermantasyon kazanlarında tasarlanan mikroorganizmalar istenilen son ürünleri üretmek için kullanılabilir. Genetik olarak geliştirilmiş mikroplar (Genetically Enhanced Microbes -GEMs), Zehirli Maddeler Kontrol Yasası (Toxic Substances Control Act -TSCA) tarafından düzenlenerek kontrol edilmektedir^[2].

1976 yılında yürürlüğe giren Zehirli Maddeler Kontrol Yasası, ABD Çevre Koruma Ajansına (U.S. Environmental Protection Agency -EPA) kimyasal maddeler veya karışımlarla ilgili raporlama, kayıt tutma, test gereklilikleri ve kısıtlamalar talep etme yetkisi vermiştir^[6].

Modern dünya, günlük kullanım için doğal ve sentetik kimyasalların üretimine bağımlıdır. Kimyasallar giysilerimizde, konutlarımızda, ilaçlarımızda, tarımda, yüksek teknoloji cihazlarda, ulaşımda ve hayatımızın her alanında kullanılmaktadır. Sentetik biyoloji, gelecek nesil verimli, uygun maliyetli ve sürdürülebilir üretim teknolojilerinin sağlanmasında önemli bir role sahiptir. Bu rol, yüksek değerli küçük moleküllerin üretimi gibi tanımlanmış çıktılar üretmek üzere tasarlanabilen yeni mikroorganizma türlerinin kullanılmasıyla elde edilmektedir.

Endüstriyel biyoteknoloji uygulama alanı, sentetik biyoloji ve kimyasal üretim teknolojilerinin arasında bir köprü oluşturmaktadır. Endüstriyel biyoteknolojinin stratejisi, yüksek katma değerli ileri üretim sektörlerinde rekabetçi sürdürülebilirliği inşa etmek için yeni yollar geliştirmektir^[17].

9. SENTETİK BİYOLOJİDE YAŞANAN GELİŞMELER

Sentetik biyoloji her geçen gün gelişen bir araştırma alanıdır. Yakın tarihlerde başlayan sentetik biyoloji araştırmaları yepyeni projelerin kapılarını açarak insanlığın geleceğini değiştirme potansiyelindedir. Gelişim aşamalarından bazıları aşağıda sıralanmıştır:

9.1 Gen Transplantasyonu (Nakli)

2016 yılında JCVI bilim insanlarıncı gerçekleştirilen bir gen transferi, DNA ile yapılan çalışmalarda yeni bir dönemi işaret etmiştir. Mycoplasma Mycoides'in bir tür genin Mycoplasma Capricolum bakterisine aktarılmasıyla gerçekleşen gelişme başarıyla sonuçlanmıştır. Bu çalışma canlılarda gen değişimleri ile hastalıklardan arınmış veya daha güçlü canlı profillerinin oluşmasına öncülük edebilir. Sentetik olarak üretilen genlerin canlı hücrelerde değişimi ile yeni özellikler kazanmış hücrelerin gelişmiş insanlara dönüşmesi bir bilim kurgu filmi gibi görünse de geleceğin neler getireceği belirsizdir^[18].

9.2 Sentetik Genler

DNA sentez teknolojisi, tüm genomları sentezlemenin artık oldukça pratik olduğu bir noktaya gelmiştir. İlk başlarda tek genleri sentezlemek için yapılan çalışmalar artık tüm genomları toplu olarak düzenlemek veya sıfırdan yazmak için kullanılan oldukça çeşitli yöntemlere dönüşmüştür. Sentetik genomlar esasen doğal dizilerin klonları olarak değerlendirilmekte ancak bu yaklaşım bilim insanlarına yeni biyoloji bilgileri vermemektedir. Genomları yeni özelliklerle donatmak için kullanılan bu teknoloji, geleneksel gen yöntemleriyle kolayca ulaşılamayan soruları ele almak için çok iyi bir olasılık sunmaktadır. Bu çalışmalar evrim ve genomların bilimsel, metabolik ve genetik açıdan nasıl bağlandığına dair soruları içermektedir. Genom ölçeğinde büyük DNA'nın nasıl tasarlanacağı, oluşturulacağı ve teslim edileceği ile ilgili teknik ve teknolojiler sentetik gen araştırmalarında gözden geçirilmektedir. Bu ilkelerin tam olarak anlaşılması, bir gün genomları gerçekten sıfırdan tasarlama yeteneklerinin kazanılmasına yol açabilir^[19].

Ocak 2008'de, JCVI bilim insanları Daniel G. Gibson ve Hamilton O. Smith, M. Genitalium bakterisinin genomunun değiştirilmiş bir versiyonunu sıfırdan başarıyla bir araya getirmiştir. Bu çalışma, rekombinant DNA araştırmasının tek tek gen modifikasyonlarından belirgin şekilde farklılık göstermektedir. Bu çalışmada çok sayıda gen yeni bir genom oluşturmak üzere birbirine bağlanmıştır. Sentetik genom, doğal olandan sadece biraz farklılık göstermektedir. Bunun nedeni de genomun patojenik (hastalığa neden olan) olmasını engellemek ve ayrıca yapay olarak tanımlanmasına izin vermek içindir.

Mayıs 2010'da JCVI araştırmacıları 1,08 milyon baz çiftli sentetik genom oluşturdularını ve bunu bir bakterinin sitoplazmasına yerleştirdiklerini açıklamışlardır. Bu araştırma sonucunda sentetik genomu ilk işleyen yaşam formu oluşturulmuştur^[18].

9.3 Minimal Hücre Konsepti

Minimal hücre konsepti, hücrenin hayatta kalması için gerekli olan minimum gen setini kodlayan bir genom modelini tanımlamaktadır. Bilimsel indirgemecilik, hücresel biyolojinin ilkelerini öğrenmenin en iyi yolunun, tüm genlerin ve bileşenlerin işlevlerinin anlaşıldığı minimal bir hücre kullanmak olduğunu öne sürmektedir^[20].

JCVI'daki bilim insanları, işlevlerinden ödün vermeden M. Genitalium JCVI-1.0 genomundan yaklaşık 100 genin daha çıkarılabileceğini varsaymıştır. Bu çalışmada yaklaşık 381 genlik bir genomun, yaşamı sürdürmek için gerekli olan minimum boyut olduğuna inanılmaktadır. Araştırmacılar, çalışmanın ilerleyen evrelerinde bir hücreye yerleştirecekleri bu kısaltılmış genom ile yapay bir yaşam formu yaratmayı planlamaktadır^[18].

Bir hücredeki her bir moleküler süreç haritalandırılabilir ve anlaşılabilirse, yaşamın temel ilkelerinin daha iyi kavranabileceği düşünülmektedir. Sonuç olarak da bu bilgi yapay organizmaların tasarlanması ve yaratılması için kullanılabilir. Bu çalışmaları başlatmanın yolu ise hayatta kalmak için yalnızca minimum düzeyde genetik

bilgiyi içeren minimal hücre konseptiyle doğal veya sentetik organizmaları incelemektir. Bu çok basitleştirilmiş hücreyi inşa ederek ve inceleyerek hücresel yaşamı sürdürmek için gerekli tüm moleküler mekanizmalar incelenebilir^[21].

9.4 Uzay Sistemleri ve Araştırmalar

Sentetik biyoloji ve 3D yazıcılar, uzay araştırmaları sırasında yaşamı sürdürmek için büyük bir potansiyele sahiptir. Sentetik biyoloji teknolojisi kullanılarak hücreler ve bakteriler, plastikten ilaca ve hatta yiyeceğe kadar sayısız malzeme üretecek şekilde değiştirilebilir. Bu şekilde astronotlar uzaydayken, ihtiyaç duydukları malzemeler sentetik olarak tasarlanarak yazdırılabilir^[22].

9.5 Biyoemniyet ve Regülasyonlar

Sentetik biyoloji çeşitli disiplinlerle iç içe olduğu için kesin tanım ve mevzuatlarla değerlendirilmesi oldukça zordur. Bununla birlikte, çeşitli ülkelerde sentetik biyoloji mevzuatları, sentetik biyolojinin araştırma ve uygulama alanlarına özel olarak çıkarılmakta, tasarlanmakta ve yönetilmektedir.

ABD Hükümeti, farklı biyolojik ürünleri yöneten politika, düzenleme ve yasalar yayınlamıştır. Patojenler, virüslans seviyelerine ve aşıların veya etkili anti-patojen ilaçların mevcudiyetine göre sınıflandırılmaktadır. Patojen sınıflandırmalarına bağlı olarak çeşitli fiziksel sınırlama seviyeleri zorunlu kılınmıştır. Laboratuvarların yönetimleri açısından, ABD Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezi (Center for Disease Control -CDC) ve Ulusal Sağlık Enstitüsü (National Institutes of Health -NIH), "Mikrobiyoloji ve Biyomedikal Laboratuvarlarda Biyogüvenlik" başlıklı patojenlerin fiziksel olarak tutulmasına yönelik tavsiyeler hakkında bir kılavuz yayınlamıştır^[23].

Genetiği Değiştirilmiş Organizmalar (GDO)'a (Genetically Modified Organisms -GMO) ilgili mevcut Avrupa Birliği (AB) mevzuatına göre de sentetik biyoloji alanında yapılan araştırmaların çoğu genetik mühendisliği kapsamında sayılmaktadır. Sentetik biyoloji çalışmalarında organizmaların genetiğinin nasıl değiştirildiği, GDO'ların ve ürünlerinin pazarlanması da dahil olmak üzere GDO'ların nasıl kullanıldığı bu yasayla düzenlenmiştir^[24].

AB, yasanın uygulama kapsamının sınırlanması için bitki ıslahında ve diğer biyolojik modifikasyonlarda yeni biyoteknoloji uygulamalarını değerlendirmek amacıyla özel bir çalışma grubu kurmuştur. AB, GDO'lar ve gelişmekte olan biyoteknoloji çalışmaları için etiketleri, uygun muhafazayı, taşımayı ve araştırma ortamlarında güvenli kullanımı kapsayan bir dizi direktif oluşturmuştur^[25].

AB'nin GDO'ların kullanımına ve düzenlenmesine ilişkin mevzuatı, temel olarak mikroorganizmaların genetik modifikasyon faaliyetlerini ve bunların yetiştirilmesi, depolanması, taşınması, imhası ve bertarafını düzenleyen 90/219/EC ve GDO'ların kasıtlı salınımını düzenleyen 2001/18/EC direktifine dayanmaktadır. Sentetik biyoloji ile ilgili AB mevzuatı son 20 yılda sürekli olarak güncellenmesine rağmen kapsam olarak yeterli olmadığı için eleştirilmektedir. Sentetik biyoloji çağında AB yasalarının biyoteknolojinin hızlı gelişimi ve yeni

teknolojilere uygun şekilde değiştirilmesi için çeşitli önerilerde bulunulmuştur^[26].

Sentetik biyoloji Çin'de, özellikle ileri biyoüretim, mikrobiyal genom ıslahı, endüstriyel enzim mühendisliği ve biyotıp alanlarında çok hızlı gelişmektedir. Çin biyoteknoloji endüstrilerini göz önünde bulundurarak, biyoemniyet ve biyogüvenliği güvence altına almak için laboratuvar uygulamalarında sentetik biyolojinin biyoemniyet yönetimine ilişkin yasa ve yönetmelikleri yürürlüğe koymuştur.

Çin'in en yüksek yasama meclisinin temsilcisi olan Ulusal Halk Kongresi Daimi Komitesi, 2020'de Çin Halk Cumhuriyeti Biyogüvenlik Yasasını ilan etmiştir. Biyogüvenlik Yasası'nın dört ve beşinci bölümleri genellikle biyoteknoloji araştırma, geliştirme ve uygulamasının güvenlik yönetimini şart koşmaktadır. Faaliyetleri ve patojenik mikrop laboratuvarları ile birleşik laboratuvar biyogüvenlik standartlarını formüle eden yasa en yüksek biyoemniyet kriterlerini hedeflemektedir. Herhangi bir idari düzenleme, yerel düzenleme ve departman kuralları bu Biyogüvenlik Yasası'na aykırı olamaz. Bilim ve Teknoloji Bakanlığı, Çin'in biyoteknoloji araştırmalarının sağlıklı ve düzenli gelişimini teşvik ve garanti etmek için Çinli bir bilim insanının neden olduğu genetiği değiştirilmiş bebek vakasından hemen sonra geliştirme faaliyetlerini ve ulusal biyogüvenliği korumak için Biyoteknoloji Araştırma ve Geliştirmesinin Güvenlik Yönetimi Yönetmeliği'ni hazırlamıştır^[15].

Ülkelerin sıkı regülasyonları ve olası tehdit unsurları ile birlikte sentetik biyoloji alanında çalışmalar yapmak için ciddi izin süreçlerinden geçilmesi gereklidir.

9.6 Sürdürülebilir Enerji Kaynakları

Canlı maddelerden elde edilen, yenilenebilir bir enerji olan biyoyakıt, gelecekte benzin ve dizelin yerini alması potansiyelindedir. Sentetik biyoloji teknolojisi, biyoyakıtı daha verimli üretecek fermantasyon süreçlerinin geliştirilmesine yardımcı olmaktadır^[22].

10. COVID-19 İLE MÜCADELEDE SENTETİK BİYOLOJİ

Sentetik biyoloji, iklim değişikliği, kanser ve açlık gibi dünyanın en önemli sorunlarından bazılarını çözebilecek umut verici bir araçtır. Günümüzde yaşadığımız COVID-19 pandemisinin çözümünde kullanılıp kullanılmayacağı ise henüz soru işaretidir.

4 Mayıs 2020'de İsviçre, Almanya ve Rusya'dan bilim insanlarının katıldığı bir grup araştırmacı, yayınlanan SARS-CoV-2 dizisini kullanarak sentetik viral gen parçalarını başarılı bir şekilde bir araya getirdiklerini bildirmiştir. Köklü bir maya bazlı gen kombinasyon platformu kullanılarak dizide yeşil floresan sinyali barındıran aktif yeni koronavirüsü yeniden yapılandırılan bilim insanları, araştırmalar için yeni olasılıkların oluşmasını sağlamıştır. Koronavirüsün yapay olarak sentezlenmesi; viral patojenik mekanizmalar, ilaç taraması ve aşı geliştirme çalışmaları açısından yeni araştırmaları teşvik etme potansiyelindedir. Diğer yandan, bu tip çalışmalar, virüs sızıntısına ve

elde edilen bilgilerin kötü maksatlı kullanılmasıyla da bulaşıcı ve toksik virüslerin yayılmasına yol açabilir^[15].

Sentetik biyoloji, gıda üretimi ve besin değerlerinin artırılması, hayvan yemi üretimi, ilaç çalışmaları, biyomalzeme oluşturulması, alg veya bakteri kullanarak çevresel iyileştirmeler yapılması için kullanılabilen bir bilim dalıdır. Aşı üretimi gibi alanlarda ise sentetik biyoloji için gereken kalite şartları yüksektir ve bu çalışmaların alt yapıları oldukça maliyetlidir. Ancak bu alanda ilerleyen teknolojik bilgi zamanla daha özel hâle gelmektedir.

COVID-19 ile ilgili aşı çalışmaları son dönemde sentetik biyoloji araştırmalarının konusu hâline gelmiştir. Aşı üretimi, özellikle mRNA teknolojileri kullanılarak üretilen aşılarda dünyanın birkaç ülkesinde yüksek oranda yoğunlaşmıştır^[27].

COVID-19 pandemisinin başlamasıyla küresel ölçekte aşı şirketleri, mevcut en iyi teknolojileri kullanarak yaklaşık altı ay süren bir süreç olan yüz milyonlarca doz lisanslı aşığı tasarlamış, test etmiş ve dağıtmıştır. Ancak pandemi dalgası dünyayı sararak ciddi kayıplara neden olmuştur.

Aşının geliştirme sürecini hızlandırmak isteyen Novartis'teki bilim insanları, JCVI ve Synthetic Genomics'teki araştırmacılarla bir araya gelmiş ve sentetik biyoloji tekniklerini kullanarak, bir virüsten genetik dizi verilerini yeni bir aşı adayına dönüştürmenin yolunu tasarlamıştır.

Novartis liderliğindeki ekip, geçmişte çoğu aşı geliştiricisinin yaptığı gibi öldürülmüş veya zayıflamış virüsleri kullanmak yerine, vücuttaki hücrelere, hedef virüsün bir parçasını taklit eden bir protein oluşturma talimatı verecek olan ve dikkatle tasarlanmış RNA segmentleri sunmayı planlamıştır. Bu sayede gerçek virüs hücreye girdiğinde RNA bağışıklık sistemini virüse saldırmaya hazırlamıştır.

Yeni ortaya çıkan enfeksiyonlara karşı hızlı aşı geliştirme çalışmaları için sentetik genlerin kullanılması olasılığı, 2016 yılında kurulan küresel bir ortaklık olan Salgın Hazırlık Yenilikleri Koalisyonunun da ana hedeflerinden biri hâline gelmiştir. Ayrıca, sentetik genler, onkoloji odaklı şirketlerin kanser aşılarını üretmesinin önünü açmıştır. Bu aşılarda bir hastanın tümörünün spesifik DNA dizisine göre kişiselleştirilmiş olarak hazırlanarak kanserle mücadelede imkân vermektedir.

Bu çalışmalarla ortaya çıkan kişiselleştirilmiş birkaç kanser aşısı şu anda klinik test aşamasındadır. Ayrıca bir düzineden fazla gen bazlı aşı da COVID-19 ile savaşmak için araştırma aşamasındadır^[28].

11. SENTETİK BİYOLOJİNİN ALTERNATİF KULLANIMLARI

Sentetik biyoloji, yeni biyolojik sistemler tasarlamak veya mevcut olanları faydalı amaçlar için yeniden tasarlamak amacıyla yenilikçi yaklaşımlar sunmaktadır^[29].

Sentetik biyoloji küresel ölçekte sağlık, tarım, üretim ve çevre sorunlarına yeni çözümler sunabilen biyoekonomi kalbinde değişim sağlayan bir teknoloji olarak tanımlanmıştır^[30]. Bununla birlikte, bazı yüksek değerli

kimyasalların ve ilaçların üretimindeki başarılarına rağmen, sentetik biyolojinin henüz vadettiği gelişmeleri yerine getirmediğine dair bir algı bulunmaktadır^[29].

Sentetik biyoloji, çevresine duyarlı ve çok işlevli malzemeler oluşturma fırsatı sunmaktadır. Canlı sistemlerden alınan biyokimyasal bileşenlerin inorganik bileşenlerle entegrasyonu, çevreye uyum sağlayabilen ve gerektiğinde özelliklerini değiştirebilen yeni materyallere yol açma potansiyelindedir. Bu özellikler koruyucu giysi veya yapı malzemelerinin geliştirilmesi için faydalı olabilir^[31].

Kompozit malzemeler üretmek için mikropları kullanırken ortaya çıkan en önemli sorun, bu malzemelerin birleştirilmesi sırasında istenilen özellikleri elde edecek düzenlemeleri gerçekleştirmektir. Mikropların birbirleriyle nasıl iletişim kurduklarını anlayarak, birlikte daha iyi çalışmalarını sağlamak ve malzemelerin özelliklerinin belirli işlevlerine uyarlanabilmesi için bunları diğer üretim sistemleriyle birleştirmek mümkündür.

Mevcut protein bazlı malzemeleri değiştirmek veya geliştirmek yerine alternatif bir yaklaşımla, tahmin edilen şekillerde kendi kendine birleşen tamamen yeni proteinler tasarlamak için hesaplama tekniklerinin kullanılması da sentetik biyolojinin önemli avantajlarından birini oluşturmaktadır^[32].

Üstesinden gelinmesi gereken pek çok engel olmasına rağmen sentetik biyolojinin sağlık hizmetlerini iyileştirme, çevresel zararı sınırlama ve çok çeşitli sürdürülebilir süreçler yaratma gibi birçok küresel soruna çözüm getirme potansiyeli dikkat çekmektedir^[29].

Sentetik biyoloji, yiyeceklerin nasıl yetiştirileceğini, ne yenileceğini, malzeme ve ilaçların nasıl temin edileceğini kökten değiştirme potansiyelindedir. Şu anda piyasada bulunan temel teknolojiler önümüzdeki 10 yıl içinde çok önemli değişimlere neden olabilir. İçlerinde kanser tedavileri, sentetik et ve diğer gıdalar, tarım çözümleri ve elektronik sistemlerin de bulunduğu birçok alanda sentetik biyolojinin etkileri görülmekte ve gelişmektedir^[8].

Dünya üzerinde yapılan birçok çalışmada olduğu gibi sentetik biyolojide de özellikle emniyet ve güvenlik söz konusu olduğunda riskler bulunmaktadır. Ancak uçakların, arabaların veya zehirli kanser tedavilerinin yarattığı risk gibi, bu alanda da riskler beklenmesi normaldir. Önemli olan sentetik biyolojinin faydalarının zararlarından çok olup olmadığıdır. Northwestern Üniversitesinde biyoetikçi olan Laurie Zoloth'un dediği gibi, "Sentetik biyoloji demir gibidir. Dikiş iğneleri ve mızraklar yapabilirsiniz. Elbette iki yönlü bir kullanım olasılığı olacaktır^[33]."

Sentetik biyoloji, biyoteknolojinin belkemiği hâline gelmiştir. Bu alandaki gelişmelerin hızla ilerlemesiyle, insanoğlu hayatı okumaktan ve kurgulamaktan daha fazlasını yapabilecek duruma gelmiştir. Artık bir bakıma, hayatı yeni bir şeye dönüştürebilir veya değiştirebilir teknolojiler de ortaya çıkmaya başlamıştır. Sentetik biyoloji ile gelecekte organ nakline ihtiyaç duyan binlerce insanın hayatı kurtarılabilir ve bu teknoloji ile yapay zeka destekli cyborg'lar geliştirilebilir^[34].

12. SENTETİK BİYOLOJİYE YAPILAN YATIRIMLAR

Sentetik biyolojinin çok çeşitli araştırmaların konusunu oluşturmasıyla birçok şirket ve ülke bu bilimin araştırılmasına yatırım yapmaya başlamıştır.

2020 yılının ilk çeyreğinde yatırımcılardan 904,7 milyon dolar destek alan sentetik biyoloji sektörü, 2021 yılında toplam 4,6 milyar dolarlık yatırım rakamıyla sektöre olan ilginin nasıl büyüdüğünü sergilemiştir.

ElevateBio bu dönemde aldığı 525 milyon dolarlık yatırımla rakipleri içinde en yüksek meblağa ulaşan şirket olmuştur. Gen terapisi teknolojileri ile bilinen ElevateBio'nun aldığı bu yatırımla araştırmalarını daha da güçlendirmesi beklenmektedir.

Insitro isimli firma ise aldığı 400 milyon dolarlık yatırımla özellikle ilaç araştırma ve geliştirme çalışmalarında kullandığı makine öğrenmesi ve veri jenerasyonu çalışmalarıyla biyofarma devleri olan Bristol-Myers Squibb ve Gilead Science'in dikkatini çekmiştir.

SynBio ise yüzde 26,5'lik bir büyüme ile kaynaklarını 30,7 milyon dolara yükseltmeyi hedeflemektedir.

Özel şirketler içinde Impossible Foods elde ettiği yatırımları 200 milyon dolar daha artırarak kurulduğu günden itibaren toplamda 1,5 milyar dolarlık bir yatırıma ulaşmıştır. Ürettikleri sentetik hamburger etleriyle marketlerde ve zincir restoranlarda yer almaya başlayan firma, soya bitkisi kökenli sentetik et teknolojilerini geliştirmektedir^[35].

Bill Gates gibi birçok teknoloji gurusu da sentetik biyoloji dünyasına yatırım yapmaktadır. Bilgisayar bitleri ve biyoloji arasında bir paralellik gören tek teknoloji kurucusu milyarder Bill Gates değildir. DNA'nın temelini oluşturan A'ları, T'leri, G'leri ve C'leri programlayarak yeni servetler kazanmaya hazır biyoteknoloji yatırımcıları bulunmaktadır. .

Sentetik biyoloji şirketleri, tarımdan ilaca ve hücre bazlı etlere kadar neredeyse her endüstriyi etkilemektedir. Tasarlanmış mikroorganizmalar, daha sürdürülebilir kumaşlar üretmek ve geri dönüştürülmüş karbon emisyonlarından biyoyakıt üretmek için bile kullanılmaktadır^[36].

2019 yılında küresel olarak 5,3 milyar dolar olan sentetik biyoloji pazarının, 2024 yılına kadar yıllık yüzde 28,8 büyüme oranı ile 18,9 milyar dolara ulaşması beklenmektedir^[37].

13. SONUÇ

Doğal evrim, rastlantıyı gerekliliğe dönüştürerek, canlıları milyonlarca yıla yayılan sürelerde değiştirmektedir. Sentetik biyoloji ise doğada olmayan genler ve enzimler oluşturarak belirli bir işlevi gerçekleştirecek organizmaları doğrudan tasarlamayı hedefler. Söz konusu organizmalar çeşitli kimyevi maddeler, ilaçlar, tedavi yöntemleri, biyogüçlendiriciler, hatta yakıt ve gıda üretmek için kullanılabilirlerdir.

Sentetik biyoloji ürünleri günlük yaşamda giderek daha yaygın hâle gelmektedir. 2030 yılına kadar, çoğu insanın sentetik biyoloji yoluyla oluşturulmuş bir ürünü yemiş, giymiş veya kullanmış olacağına inanılmaktadır. Ancak riskler değerlendirildiğinde hem biyoemniyet hem de biyogüvenlik açısından bilim dünyasının üzerinde tartışmaya devam ettiği bir alan olan sentetik biyoloji, sorunlar aşıldıkça daha da güçlenecektir.

Her ne kadar sentetik biyolojinin yaratabileceği riskler endişe yaratsa da sentetik et, sentetik hücre temelli tedaviler ve yeni nesil tarım uygulamaları endüstriyel ölçekte sentetik biyoloji uygulamaları ile mümkün olacaktır.

Gen araştırmaları, uzun yıllardır insanların canlarına mal olan ağır hastalıkların ortadan kalkmasına yardımcı olabilir. Yeni nesil dayanıklı tohumlar ve gübreleme teknolojileri, tarım dünyasını kökten değiştirerek çevreye duyarlı sürdürülebilir üretimin önünü açabilir. Sentetik et teknolojileri, büyükbaş hayvan kaynaklı gaz salımlarına sebep olmadan, hayvanların canları tehlikeye atılmadan veya nesillerinin yok olmasına izin verilmeden tüketim taleplerini karşılayabilir. Hatta elektronik sistemlerde bile kendi kendini yenileyen uygulamalar görülebilir.

İklim değişikliği, kanser ve açlık gibi dünyanın en önemli sorunlarından bazılarını çözebilecek ve umut verici bir gelecek sağlayabilecek olan sentetik biyoloji, hücrelerin özelliklerini uygulanabilir ölçekte değiştirmeye yönlendirilebildiğinde, olasılıklar yalnızca bizim hayal gücümüzle sınırlanabilir.

KAYNAKÇA

- [1] *National Human Genome Research Institute*, “Synthetic Biology”, <https://www.genome.gov/about-genomics/policy-issues/Synthetic-Biology>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [2] *Archive.bio*, “Synthetic Biology Explained”, <https://archive.bio.org/articles/synthetic-biology-explained>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [3] *BCC Research*, “The Origin and History of Synthetic Biology”, <https://blog.bccresearch.com/the-origin-and-history-of-synthetic-biology>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [4] *synlogic*, “THE HISTORY OF SYNTHETIC BIOLOGY”, <https://www.synlogictx.com/synthetic-biology/timeline-and-history/>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [5] *Engineering Biology Research Consortium*, “WHAT IS SYNTHETIC/ENGINEERING BIOLOGY?”, <https://ebrc.org/what-is-synbio/>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [6] *nature reviews genetics*, (2005), “Synthetic biology”, (1 Temmuz 2005), <https://www.nature.com/articles/nrg1637>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [7] CANDELON, FRANÇOIS; GOMBEAUD, MATTHIEU; STOKOL, GEORGIE; (2021), “Synthetic biology could help business save the planet”, *Fortune*, (6 Ağustos 2021), <https://fortune.com/2021/08/06/synthetic-biology-plant-based-meats-bioengineering-environmental-impact/>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [8] *Nature*, (2020), “Synthetic biology 2020–2030: six commercially-available products that are changing our world”, (11 Aralık 2020), <https://www.nature.com/articles/s41467-020-20122-2>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [9] *European Medicine Agency*, “Kymriah”, <https://www.ema.europa.eu/en/medicines/human/EPAR/kymriah>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [10] *UN environment programme*, (2019), “Risks and potential rewards of synthetic biology”, (21 Mart 2019), <https://www.unep.org/news-and-stories/story/risks-and-potential-rewards-synthetic-biology>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [11] *Britannica*, “BioBricks and xeno-nucleic acids”, <https://www.britannica.com/science/synthetic-biology/BioBricks-and-xeno-nucleic-acids>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [12] WALLACE, STEPHEN; (2017), “The benefits of synthetic biology”, *Chemistry World*, (19 Ağustos 2017), <https://www.chemistryworld.com/news/the-benefits-of-synthetic-biology/3007694.article>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [13] Fox, Stuart; (2010), “Is Synthetic Life Dangerous?”, *Live Science*, (27 Mart 2020), <https://www.livescience.com/8296-synthetic-life-dangerous.html>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [14] Lim, Yong-Bee; (2017), “The Biotechnological Wild West: The Good, the Bad, and the Underknown of Synthetic Biology”, *Global Biodefense*, (14 Şubat 2017), <https://globalbiodefense.com/2017/02/14/biotechnological-wild-west-good-bad-underknown-synthetic-biology/>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [15] Li, Jing; (2021), “Advances in Synthetic Biology and Biosafety Governance”, *Frontiersin*, (30 Nisan 2021), <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2021.598087/full>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [16] *United States Environmental Protection Agency*, “Summary of the Toxic Substances Control Act”, <https://www.epa.gov/laws-regulations/summary-toxic-substances-control-act>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [17] *Synthetic Biology Future Science Platform*, “Industrial Biotechnology”, <https://research.csiro.au/synthetic-biology-fsp/research/application-domains/industrial-biotechnology/>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [18] *Britannica*, “synthetic biology”, <https://www.britannica.com/science/synthetic-biology>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [19] Zhang, Weimin; (2020), “Synthetic Genomes” *Annual Reviews*, (Haziran 2020), <https://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev-biochem-013118-110704>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [20] I. Glass, John; (2017), “Minimal Cells—Real and Imagined”, *Cold Spring Harbor Perspectives in Biology*, (27 Mart 2017), <https://cshperspectives.cshlp.org/content/9/12/a023861.full>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [21] Lachance, Jean-Christophe; (2019), “Synthetic Biology: Minimal cells, maximal knowledge” *eLife*, (12 Mart 2019), <https://elifesciences.org/articles/45379>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [22] Ang, Carmen; (2021), “Explainer: How Synthetic Biology is Redesigning Life”, *Visual Capitalist*, (23 Haziran 2021), <https://www.visualcapitalist.com/how-synthetic-biology-redesigns-life/>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [23] I. Berns, Kenneth; (2014), “Grand challenges for biosafety and biosecurity”, *Frontiersin*, (17 Eylül 2014), <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2014.00035/full>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [24] Buhk, Hans-Jörg; (2014), “Synthetic biology and its regulation in the European Union”, *PubMed*, (23 Şubat 2014), <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24572655/>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [25] Keiper, Felicity; (2020), “Regulation of Synthetic Biology: Developments Under the Convention on Biological Diversity and Its Protocols”, *Frontiersin*, (9 Nisan 2020), <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2020.00310/full>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [26] Eriksson, Dennis; (2018), “Regulation of Synthetic Biology: Developments Under the Convention on Biological Diversity and Its Protocols”, *Cell*, (25 Mayıs 2018), [https://www.cell.com/trends/biotechnology/fulltext/S0167-7799\(18\)30136-7?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0167779918301367%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/trends/biotechnology/fulltext/S0167-7799(18)30136-7?_returnURL=https%3A%2F%2Flinkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0167779918301367%3Fshowall%3Dtrue). (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [27] Marcelle, Gilian; (2021), “Lessons learned from COVID-19 vaccines could advance synthetic biology. Here’s how”, *World Economic Forum*, (14 Eylül 2021), <https://www.weforum.org/agenda/2021/09/lessons-learned-covid-19-vaccines-advance-synbio/>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [28] Dolgin, Elie; (2020), (2020), “Synthetic biology speeds vaccine development”, *Nature*, (28 Eylül 2020), <https://www.nature.com/articles/d42859-020-00025-4>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [29] El Karoui, Meriem; (2019), “Future Trends in Synthetic Biology—A Report”, *Frontiersin*, (7 Ağustos 2019), <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fbioe.2019.00175/full>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [30] Cameron, D. Ewen; (2014), “A brief history of synthetic biology”, *Nature*, (1 Nisan 2014), <https://www.nature.com/articles/nrmicro3239>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [31] Le Feuvre, Rosalind A.; (2018), “A living foundry for Synthetic Biological Materials: A synthetic biology roadmap to new advanced materials”, *Science Direct*, (Haziran 2018), <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405805X1830022X>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [32] Ljubetič, Ajasja; (2017), “Advances in design of protein folds and assemblies”, *Science Direct*, (Ekim 2017), <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1367593117300765?via%3Dihub>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [33] KEASLING, JAY; (2013), “Why Synthetic Biology Is the Field of the Future”, *PBS*, (28 Şubat 2013), <https://www.pbs.org/wgbh/nova/article/why-synthetic-biology-is-the-field-of-the-future/>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [34] GALEON, DOM; (2016), “Synthetic Biology: It’s Alive, but Is It Life?”, *Futurism*, (30 Eylül 2016), <https://futurism.com/synthetic-biology-its-alive-but-is-it-life>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [35] Philippidis, Alex; (2021), “Top 10 Synthetic Biology Companies”, *Genetic Engineering & Biotechnology News*, (2 Haziran 2021), <https://www.genengnews.com/a-lists/top-10-synthetic-biology-companies/>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [36] Cumbers, John; (2019), “Meet the 8 Tech Titans Investing in Synthetic Biology”, *synbiobeta*, (15 Eylül 2019), <https://synbiobeta.com/meet-the-8-tech-titans-investing-in-synthetic-biology/>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)
- [37] *BCC Research*, (2020), “Meet the 8 Tech Titans Investing in Synthetic Biology”, (Ocak 2020), <https://www.bccresearch.com/market-research/biotechnology/synthetic-biology-global-markets.html>. (Erişim Tarihi: 4 Ocak 2022)



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

